

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 - https://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)	Auteur collectif - Revue
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1949-2003
Collation	167 vol.
Nombre de volumes	167
Cote	INDNAT
Sujet(s)	Industrie
Note	Numérisation effectuée grâce au prêt de la collection complète accordé par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (S.E.I.N.)
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039224155
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT
LISTE DES VOLUMES	
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1949, n° 1 (janv.-mars)
	1949, n° 2 (avril-juin)
	1949, n° 3 (juil.-sept.)
	1949, n° 4 (oct.-déc.)
	1949, n° 4 bis
	1950, n° 1 (janv.-mars)
	1950, n° 2 (avril-juin)
	1950, n° 3 (juil.-sept.)
	1950, n° 4 bis
	1951, n° 1 (janv.-mars)
	1951, n° 2 (avril-juin)
	1951, n° 3 (juil.-sept.)
	1951, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° 1 (janv.-mars)
	1952, n° 2 (avril-juin)
	1952, n° 3 (juil.-sept.)
	1952, n° 4 (oct.-déc.)
	1952, n° spécial
	1953, n° 1 (janv.-mars)
	1953, n° 2 (avril-juin)
	1953, n° 3 (juil.-sept.)
	1953, n° 4 (oct.-déc.)
	1953, n° spécial
	1954, n° 1 (janv.-mars)
	1954, n° 2 (avril-juin)
	1954, n° 3 (juil.-sept.)
	1954, n° 4 (oct.-déc.)
	1955, n° 1 (janv.-mars)

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
	1959, n° 2 (avril-juin)
	1959 n° 3 (juil.-sept.)
	1959, n° 4 (oct.-déc.)
	1960, n° 1 (janv.-mars)
	1960, n° 2 (avril-juin)
	1960, n° 3 (juil.-sept.)
	1960, n° 4 (oct.-déc.)
	1961, n° 1 (janv.-mars)
	1961, n° 2 (avril-juin)
	1961, n° 3 (juil.-sept.)
	1961, n° 4 (oct.-déc.)
	1962, n° 1 (janv.-mars)
	1962, n° 2 (avril-juin)
	1962, n° 3 (juil.-sept.)
	1962, n° 4 (oct.-déc.)
	1963, n° 1 (janv.-mars)
	1963, n° 2 (avril-juin)
	1963, n° 3 (juil.-sept.)
	1963, n° 4 (oct.-déc.)
	1964, n° 1 (janv.-mars)
	1964, n° 2 (avril-juin)
	1964, n° 3 (juil.-sept.)
	1964, n° 4 (oct.-déc.)
	1965, n° 1 (janv.-mars)
	1965, n° 2 (avril-juin)
	1965, n° 3 (juil.-sept.)
	1965, n° 4 (oct.-déc.)
	1966, n° 1 (janv.-mars)
	1966, n° 2 (avril-juin)
	1966, n° 3 (juil.-sept.)
	1966, n° 4 (oct.-déc.)
	1967, n° 1 (janv.-mars)
	1967, n° 2 (avril-juin)
	1967, n° 3 (juil.-sept)

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	1975, n° 2
	1975, n° 3
	1975, n° 4
	1976, n° 1
	1976, n° 2
	1976, n° 3
	1976, n° 4
	1977, n° 1
	1977, n° 2
	1977, n° 3
	1977, n° 4
	1978, n° 1
	1978, n° 2
	1978, n° 3
	1978, n° 4
	1979, n° 1
	1979, n° 2
	1979, n° 3
	1979, n° 4
	1980, n° 1
	1982, n° spécial

	1983, n° 1
	1983, n° 3-4
	1983, n° 3-4
	1984, n° 1 (1er semestre)
	1984, n° 2
	1985, n° 1
	1985, n° 2
	1986, n° 1
	1986, n° 2
	1987, n° 1
	1987, n° 2
	1988, n° 1
	1988, n° 2
	1989
	1990
	1991
	1992
	1993, n° 1 (1er semestre)
	1993, n° 2 (2eme semestre)
	1994, n° 1 (1er semestre)
	1994, n° 2 (2eme semestre)
	1995, n° 1 (1er semestre)
	1995, n° 2 (2eme semestre)
	1996, n° 1 (1er semestre)
	1997, n° 1 (1er semestre)
	1997, n°2 (2e semestre) + 1998, n°1 (1er semestre)
	1998, n° 4 (4e trimestre)
	1999, n° 2 (2e trimestre)
	1999, n° 3 (3e trimestre)
	1999, n° 4 (4e trimestre)
	2000, n° 1 (1er trimestre)
	2000, n° 2 (2e trimestre)
	2000, n° 3 (3e trimestre)
	2000, n° 4 (4e trimestre)
	2001, n° 1 (1er trimestre)
	2001, n° 2-3 (2e et 3e trimestres)
	2001, n°4 (4e trimestre) et 2002, n°1 (1er trimestre)
	2002, n° 2 (décembre)
	2003 (décembre)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Volume	1949, n° 1 (janv.-mars)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1949

Collation	1 vol. (50-[1] p.) : ill., 27 cm
Nombre de vues	64
Cote	INDNAT (1)
Sujet(s)	Industrie
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	03/09/2025
Date de génération du PDF	08/09/2025
Recherche plein texte	Non disponible
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT.1

Note d'introduction à [l'Industrie nationale \(1947-2003\)](#)

[L'Industrie nationale](#) prend, de 1947 à 2003, la suite du [Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publié de 1802 à 1943 et que l'on trouve également numérisé sur le CNUM. Cette notice est destinée à donner un éclairage sur sa création et son évolution ; pour la présentation générale de la Société d'encouragement, on se reportera à la [notice publiée en 2012 : « Pour en savoir plus »](#)

[Une publication indispensable pour une société savante](#)

La Société, aux lendemains du conflit, fait paraître dans un premier temps, en 1948, des [Comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publication trimestrielle de petit format résumant ses activités durant l'année sociale 1947-1948. À partir du premier trimestre 1949, elle lance une publication plus complète sous le titre de [L'Industrie nationale. Mémoires et comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#).

Cette publication est différente de l'ancien [Bulletin](#) par son format, sa disposition et sa périodicité, trimestrielle là où ce dernier était publié en cahiers mensuels (sauf dans ses dernières années). Elle est surtout moins diversifiée, se limitant à des textes de conférences et à des rapports plus ou moins développés sur les remises de récompenses de la Société.

[Une publication qui reflète les ambitions comme les aléas de la Société d'encouragement](#)

À partir de sa création et jusqu'au début des années 1980, [L'Industrie nationale](#) ambitionne d'être une revue de référence abordant, dans une sélection des conférences qu'elle organise — entre 8 et 10 publiées annuellement —, des thèmes extrêmement divers, allant de la mécanique à la biologie et aux questions commerciales, en passant par la chimie, les différents domaines de la physique ou l'agriculture, mettant l'accent sur de grandes avancées ou de grandes réalisations. Elle bénéficie d'ailleurs entre 1954 et 1966 d'une subvention du CNRS qui témoigne de son importance.

À partir du début des années 1980, pour diverses raisons associées, problèmes financiers, perte de son rayonnement, fin des conférences, remise en question du modèle industriel sur lequel se fondait l'activité de la Société, [L'Industrie nationale](#) devient un organe de communication interne, rendant compte des réunions, publiant les rapports sur les récompenses ainsi que quelques articles à caractère rétrospectif ou historique.

La publication disparaît logiquement en 2003 pour être remplacée par un site Internet de même nom, complété par la suite par une lettre d'information.

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

Daniel Blouin, Gérard Emptoz, [« 220 ans de la Société d'encouragement »](#), Histoire et Innovation, le carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement, en ligne le 25 octobre 2023.

Gérard EMPTOZ, [« Les parcours des présidents de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale des années 1920 à nos jours. Deuxième partie : de la Libération à nos jours »](#), Histoire et Innovation, carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, en ligne le 26 octobre 2024.

S.E.I.N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE



COMPTES RENDUS ET CONFÉRENCES
DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

1949

N° 1

L'INDUSTRIE NATIONALE

COMPTES RENDUS ET CONFÉRENCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

publiés sous la direction de
M. Louis PINEAU, président,

avec le concours de la Commission des Publications
et du Secrétariat de la Société

N° 1 : JANVIER-MARS 1949

SOMMAIRE

L'AVIATION DE HAUTE VITESSE, par M. G. DU MERLE	I
APPLICATIONS TERRESTRES ET NAVALES DES TURBINES À COMBUSTION, par M. P. DUBERTRET.	14
★	
COMPTES RENDUS DES SÉANCES PUBLIQUES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT.	
Séance solennelle de Rentrée (28 Octobre 1948).	37
VIII ^e Conférence Bardy (18 Novembre 1948).	43
Séance du 9 Décembre 1948.	44
Commémoration Lecomte du Noüy (21 Décembre 1948)	47
★	
DIVERS	
Assemblée générale du 23 Décembre 1948	50
Bibliographie	51

44, rue de Rennes, PARIS 6^e (LIT 55-61)

C^{ie} DE FIVES-LILLE

7, Rue Montalivet PARIS (8^e)

Téléphone : ANJOU 22-01

Reg. Com. Seine 75-707

INSTALLATIONS COMPLÈTES
DE SUCRERIES - RAFFINERIES - DISTILLERIES

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE DE TOUTES PUISSANCES POUR
CENTRALES THERMIQUES ET HYDRAULIQUES

CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES " STIRLING "

PONTS ET CHARPENTES MÉTALLIQUES

BAIGNOL & FARJON

CRAYONS
PLUMES
P. PLUMES
P. MINES
GOMMES
PUNAISES

GILBERT & BLANZY-POURE

GP
1836

468

1. — A.

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

HAUTE & BASSE TENSION

POUR RÉSEAUX ET POSTES

ET POUR INSTALLATIONS INDUSTRIELLES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

GARDY

Tél. : JASmin 48-80

32, Rue Chardon-Lagache
PARIS (16°)

Compagnie Générale de GEOPHYSIQUE

Application des procédés tellurique,
électriques, sismiques, gravimétrique
aux recherches pétrolières, minières,
travaux de Génie Civil.

48, B^d de Latour-Maubourg, PARIS (7°)

Téléphone : INVALIDES 46-24



HUILES, GOUDRONS & DÉRIVÉS

Service Commercial :
10, rue Alfred-de-Vigny
Tél. Wagram 63-21 à 25

S. A. au Capital de 304.000.000 de francs
Siège Social : 10, rue Alfred-de-Vigny
PARIS (8°)

Usines à Vendin-le-Vieil (P.-de-C.)
Jouy-aux-Arches (Moselle)
Saint-Fons (Rhône)

MATIÈRES PREMIÈRES pour l'Industrie Organique de Synthèse, l'Industrie des Couleurs et Vernis et les Industries diverses

GOUDRONS et dérivés
BRAIS DE HOUILLE
HUILES de houille 1^{re} types
NAPHTALINE brute et pure
ANTHRACÈNE brut et pur
PHÉNOLS et Crésols purs
MÉTACRÉSOL
PARACRÉSOL
FORMOL
MÉTHYLCYCLOHEXANOL

CYCLOHEXANOL
HEXAETHYLÉNÉTÉTRAMINE
TRIOXYMÉTHYLÈNE
PHTALATES tous types
BENZOLS techniques et purs
LIANTS pour peinture
CARBONILEUM
CRÉSYL
GEDANTHROL
VERNIS noir et incolore

MATIÈRES PREMIÈRES pour l'Industrie des matières plastiques et MATIÈRES PLASTIQUES

ANHYDRIDE phtalique
FORMOL - PHÉNOL
CRÉSOLS - XYLÉNOLS
PLASTIFIANTS
RÉSINES de coumarone
RÉSINES GÉDELITE

RÉSINES Synthétiques
(diverses)
GEDOSOL
(100% phénolique)
GEDOPALS (oleo-solubles)

POUDRES A MOULER

" GÉDELITE " thermo durcissable

PRODUITS pour l'Industrie Pharmaceutique et la Parfumerie

CHLORURE DE BENZYLE
CHLORURE DE BENZOYLE
ACIDES BENZOÏQUES
BENZOATE DE SOUDE
BENZONAPHTOL

BENZALDÉHYDE
ALCOOL BENZYLIQUE
BENZOATE DE BENZYLE
PEROXYDE DE BENZOYLE
ACÉTATE DE BENZYLE

29, rue de Berri
• PARIS (VIII^e) •

Tél. : BALzac 16.50

— (8 lignes) —



CITERNA

TRANSPORTS RAPIDES DE COMBUSTIBLES LIQUIDES
==== PAR BATEAUX-CITERNES AUTOMOTEURS

PÉTROLES

SOLYDIT

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 27 MILLIONS

SIÈGE SOCIAL

31, Rue Paul-Chenavard, **LYON (Rhône)**

SERVICES

COMMERCIAUX

PARIS, 154, B^d Haussmann (8^e). Tél. : Carnot 04-93.

LYON, 40, Quai Gailleton. Tél. : 1232 - F 5713.

DECIZE (Nièvre). Tél. : 51.

BORDEAUX, 47, Rue Sainte-Catherine. Tél. : 871-98.

MARSEILLE, 58, Rue Grignan. Tél. : Dragon 35-05.

COMPAGNIE FRANÇAISE DES MÉTAUX

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.119.375.000 Francs

Siège social : **7, rue du Cirque, PARIS (8°)**

CUIVRE, LAITON, BRONZE, CUPRONICKEL, MAILLECHORT
ALUMINIUM, ALLIAGES LÉGERS, MAGNÉSIUM, PLOMB,
ÉTAIN en planches, disques, barres, fils, profilés, tubes

TUBES SANS SOUDURE en ACIER, CAPSULES pour
SURBOUCHAGE, PIÈCES MOULÉES en ALLIAGES LÉGERS

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CONSTRUCTIONS

BABCOCK & WILCOX

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 129.600.000 FRANCS

SIÈGE SOCIAL : **48, rue La Boétie, 48**

PARIS (8°) Téléphone : ÉLYSÉES 89-50

•
U S I N E S :

La Courneuve (Seine)

Cherbourg (Manche)

CHAUDIÈRES à VAPEUR - GROSSE CHAUDRONNERIE
RIVÉE ET SOUDÉE - MATÉRIELS POUR
RAFFINERIES DE PÉTROLE ET SUCRERIES

PROGIL

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 800.000.000 DE FR.

10, Quai de Serin - LYON

77, Rue de Miromesnil - PARIS

PRODUITS CHIMIQUES INDUSTRIELS

CHLORE - SOUDE - EXTRAIT DE JAVEL

SOLVANTS CHLORÉS : MONOCHLOROENZÈNE - ORTHODICHLORO-
BENZÈNE - DICHLORÉTHANE - TRICHLORÉTHANE

SOLVANTS HYDROGÉNÉS ET DESHYDROGÉNÉS : TÉTRAHYDRONAPHTALÈNE - DÉCAHYDRONAPHTALÈNE - CYCLOHEXANOL - MÉTHYL-
CYCLOHEXANOL - DIMÉTHYLCYCLOHEXANOL - ISOPROPANOL - CYCLO-
HEXANONE - MÉTHYLCYCLOHEXANONE

SOLVANTS SPÉCIAUX : TÉRÉGIL - SOLVANT O. M.

PHOSPHATES DE SOUDE : MONO, DI ET TRISODIQUE, ANHYDRES ET
CRISTALLISÉS - PYROPHOSPHATES DE SOUDE - MÉTAPHOSPHATES ET
POLYPHOSPHATES

PRODUITS CHIMIQUES DIVERS : SULFURE DE CARBONE - SILICATES
DE SOUDE - MÉTASILICATE - SILICATE DE POTASSE - SELS DE FUSION
POUR FROMAGES - LESSIVES POUR LE LAVAGE DU LINGE - SPÉCIALITÉS
PROGICLAIR POUR LE NETTOYAGE DE LA VERRERIE, DU MATÉRIEL
LAITIER ET DES MÉTAUX - PARADICHLOROENZÈNE - TÉTRACHLORO-
NAPHTALÈNE - PLASTIFIANTS PHENOCLORES - CIRES CHLORÉES - CIRES
ET BRAIS CHLORÉS IGNIFUGES

SELS MÉTALLIQUES : BICHLORURE D'ÉTAIN - OXYDE D'ÉTAIN - PROTO-
CHLORURE D'ÉTAIN - CHLORURE DE ZINC - ACÉTATE DE PLOMB

ACIDES ET SELS ORGANIQUES : ACIDE FORMIQUE - ACIDE OXALIQUE
FORMIATE DE SOUDE - TRIFORMIATE D'ALUMINE

PROTECTION DES BOIS ET DES MATIÈRES ORGANIQUES

CRYPTOGILS POUR LA LUTTE CONTRE L'ÉCHAUFFURE, LES PIQURES
D'INSECTES, LA MÉRULE ET LE BLEUISSEMENT DES RÉSINEUX

PRODUITS AUXILIAIRES POUR TEXTILE

BLANCHISSAGE INDUSTRIEL - PRÉPARATION - TEINTURE - APPRÊT
MOUILLANTS ET DÉTERSIFS - EMOGIL - GILTEX

EXTRAITS TANNANTS - TANINS SYNTHÉTIQUES

EXTRAITS TANNANTS VÉGÉTAUX : CHATAIGNIER - CHÈNE - QUEBRACHO

EXTRAITS DE CAMPÊCHE ET DE CUBA : HEMATINES - TANINS SYNTHÉ-
TIQUES - "ALBATANS" POUR PETITES PEAUX ET GROS CUIRS - PRODUITS
CHIMIQUES SPÉCIAUX, POUR TANNERIE ET MÉGISSERIE - TITANOR
QUINONE - SOLVANTS POUR DÉGRAISSAGE ET PIGMENTATION
CRYPTOTAN (ANTISEPTIQUE - FONGICIDE)

CELLULOSE - PAPETERIE

CELLULOSE DE CHATAIGNIER - BLANCHIE - PROCÉDÉ POUR BLANCHI-
MENT DES FIBRES - PAPIERS D'IMPRESSION ET D'ÉCRITURE

PRODUITS AGRICOLES

INSECTICIDES - ANTICRYPTOGAMIQUES - HERBICIDES

TECHNICIENS SPÉCIALISTES et LABORATOIRES à la DISPOSITION DE TOUTES INDUSTRIES

Produits Chimiques

ACIDE CHLORHYDRIQUE — ACIDE MONOCHLORACÉTIQUE — ACIDE PERCHLORIQUE — AFCOSOL — AFCOVYLS — ALCALI — ALUMINATE DE SOUDE — ALUMINES — ALUNS — AMMONIAC ANHYDRE — ANHYDRIDE SULFUREUX — AUBANITES — BROME — CAOUTCHOUC CHLORÉ — CHIOLITHE — CHLORATE DE BARYTE — CHLORATE DE POTASSE — CHLORATE DE SOUDE — CHLORE LIQUIDE — CHLORHYDRATE D'AMMONIAQUE — CIMENT BLANC — DICHLORÉTHANE — EXTRAIT DE JAVEL — FLUORURE D'ALUMINIUM — HÉXACHLORÉTHANE — LESSIVE DE POTASSE — LESSIVE DE SOUDE — MÉTABISULFITE DE POTASSE — PERCHLORATE D'AMMONIAQUE — PERCHLORATE DE POTASSE — PERCHLORÉTHYLENE — PERFIX — PHÉNOTAN — PHOSPHATE TRISODIQUE — PLASTIFIANT 2 BIS — RIBÉLITE — SOLUGOMME — SOUDE CAUSTIQUE — SULFATE D'ALUMINE — SULFATE DE CUIVRE — SELS DE THALLIUM — THIOGOMME — THIOLATEX — TÉTRACHLORURE DE SILICIUM — TÉTRACHLORÉTHANE — TRICHLORÉTHYLENE — TÉTRACHLORURE DE TITANE — URÉE — XYLOPHÈNES — ZÉOLITHES.

pour les Industries

DU CAOUTCHOUC — DES CABLES ET DES ISOLANTS — DE LA CÉRAMIQUE — L'INDUSTRIE DES COLLES, LAQUES, PEINTURES ET VERNIS — L'INDUSTRIE DES CORPS GRAS — L'INDUSTRIE DU CUIR — L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE — L'INDUSTRIE DES EXPLOSIFS — L'INDUSTRIE DU FROID — L'INDUSTRIE DES MATIÈRES PLASTIQUES — LES INDUSTRIES MÉCANIQUES — L'INDUSTRIE DU PAPIER — L'INDUSTRIE DU PÉTROLE — L'INDUSTRIE TEXTILE — L'INDUSTRIE DU VERRE — L'IMPRIMERIE — LA MÉTALLURGIE — LA PRÉSERVATION DES BOIS — LA SAVONNERIE — LES TRAVAUX PUBLICS — LA TEINTURERIE — LES INDUSTRIES ALIMENTAIRES, ETC.



COMPAGNIE de PRODUITS CHIMIQUES et ELECTROMÉTALLURGIQUES
ALAIS, FROGES ET CAMARGUE
 23, rue Balzac, PARIS (8^e). TÉL. CARNOT 54-72



*Une heure n'est pas qu'une heure...
c'est un vase rempli de parfums, de projets et de climats*

(MARCEL PROUST)



JAEGER-LECOULTRE

HORLOGERIE DE LUXE

ÉTUDE ET PUBLICITÉ

L'AVIATION DE HAUTE VITESSE⁽¹⁾

par M. Guy DU MERLE,
*Ingénieur en chef de 1^{re} Classe de l'Air,
Directeur du Service technique de l'Aéronautique.*

Aujourd'hui, Aviation est synonyme de haute vitesse. Prendre l'avion, c'est d'abord aller vite : c'est effectuer le trajet de New-York à Paris en 15 ou 16 h au lieu de 5 jours par le bateau le plus rapide, le parcours de San Francisco à New-York en 12 h au lieu de 3 jours et demi par chemin de fer, ou le trajet de Paris à Nice en 2 h 35 au lieu de 13 h en automobile.

La première question qu'on pose à propos d'un avion nouveau est d'abord : « Quelle est sa vitesse ? ». Le record le plus en vogue est celui de la vitesse pure. Et il n'est pas un adolescent soigneux de sa réputation qui ne sache placer opportunément quelques considérations sur le fameux « mur sonique ».

Il n'en a pourtant pas toujours été ainsi.

Sans remonter jusqu'au précédent quelque peu douteux d'Icare, il n'est pas téméraire d'affirmer que le premier souci des précurseurs de l'aviation fut d'abord de s'élever au-dessus du sol et que cette entreprise, à la vérité formidable pour l'époque, suffit à absorber toute leur attention et toute leur énergie, sans qu'ils fussent autrement préoccupés de vitesse. On ne saurait les en blâmer : le prélude nécessaire de tout vol est, aujourd'hui encore, le décollage, et il faut savoir prendre les choses dans l'ordre.

Assurément, la vitesse fut clairement reconnue dès les débuts comme l'essence même du nouveau mode de locomotion, puisque, suivant l'expression imagée du Capitaine Ferber, rapportée par Marcel Jeanjean : « La sustentation est une fleur qui naît de la vitesse ». Mais il paraît certain qu'elle a d'abord été considérée comme un moyen et non comme une fin.

D'ailleurs, les termes de comparaison dont on disposait dans l'espace aérien, à savoir le ballon libre et même le dirigeable, étaient des concurrents plutôt tranquilles qui n'incitaient pas à des vitesses prestigieuses.

Le résultat est là : les premiers avions allaient nettement moins vite que les automobiles de l'époque, et l'avion de Santos-Dumont en 1906 était tout fier de faire 41 km : h.

Bien peu de personnes ont eu dès ce moment le pressentiment de l'énorme développement futur de la vitesse de ces nouveaux engins, qui nous paraît si naturel aujourd'hui. C'est qu'il n'était pas évident pour tout le monde à priori :

— que le vol serait un jour le *seul* moyen d'aller vraiment très vite,

— et que ce serait de loin le moyen le plus économique pour atteindre ce résultat, ainsi qu'il résulte aujourd'hui de la simple comparaison suivante : un avion de tourisme à 4 places consomme à 250 km : h de croisière une vingtaine de litres aux 100 km, et une voiture automobile très rapide, du même nombre de places, consomme à 120 km : h de croisière, c'est-à-dire à demi-vitesse, sensiblement le même chiffre.

Dans cette voie étincelante, la route a toujours été frayée par les avions de course ou de record : la prouesse exceptionnelle d'un jour devenait performance courante quelques années plus tard. Il m'a donc semblé intéressant, pour bien situer le débat, de faire un bref retour sur le passé et d'exposer en quelques mots l'historique de la progression réalisée dans ce domaine.

I. — DÉVELOPPEMENT DE LA VITESSE À TRAVERS LES ÂGES.

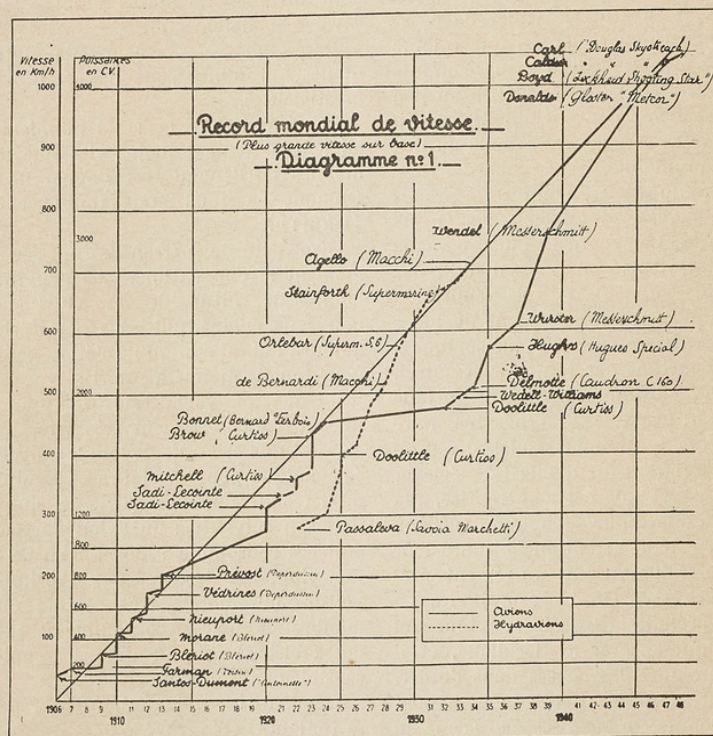
1 — Depuis les 41 km : h de l'avion Farman en 1907 sur avion Voisin, la progression fut rapide et, coïncidence curieuse, à peu près linéaire en fonction du temps

(1) Conférence faite le 20 mai 1948 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.
L'Industrie nationale. — Janvier-Mars 1949.

comme le montre le diagramme n° 1 sur lequel on peut admirer que la nature — ou la technique, comme on voudra — suscité des hydravions pour rétablir cette linéarité au moment même où un fléchissement passager des avions venait la mettre en danger.

Trois ans après le vol de Farman, sa performance était doublée par Blériot en 1910, et celle-ci elle-même encore doublée

7 ans — du moins si l'on s'en tient aux avions car, entre temps, les hydravions de la coupe Schneider, qui avaient débuté plus modestement, firent une percée fulgurante en avant-garde de la vitesse, grâce aux plus grandes facilités de décollage et d'atterrissage qu'offraient des plans d'eau illimités pour des appareils de course lourdement chargés au mètre carré, à une époque



trois ans plus tard par le gagnant de la coupe Gordon-Bennett de 1913, le monoplane français Deperdussin, vraiment remarquable pour son époque et dont le record de vitesse de 203 km : h resta inviolé pendant 7 ans.

Nieuport, grâce à Sadi-Lecointe, reprit alors le flambeau, bientôt éclipsé par Curtiss, qui incarne la première apparition américaine dans ce glorieux palmarès, où les États-Unis durent bientôt céder à leur tour la place à un autre français, l'Adjudant Bonnet, pilotant l'avion Bernard « Ferbois », dont les 448 km : h de 1924 constituèrent à nouveau le record mondial pour plus de

où l'on ignorait encore et l'hypersustentation et les pistes cimentées de décollage.

La période de gloire des hydravions trouva son apogée avec le record mondial de l'Italien Agello, sur hydravion Macchi, bimoteur Fiat, en tandem de 2.800 ch, avec 709 km : h en 1934.

Pendant ce temps, les avions terrestres marquaient le pas, comme le montre la « poche » correspondante de la courbe, où se situe cependant un point remarquable que j'ai plaisir à souligner : celui du record français de 1934, remporté par Delmotte avec un avion Caudron-Renault dont la puis-

sance était considérablement inférieure à celle de ses devanciers. Puis ce furent, comme on sait, les Allemands qui s'emparèrent du record mondial de vitesse qu'ils portèrent, à la veille de la récente guerre, au-dessus même de la performance d'Agello, avec un Messerschmitt 109 qui réalisa une vitesse de 755 km:h en 1939.

En temps de guerre, on a autre chose à faire que d'homologuer des records mondiaux; aussi faut-il attendre la fin des hostilités pour voir les monoplaces de chasse dernier modèle cueillir les lauriers pacifiques auxquels leur donnait droit le nouveau mode de propulsion par réaction, dont ils étaient les premiers protagonistes. Comme il se devait, la compétition fut alors très serrée, et, successivement, deux Gloster « Meteor » britanniques, puis le chasseur américain P 80 « Shooting Star », et enfin par deux fois l'avion expérimental de haute vitesse Douglas « Skystreak » hissèrent étape par étape le fameux record au-dessus de la barrière fatidique des 1.000 km:h à laquelle, avec une audace prophétique, Louis Blériot avait attribué une coupe dès 1932, qui n'est d'ailleurs pas encore gagnée définitivement, puisqu'elle exige une durée de vol qui n'a pas été jusqu'ici satisfaite.

2 — Mais voici que le prestige des 1.000 km:h, qui ne repose que sur celui des nombres ronds (mais chacun sait qu'il est grand en France) vient à pâlir au profit d'une autre limite plus riche de sens technique, et, qui, variant avec l'altitude, se trouve par surcroît bien à la mode de notre époque où l'on voit fleurir des échelles mobiles de toute nature : je veux parler de la vitesse du son. Au lieu de km:h, on commence depuis quelques années à parler en « nombres de Mach » — improprement d'ailleurs, et nous devons rendre à la mémoire d'un illustre français, Sarrau, l'hommage qui lui est dû en rappelant qu'il fut le premier à mettre en évidence l'intérêt technique de ce rapport de la vitesse réelle à la vitesse du son dans le milieu ambiant : aussi, cherchant un compromis entre l'usage international et l'équité, appellerons-nous ce rapport « nombre de Sarrau-Mach ». Tous les regards sont braqués maintenant vers le franchissement de la vitesse du son, dont les environs immédiats

(nombres de Sarrau-Mach compris entre 0,80 et 1,20) sont communément appelés « région transsonique », et donnent lieu à des difficultés techniques particulières sur lesquelles nous reviendrons tout à l'heure.

Dans deux pays au moins, on vient de franchir la limite fatidique. En Amérique d'abord, le Bell XS 1, propulsé par fusées, et emporté « à pied d'œuvre » par une Superforteresse B 29 qui le larguait en vol à quelque 10.000 m d'altitude, aurait, à plusieurs reprises, (et l'on dit même « très largement ») dépassé la vitesse du son, à une altitude d'ailleurs supérieure à 11.000 m, où cette vitesse est légèrement inférieure à 1.000 km:h et se situe donc — détail piquant — au-dessous du record du « Skystreak » établi au niveau du sol à 1.053 km:h. En Grande-Bretagne, le De Havilland D. H. 108 « Swallow » aurait lui aussi réussi cet exploit.

3 — Quittons un moment le domaine de la course ou du record pour parler des performances pratiques des avions d'utilisation — c'est-à-dire, en matière de vitesse pure, des avions de chasse. Il est impossible de les citer tous, mais les points les plus remarquables qui jalonnent la route sont en gros les suivants :

— Le Spad 7 de la Guerre 1914-1918 faisait 195 km:h,

— Le Nieuport 29 obtenait au lendemain de cette même guerre une vitesse maximum de 225 km:h,

— Le Nieuport 62, dernier des chasseurs sans compresseur, faisait 269 km:h.

On enregistre ensuite un bond en avant de 100 km:h avec l'apparition du moteur à compresseur sur Dewoitine 500 (358 km:h à 5.000 m).

L'apparition des hypersustentateurs et des atterrisseurs escamotables donne un nouveau progrès du même ordre, et le Morane 406 réalise la vitesse de 488 km:h à 4.850 m avec un moteur de 860 ch.

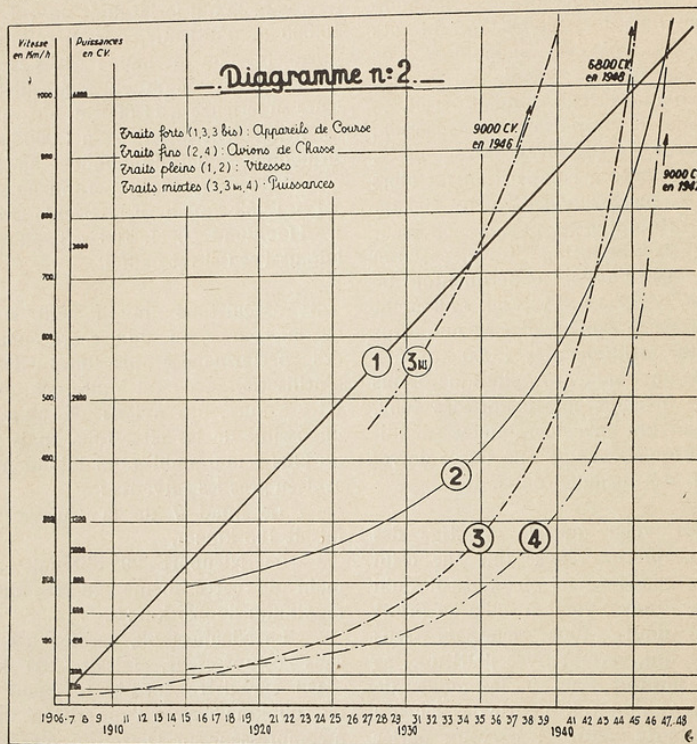
Puis c'est la course à la puissance, et l'on voit pendant les hostilités les avions Spitfire et Messerschmitt 109 s'élever d'abord jusqu'à 640 km:h et dépasser même, à la fin de la guerre, la vitesse de 700 km:h, conjointement avec d'autres avions, parmi lesquels on trouve des bimoteurs tels que le Lockheed « Lightning » P 38 et le « Mosquito » britannique.

Aujourd'hui, le Gloster « Meteor IV » s'enorgueillit d'une performance de 940 km/h et les chasseurs à réaction américains « Shooting Star » et « Thunderjet » réalisent couramment des vitesses du même ordre.

4 — A quel prix ont été obtenues ces vitesses? On peut en avoir une idée par le diagramme n° 2, où se trouvent idéa-

encore ces chiffres de 25 p. 100 pour tenir compte du rendement d'hélice de 0,8 dont ils sont affranchis et qui grève les autres.

Les points trop aberrants des appareils de course : ceux du Meteor, de l'hydravion d'Agello, et des appareils de la coupe Schneider, ont été regroupés à part sur une courbe 3 bis qui concerne, en gros, les bimoteurs et les hydravions.



lisées, en élaguant les zig-zags des cas particuliers, les courbes moyennes des vitesses réalisées dans les deux catégories précédentes et des puissances correspondantes.

L'œil est immédiatement frappé par la montée vertigineuse des courbes de puissance, qui donne bien à elle seule une idée tangible de ce que le public appelle le « mur sonique » ou la « barrière du son ». Encore n'avons-nous traduit l'effet des réacteurs qu'en puissance effective à la vitesse considérée : il faudrait, pour une comparaison valable avec les puissances des moteurs à pistons, majorer

La courbe des vitesses des avions de chasse est très régulièrement et fortement incurvée, alors que celle des appareils de course est sensiblement rectiligne. C'est le moment de faire remarquer que la physionomie de la première est fortement influencée par le fait qu'elle ne prend en considération que la vitesse maximum, quelle que soit l'altitude où elle est atteinte. Si l'on avait dû, comme pour les records, s'en tenir à la vitesse au niveau du sol, les vitesses des chasseurs postérieurs à 1930 se seraient trouvées systématiquement et de plus en plus diminuées, au fur et à mesure que

l'altitude de rétablissement s'élève (8.000 m en 1944). Mais cela n'explique rien, ou plutôt ne ferait qu'accentuer la cassure de la courbe, puisque les chasseurs à réaction ont bien, eux, leur vitesse maximum au niveau du sol. La vraie cause est donc à chercher ailleurs, et doit être trouvée, à mon avis, dans l'accroissement des charges militaires imposées aux avions de chasse, sous forme d'armement, d'autonomie et de blindages — surcharge dont l'effet sur la vitesse est d'abord très sensible et diminue ensuite au fur et à mesure que celle-ci augmente, comme nous aurons l'occasion de le mettre en évidence par la suite.

5 — Ces exploits des « pur-sangs » ne doivent pas faire oublier les efforts plus modestes, mais singulièrement efficaces, déployés dans la catégorie des avions légers où la Coupe Deutsch de la Meurthe engendra, avant la guerre, un effort remarquable concrétisé par les vitesses de 322 km/h, atteinte en 1933 par le Potez 53, premier gagnant de cette compétition, et de 389 km/h atteinte l'année suivante par le Caudron-Renault qui devait servir de tête de file à de multiples appareils d'utilisation.

II. — LA PROPULSION.

Aux vitesses subsoniques, chacun sait qu'à traînée égale, la puissance nécessaire au vol en palier croît sensiblement comme le cube de la vitesse obtenue. Comme le poids des moteurs augmente lui-même avec la puissance, il est intuitif de penser qu'à moins de progrès substantiels dans la légèreté des machines motrices, il arrive une limite pour laquelle une nouvelle augmentation de la puissance engendre un alourdissement général de l'appareil, donc une augmentation de ses dimensions, d'une importance telle que l'opération n'est plus payante, c'est-à-dire que l'accroissement de traînée qui en résulte fait reperdre tout l'avantage escompté du côté de la propulsion. Ceci sans faire appel, pour le moment, à aucune limitation aérodynamique de la vitesse due au nombre de Sarrau-Mach, dont nous reparlerons au chapitre suivant.

Un intéressant article de l'Ingénieur en Chef Pierrat dans le numéro I de la Revue

Cette « vitesse économique », qui se passe si élégamment de la véritable débauche de puissance à laquelle nous venons d'assister, conduit en effet à des applications pratiques des plus intéressantes et dont bénéficient les plus modestes usagers. C'est ainsi qu'on réalise aujourd'hui couramment des avions de tourisme qui, tel le Nord 1.100, pour n'en citer qu'un, atteignent une vitesse maximum de l'ordre de 290 km/h avec seulement 220 CV, c'est-à-dire qu'avec moins de 50 p. 100 de la puissance, ils dépassent largement, avec 4 personnes en veston et chapeau mou, ce qui était, il y a 20 ans seulement, l'apanage exclusif des audacieux pilotes de chasse, tout caparaçonnés de cuir.

Nous allons aborder maintenant l'examen des principaux problèmes techniques que pose à l'Ingénieur la construction d'avions de haute vitesse. En raison de l'ampleur de la question, il ne nous sera malheureusement possible ni de les évoquer tous, ni de nous étendre longuement sur chacun d'eux — qu'on veuille donc bien excuser le caractère forcément très incomplet et sommaire de ce bref tour d'horizon.

« Espaces » illustre ce fait d'une façon très parlante. Faisant apparaître, dans l'expression de la vitesse déduite de l'équation classique du vol en palier :

$$V = \sqrt[3]{\frac{2g \eta W}{\alpha C_x S \delta}}$$

le poids total P de l'avion et le poids du groupe motopropulseur, article B de la Norme 2.001, il obtient l'expression suivantes :

$$V = \sqrt[3]{\frac{2g B P W \eta}{\alpha P S B C_x \delta}}$$

qui a le mérite de mettre en relief les deux intéressants rapports :

$\frac{W}{B}$, poids au cheval du groupe motopropulseur,
 $\frac{B}{P}$, fraction du poids de l'avion consacrée au moteur.

M. Pierrat établit ainsi que, abstraction

faite de toute question de compressibilité et même de rendement d'hélice (c'est-à-dire en supposant ce dernier constamment égal à 0,8), l'emploi de moteurs à pistons de formule classique conduit, même pour un avion poussé ($400 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, 100 C_x de vol égal à 0,03), à une limite absolue de vitesse de l'ordre de $720 \text{ km} \cdot \text{h}$, si l'on considère le fonctionnement du moteur en croisière ⁽¹⁾, et de $940 \text{ km} \cdot \text{h}$ si l'on admet qu'il marche à pleine puissance ⁽²⁾, comme c'est le cas pour le bref trajet d'un avion de record ou de vitesse pure. Encore cela suppose-t-il que le groupe motopropulseur, sans aucun combustible, représente à lui seul la moitié du poids total de l'appareil : B/P est pris égal à $1/2$. Ce calcul, d'ailleurs optimiste, est trop simplifié pour que les chiffres obtenus aient une valeur intrinsèque : il montre néanmoins que la limite existe et qu'elle est toute proche. On ne saurait mieux démontrer l'incapacité congénitale du moteur classique, quand ce ne serait que pour des raisons de poids, à atteindre la zone des hautes vitesses où l'on arrive aujourd'hui.

Il existe également une limite due à l'hélice. Celle-ci, pour conserver un rendement acceptable, ne saurait tolérer des vitesses franchement supersoniques aux extrémités de pales. Or, la vitesse absolue à cet endroit est la somme géométrique d'une vitesse périphérique de rotation, fonction du diamètre, lui-même croissant avec la puissance à absorber, et de la vitesse de translation de l'appareil, pratiquement négligeable devant la précédente à l'époque où les avions étaient lents, mais qui vient singulièrement compliquer le problème dès qu'on ambitionne d'avoisiner la vitesse du son. Là encore on rencontre une interdiction, plus générale même que la précédente, puisqu'elle frappe l'élément propulsif lui-même, indépendamment du moteur qui l'anime — fût-ce un moteur léger comme une turbine à gaz.

Ces deux considérations conduisent sans hésitation possible à la nécessité de la propulsion par réaction pure. Celle-ci peut-être obtenue de diverses façons, que nous

allons schématiser en les désignant par la terminologie très heureuse, et désormais classique, proposée par M. Maurice Roy.

La plus simple consiste en une réaction chimique permettant de produire sans aucun emprunt à l'air ambiant ⁽³⁾ la totalité des gaz chauds expulsés vers l'arrière : c'est le principe de la fusée. Particulièrement économique en poids en ce qui concerne le moteur lui-même — lequel peut, à la limite, être ramené à une chambre de réaction et à une tuyère, avec éventuellement quelques organes légers d'alimentation, d'allumage et de régulation — cette solution est par contre extrêmement onéreuse en combustible, si l'on peut toutefois conserver cette expression, lorsqu'on emporte à bord tous les éléments de la réaction, y compris le comburant lorsqu'il s'agit d'une véritable combustion (comme dans le cas d'une poudre ou d'un explosif par exemple).

Les consommations étant considérables, un tel avion ne peut, dans l'état présent de la technique, emporter que quelques minutes de vol, ce qui exclut la possibilité de tenter un record de vitesse avec les règles actuelles, qui prévoient 4 passages sur base au cours du même vol. La face des choses serait évidemment changée si l'on pouvait un jour faire appel dans ce domaine à l'énergie atomique, question qui fait l'objet de nombreuses recherches, aux États-Unis notamment, mais ne paraît pas soluble dans un avenir proche, tant en raison des poids considérables auxquels on se trouverait conduit que du fait de l'intense radio-activité dégagée par ce genre d'énergie, et qui serait immédiatement mortelle pour l'équipage.

Le turboréacteur, lui, n'a besoin d'emporter que le combustible, puisqu'il puise le comburant dans l'air ambiant : aussi permet-il des vols de plus longue durée, quoique son rendement thermique soit encore bien inférieur à celui des moteurs à pistons. Son poids à vide, très supérieur à celui de la fusée mais beaucoup moindre que celui des moteurs à pistons, permet de résoudre aujourd'hui correctement le problème de puissance massique évoqué plus haut, et c'est

(1). $\frac{B}{W}$ est alors pris égal à $1,75 \text{ kg} \cdot \text{ch}$ de croisière.

(2). $\frac{B}{W}$ est alors pris égal à $0,8 \text{ kg} \cdot \text{ch}$ de puissance de surcharge.

(3). La poussée est alors indépendante de l'altitude, et le plafond n'est théoriquement limité que par l'épuisement du combustible.

pourquoi les plus récents détenteurs du record de vitesse font appel à cette technique, dont on se rappelle le principe :

A l'entrée de la machine, un compresseur axial ou centrifuge fournit de l'air à haute pression et grand débit dans des chambres de combustion, où le combustible convenablement injecté l'élève à haute température; il se détend ensuite à travers une turbine qui n'a pas d'autre rôle que d'entraîner le compresseur, et s'échappe vers l'arrière en conservant une part notable de son énergie qui provoque la propulsion par réaction. La puissance développée sur l'arbre est donc purement une puissance interne, ce qui ne l'empêche pas d'être fort importante : ainsi le turboréacteur Rolls-Royce « Nene », que nous construisons sous licence en France, développe au niveau de la mer une puissance interne de l'ordre de 10.000 ch à plein régime, alors que sa puissance externe — laquelle ne peut être évaluée qu'en fonction d'une vitesse déterminée de l'avion — est à 900 km : h à l'altitude zéro, de l'ordre de 6.700 ch, c'est-à-dire seulement 68 p. 100 de la puissance précédente.

Le poids de ces machines est très réduit. Ainsi le Nene pèse 800 kg : rapporté à la puissance extérieure qui vient d'être énoncée, cela correspond à un poids au cheval de l'ordre de 120 g, c'est-à-dire seulement 15 p. 100 du poids spécifique d'un excellent groupe moto-propulseur à pistons considéré au mieux de sa condition, c'est-à-dire à sa puissance de décollage, comptée sur l'arbre porte-hélice. Ce chiffre tombe à 12 p. 100 si l'on tient compte, comme il n'est que juste, du rendement d'hélice qui affecte le moteur à pistons. Il diminue encore (au-dessous de 10 p. 100) en croisière, car une turbomachine peut croiser beaucoup plus près qu'un moteur à pistons de sa puissance maximum.

La consommation en croisière à 10.000 m à 720 km : h étant de l'ordre de 500 g contre 275 g par ch : h de puissance utile (en tenant compte du rendement d'hélice), on voit que le gain de poids réalisé par un tel turboréacteur par rapport à un bon moteur à pistons fictif qui développerait en croisière la même puissance de propulsion, c'est-à-dire compte tenu du rendement d'hélice, compense à peu près le surcroît de consommation nécessaire pour environ 7 h 30 de vol. Ces résultats dépendent largement de la vitesse de croi-

sière, car la poussée du réacteur est sensiblement constante et la puissance qu'il développe est donc proportionnelle à la vitesse. Pour donner une idée de la variation, on peut encadrer les chiffres précédents entre deux extrêmes et dire que pour des vitesses de croisière respectives de 900 et de 540, les consommations spécifiques seraient de 400 et 675 g : ch/h et les temps de vol donnant l'égalité de poids avec le moteur à pistons seraient respectivement de 14 h et de 4 h. Ceci montre clairement que l'emploi des turboréacteurs sur les avions de long parcours est directement lié à la vitesse.

Un compromis très ingénieux entre la fusée et le turboréacteur est réalisé par le statoréacteur, dans lequel la compression est produite seulement par la pression dynamique due à la vitesse, avec un dessin de tuyère approprié. On fait ainsi l'économie de toutes les pièces tournantes et par conséquent de la majeure partie du poids des moteurs, comme dans la fusée — sans avoir cependant besoin d'emporter le comburant, et en puisant celui-ci dans l'air ambiant, comme dans le turboréacteur. Le gain de poids par rapport au moteur à pistons ordinaire est encore bien plus élevé qu'avec le turboréacteur, et la limite de distance franchissable à égalité de poids serait augmentée d'autant si le rendement global était le même, ce qui n'est malheureusement vrai qu'aux vitesses très élevées, car dans la région subsonique la consommation spécifique du statoréacteur est encore nettement supérieure à celle du turboréacteur.

Malheureusement, ce système présente deux graves inconvénients : son encombrement très augmenté pour obtenir les sections de passage nécessaires en l'absence de toute circulation forcée, et surtout l'impossibilité de décoller par ses propres moyens puisqu'à l'arrêt la machine ne peut évidemment développer aucune puissance, faute de pression dynamique, et qu'un minimum de vitesse, qui se situe au voisinage de 300 km : h, est nécessaire pour lui permettre d'assurer le vol de l'appareil. C'est selon ce principe qu'est construit l'avion Leduc, qui effectue actuellement des essais très intéressants à Toulouse, avec décollage sur le dos d'un avion porteur qui le largue en altitude.

Il est important de noter que ce dernier mode de propulsion est, en dehors de la fusée, celui qui s'accommodera le mieux des vitesses

supersoniques, où son rendement ne fera que croître. Il est certain que, n'emportant que le combustible, il comporte par rapport à la fusée un important avantage de pouvoir calofique par kilogramme de combustible emporté.

De quoi sera fait l'avenir? En aviation, les prophéties sont toujours difficiles, mais il est certain que la lutte reste ouverte dans le domaine supersonique, entre le statoréacteur, qui bénéficiera certainement d'un rayon d'ac-

tion beaucoup plus grand aux vitesses modérément supersoniques, et la fusée qui, selon certains, sera seule capable d'assurer la propulsion à des nombres de Sarrau-Mach supérieurs à 2.

Nous n'en sommes pas encore là aujourd'hui, et il nous faut maintenant examiner les problèmes aérodynamiques et structuraux qu'il faut résoudre au voisinage de la vitesse du son.

III. — PROBLÈMES AÉRODYNAMIQUES ET STRUCTURAUX.

Les considérations que nous avons faites tout à l'heure sur la puissance nécessaire supposent un état donné de l'aérodynamique. Si nous prenons le problème en sens inverse, afin de séparer les variables, on peut avec une puissance donnée réaliser des vitesses très différentes suivant la qualité aérodynamique de l'appareil, le but primordial étant ici de réduire la traînée exprimée par le symbole C_x .

1 — Nous commencerons par des considérations qui valent surtout pour les grandes vitesses subsoniques, en dehors du domaine de la compressibilité, et indiquerons ensuite ce qu'il en advient pour les nombres de Sarrau-Mach plus élevés.

Un aspect important de la question, trop souvent perdu de vue, est que l'augmentation de la vitesse modifie profondément la répartition de la traînée entre ses diverses catégories classiques. On sait en effet que le C_x d'un avion peut se mettre sous la forme :

$$C_x = C_{x_0} + kC_z,$$

qui fait apparaître deux termes, dont le premier est une traînée pure, qui caractérise la qualité aérodynamique de l'appareil, tandis que le second est la rançon de la sustentation et s'appelle la traînée induite. Si l'on reporte cette expression dans l'équation de puissance du vol horizontal, on voit que celle-ci peut se mettre sous la forme :

$$W = \alpha C_{x_0} V^3 + \frac{b}{V}.$$

Pour les bons avions moyens de l'époque présente, par exemple pour un avion de transport ayant une vitesse de croisière de 400 km/h et présentant une aérodynamique

assez soignée, le deuxième terme représente encore une part notable de la puissance (environ 45 p. 100). Au contraire, lorsque la vitesse augmente beaucoup, on voit que le deuxième terme tend à devenir tout à fait négligeable. C'est ainsi que sur l'avion de chasse allemand Messerschmitt 163, propulsé par fusée, M. Pierrat a mis en évidence qu'un centième seulement de la puissance, c'est-à-dire environ 60 ch sur les 6.000 ch dont dispose cet appareil à pleine vitesse, est consacré à la sustentation : les 99/100 restant sont uniquement employés à vaincre les résistances passives.

On peut en déduire des conséquences importantes dans le dessin des appareils. L'effort principal doit être consacré à réduire le terme C_{x_0} , sans s'attarder à diminuer la traînée induite. En particulier, il devient parfaitement vain d'adopter de grands allongements, qui perdent leur principale justification. Les avions de haute vitesse ont donc généralement aujourd'hui des allongements de l'ordre de 4 ou 5, qui permettent de réaliser des ailes très robustes sans alourdissement excessif. C'est d'autant plus appréciable que la hauteur — donc l'inertie de section — dont on dispose pour les structures diminue sans cesse au fur et à mesure que les profils s'amincissent.

2 — Le terme C_{x_0} comporte lui-même une part due à la traînée de forme et une autre due à la traînée de frottement. Pour réduire la première, on s'attachera à adopter des formes très progressives et continues, avec des maîtres-couples aussi réduits que possible et par conséquent des profils minces. Bien entendu, toute excoissance sera soigneusement éliminée par des escamotages appropriés,

dont le plus typique est celui de l'atterrisseur. Un autre point qui prend beaucoup d'importance est le dessin correct des entrées d'air au réacteur.

Mais c'est surtout la traînée de frottement qui doit retenir l'attention, car elle est de beaucoup prépondérante et représente environ les 9/10 du total pour des profils minces (10 à 12 p. 100). Elle est liée au comportement de la couche limite qui, comme on sait, comporte une première partie d'écoulement laminaire, dont le coefficient de frottement est faible, et une deuxième partie, hélas inévitable, d'écoulement turbulent, dont le coefficient de frottement est beaucoup plus fort. Le point qui sépare ces deux zones s'appelle point de transition, et il est évident qu'on a le plus grand intérêt, tant pour les ailes que pour le fuselage, à le reculer le plus possible, afin de laisser, à l'avant, la plus grande partie possible de l'appareil en écoulement laminaire. Pour atteindre ce but, on est conduit à reculer les maître-couples autant que le permet le maintien d'un écoulement correct, sans décollement, sur les parties arrières. D'où l'emploi pour les voilures de profils dits « laminaires », dont l'épaisseur maximum se trouve reculée vers la moitié de la profondeur d'aile, tandis qu'elle était fréquemment située au tiers ou même au quart dans les bons profils anciens. Il en est de même pour les fuselages. Ces dispositions comportent d'autre part des avantages importants, dont nous parlerons tout à l'heure, lorsqu'on atteint les grands nombres de Sarrau-Mach.

On a intérêt également, pour diminuer la traînée de frottement, à réduire le plus possible ce qu'on appelle les « surfaces mouillées » et par conséquent à réaliser un appareil aussi compact que possible.

C'est l'un des intérêts principaux de la formule de l'aile volante ou avion sans queue, que je crois pleine d'avenir, bien qu'elle présente par ailleurs de grosses difficultés, notamment pour l'hypersustentation.

3 — Ayant examiné le phénomène à l'échelle macroscopique, il nous faut maintenant entrer plus à fond dans les détails de réalisation et attirer l'attention sur la question fondamentale des états de surface. Une distinction s'impose parmi les défauts qu'on rencontre dans ce domaine, si l'on ne prend pas de précaution spéciale.

a) Il existe d'abord des écarts inévitables, auxquels il faut d'ailleurs attribuer des tolérances, entre la forme extérieure réelle de l'appareil et le profil théorique du dessin, écarts qu'on peut appeler « malformations » pour les distinguer des défauts de rugosité, dont nous parlerons ensuite. Ces malformations agissent sur la répartition des pressions autour de l'appareil et par conséquent à la fois sur la traînée de forme et sur l'état de la couche limite. Il est évident que les défauts de cette nature ont d'autant plus d'inconvénients qu'ils sont plus localisés ou, si l'on veut, moins étalés : le but principal à rechercher dans cette voie est d'abord la continuité des formes, et cela présente moins d'inconvénients d'avoir par rapport au profil théorique un écart relativement important, mais réparti sur une grande profondeur avec une bonne continuité des rayons de courbure, que d'avoir un écart beaucoup moindre, mais brusque, et qui provoque des variations brutales dans l'écoulement.

Cette question paraît simple à première vue, mais elle soulève de très difficiles problèmes de fabrication industrielle, parce que les revêtements sont souvent portés par des structures discontinues, comportant des longerons, nervures, etc... au passage desquels il est difficile d'éviter complètement la moindre cassure. A cet égard, on ne saurait trop recommander l'adoption de structures en caisson pur, où les éléments de résistance, au lieu d'être localisés, sont répartis sur toute la surface — encore qu'un soin particulier soit nécessaire dans l'assemblage des raidisseurs associés à la tôle extérieure pour lui donner une tenue convenable à la compression. Heureusement, le « fini » de l'exécution se trouve favorisé par l'épaississement des revêtements, auquel conduisent fatalement les charges locales très élevées qu'entraînent les grandes vitesses. On a même été jusqu'à réaliser des panneaux de revêtement d'ailes « pris dans la masse » en une seule planche très épaisse d'alliage léger, évidée intérieurement pour faire surgir, comme une sorte de bas-relief, les raidisseurs intérieurs qu'on évite ainsi d'avoir à rapporter par rivetage.

b) Si l'on descend plus bas encore dans l'échelle des détails, on arrive à la notion de rugosité.

Même pour une aile dont la forme géomé-

trique serait parfaitement correcte, de petites granulations infimes suffisent à perturber le comportement de la couche limite et à provoquer prématurément la transition. Ainsi une rugosité de 40 microns seulement amènerait au bord d'attaque le point de transition qui, sur une aile bien polie, eût pu être reculé jusqu'à 40 p. 100, et ferait ainsi passer de 0,4 à 0,9 la traînée de profil, qui s'en trouverait donc plus que doublée.

Pour des valeurs encore plus petites, qui n'ont pas pour effet de déclencher la transition, les rugosités restent nuisibles par le frottement accru auquel elles donnent lieu dans la couche limite turbulente à l'arrière de l'aile. Pratiquement, les dimensions maxima admissibles pour les rugosités, si l'on veut qu'elles restent sans effet sur l'aérodynamique de l'appareil, sont de l'ordre de 5 à 7 microns aux nombres de Reynolds courants. Il est curieux de noter que, contrairement à une notion instinctive d'homothétie, cette limite décroît lorsque les dimensions de l'appareil augmentent. Elle décroît aussi aux grandes vitesses, ce qui est plus intuitif, et vers 900 km : h Hœrner estime qu'une valeur de 3 microns est un maximum pour un avion de petit tonnage.

La question des rugosités pose le difficile problème des peintures : beaucoup de celles qui étaient en usage au début de la guerre, et notamment les peintures dites de camouflage, étaient beaucoup trop grenues, et l'on a pu, par des pônçages et masticages appropriés, économiser jusqu'à 30 p. 100 de la traînée de l'aile. Au moins sur les avions civils, les Américains préfèrent se passer de peintures et ils pratiquent même couramment sur l'avion terminé le polissage mécanique du revêtement, qui brille comme un miroir.

Il ne sert d'ailleurs à rien de soigner à ce point la fabrication si l'avion doit recevoir en utilisation des souillures bien plus considérables que celles qu'on a cherché à éviter en usine. C'est ainsi que le problème des projections de boue lors du roulement au sol mérite d'être soigneusement étudié, et les garde-boue de l'atterrisseur, quoique escamotables, prennent une importance aérodynamique. Quand on parle de microns, il n'est pas d'extravagance qui ne puisse devenir justifiable : n'a-t-on pas été jusqu'à dire que les ailes des avions de haute vitesse devraient un jour prochain être conservées au hangar

dans des écrins, qui seraient d'ailleurs parfaitement justifiés par le prix de ces bijoux d'un nouveau genre — et n'a-t-on pas fait valoir que les simples poussières, traces de mouches et écrasements par impact des menus insectes rencontrés à basse altitude, justifieraient l'enrobage de la voilure dans une gaine consommable, en tissu léger par exemple, qu'une corde de déchirure permettrait de larguer en vol pour permettre à l'avion d'aborder dans toute sa splendeur la virginité des hautes altitudes!...

4 — Si nous repassons maintenant des détails à l'ensemble, quelques considérations préalables sont importantes à propos du domaine transsonique, qu'on situe généralement entre les nombres de Sarrau-Mach 0,8 et 1,2.

Les phénomènes de compressibilité se manifestent, pour des avions classiques, par une assez brusque et très forte élévation de la traînée, une variation souvent fantaisiste de la portance, et des changements assez désordonnés dans les moments de tangage, qui font naître de vives appréhensions sur le comportement de l'avion dans cette zone.

Lorsque ces phénomènes se produisent sur un empennage, à grande distance du centre de gravité, leur action est particulièrement redoutable et c'est une des raisons pour lesquelles certains auteurs envisagent plus volontiers des avions sans queue pour franchir ce domaine aventureux.

En ce qui concerne plus spécialement la traînée, les premiers essais en soufflerie avaient montré une croissance quasi-asymptotique, tendant apparemment vers l'infini (d'où l'expression de « mur sonique »), ce qui paraissait physiquement surprenant, mais provenait en réalité de l'effet d'obstruction de la veine en soufflerie. Des essais fort intéressants ont été effectués plus récemment chez Lockheed par la méthode dite du « bump » qui consiste grosso modo à installer dans un tunnel juste infrasonique une aile sur le dos d'une bosse destinée à provoquer un accroissement local de vitesse. Ils ont montré qu'il ne s'agissait pas d'une véritable discontinuité, mais seulement d'une forte pointe de traînée, de l'ordre de 4 à 5 fois la traînée subsonique, mais pas davantage.

Ces considérations ont d'importantes réper-

cussions sur le dessin des avions et sur leur pilotage. Nous allons les examiner successivement.

5 — On peut reculer l'apparition des ondes de choc par l'adoption d'ailes en flèche. En première approximation, on peut admettre que cette disposition conduit, au point de vue aérodynamique, à remplacer sur une grande partie de l'envergure (mais la difficulté subsiste entière à la pointe) la vitesse totale de translation de l'appareil par sa composante normale au bord d'attaque, qui se trouve ainsi réduite dans la proportion du cosinus de l'angle de flèche. Si ce dernier possède une valeur telle que sa tangente soit supérieure à $\sqrt{M^2 - 1}$, en appelant M le nombre de Sarrau-Mach auquel est destiné l'avion, la vitesse normale à l'aile reste subsonique et l'avion fait alors l'économie de la traînée d'onde qui est extrêmement importante.

Malheureusement, cette disposition, si souhaitable à cet égard, soulève de grosses difficultés à l'atterrissage, la portance maximum se trouvant notablement réduite en ce qui concerne sa valeur globale, avec une aggravation de la portance locale aux extrémités, qui risque de provoquer un décrochage brutal et nuit à l'action des ailerons, situés dans cette région. On cherche à pallier ces inconvénients par des fentes de bord d'attaque à l'extrémité d'aile, ou encore par l'aspiration ou le soufflage de la couche limite.

En outre, l'aile en flèche soulève de difficiles questions constructives de rigidité, très importantes au point de vue de la sécurité aux vibrations, dont nous parlerons tout à l'heure. Il y a là matière à de nombreuses méditations et à des calculs très poussés : on ne saurait admettre tout de go que l'aile en flèche soit une panacée universelle.

6 — Les profils laminaires, dont nous avons vu plus haut l'intérêt intrinsèque pour l'économie de traînée quelle que soit la vitesse, sont fort recommandables aussi pour des raisons particulières à la compressibilité : le gradient de pression positif que ces profils permettent de conserver sur une partie importante de la profondeur de l'aile retarde l'apparition de l'onde de choc, et devient une nécessité pour les appareils très rapides. Mais cette formule ne va pas sans soulever de nom-

breuses difficultés constructives, notamment au point de vue de la tenue aux vibrations.

On sait en effet qu'au-dessus d'un certain seuil de vitesse, appelé vitesse critique et qui est, bien entendu, particulier à chaque réalisation de structure, des vibrations auto-amplifiées peuvent en une fraction de seconde amener la destruction totale de la voilure. Ces vibrations critiques prennent naissance par des couplages qui sont surtout à craindre lorsque le centre de gravité de la charpente se trouve en arrière de l'axe élastique de torsion de l'aile, et plus encore lorsque celui-ci se trouve en arrière du foyer aérodynamique, point généralement situé à 25 p. 100 de la profondeur de toutes les voilures. Ceci revient à dire que le centre de gravité de la structure, ainsi que l'axe de torsion, doivent être avancés au maximum, et la rigidité de torsion portée à la plus haute valeur possible.

Il était encore assez facile de répondre à ces diverses conditions, par accumulation de la structure dans le bec avant de l'aile, avec les profils anciens où l'épaisseur maximum était elle-même assez en avant pour que la matière située à cet endroit eût encore un bon rendement constructif. Lorsqu'on passe aux profils laminaires, dont les bords d'attaque sont très peu épais, le rendement constructif devient très mauvais par manque d'inertie verticale de la section, et il devient difficile de concentrer à l'avant la partie principale de la structure — alors que d'autre part l'amincissement d'ensemble des profils tend à rendre plus difficile la réalisation d'une bonne rigidité de torsion.

7 — Les phénomènes généraux accompagnant l'apparition de la compressibilité entraînent aussi des conséquences importantes au point de vue du pilotage, dont j'ai eu l'occasion d'expérimenter personnellement quelques-unes et dont il m'a semblé intéressant de vous dire un mot.

Notons d'abord que la vitesse du son, décroissant comme la racine carrée de la température absolue, est plus basse en altitude qu'au sol et que c'est donc dans les régions élevées de l'atmosphère qu'on rencontre le plus aisément les phénomènes de compressibilité.

Lorsqu'on arrive au voisinage du nombre de Sarrau-Mach critique pour l'appareil envisagé, celui-ci s'engage d'abord progressive-

ment, et souvent de façon très douce, tantôt en cabré comme le Meteor (ce qui est favorable pour la sécurité puisque la vitesse de l'avion tend alors à décroître) tantôt en piqué comme le Vampire. Les compensateurs aérodynamiques, tels que les flettner par exemple, ne doivent être utilisés dans cette période qu'avec discernement, car, dans la phase qui va suivre, ils ne serviraient plus à rien, et si l'avion s'engage en piqué, lorsque dans les basses couches de l'atmosphère il retrouvera les nombres de Sarrau-Mach plus réduits grâce à la température, et sortira des phénomènes de compressibilité, leur action risque d'être alors très brutale et de provoquer une ressource violente qui échappe au contrôle du pilote et amène même la rupture.

Un certain nombre d'appareils, comme le Republic « Thunderbolt » ou le Vickers « Attacker », possèdent des volets dits de ressource, généralement situés sous l'intrados, et destinés à favoriser la sortie d'un piqué dangereux sans faire appel à un usage excessif des compensateurs.

Après la phase préliminaire d'engagement lent dont nous venons de parler et si l'on insiste, les ondes de choc provoquent de brusques discontinuités dans le comportement de l'appareil, qui peuvent se manifester, selon

les avions, soit en lacet (cas du Meteor), soit en tangage, comme à bord du Vampire, lequel, pour employer une expression courante chez les Marins dans le comportement à l'eau des hydravions, « fait le marsouin », c'est-à-dire exécute un certain nombre de cabrioles longitudinales dont le moins qu'on puisse dire est qu'elles sont fort désagréables pour le pilote, qui se trouve alternativement soumis à des accélérations de l'ordre de $+4$ à $-2g$, et bien entendu davantage si l'on insiste.

Les décollements dus aux ondes de choc peuvent également provoquer des surcompensations de gouvernes, et les ailerons notamment prennent parfois des braquages spontanés que je suppose volontiers être aussi fort désagréables, quoique je n'en parle que par oui-dire, n'étant pas allé personnellement jusque-là.

Une bonne précaution pour de tels essais consiste à les effectuer à pleine poussée des réacteurs, de telle sorte qu'une réduction brusque de l'admission provoque déjà un ralentissement sérieux de l'appareil et contribue à remettre les choses en ordre.

Le Conférencier présente ensuite, en les commentant, des photographies d'avions à réaction français et étrangers.

Liste d'avions à réaction français et étrangers.

Français :

S. O 6000.
S. O 6020.
V. G. 70.
S. O 4000 M.
Avion Leduc.

Britanniques :

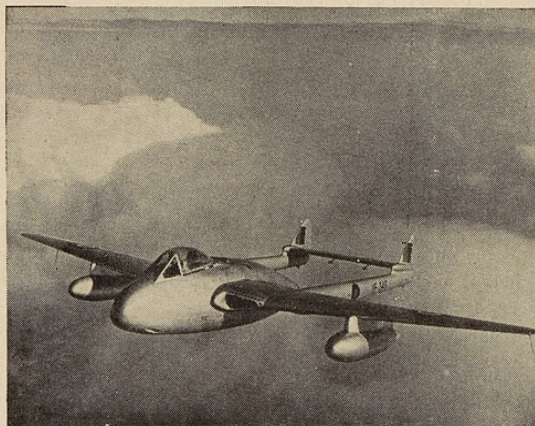
Gloster « Meteor ».
De Havilland « Vampire ».
De Havilland « Swallow ».
Vickers-Supermarine « Attacker ».

Américains :

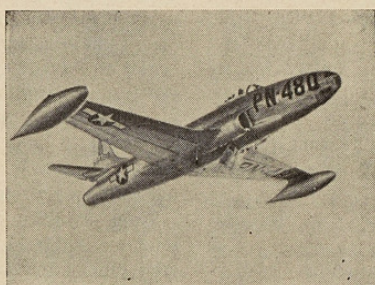
Lockheed P 80 « Shooting Star ».
Republic P 84 « Thunderjet ».
Douglas « Skystreak ».
Bell transsonique X. S 1.

Allemands :

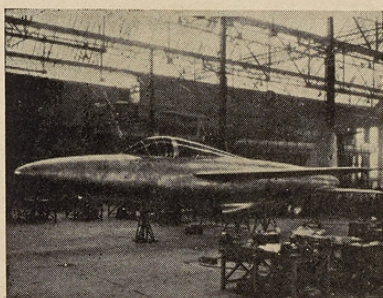
Messerschmitt 262.
Messerschmitt 163.
Heinkel 162.



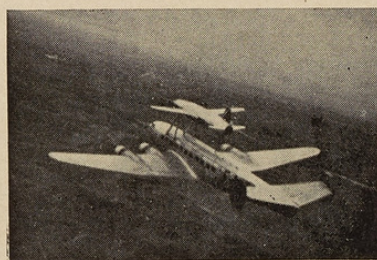
De Havilland « Vampire ».



Lockheed « Shooting Star ».



Chasseur français S.O. 6020.



Avion Leduc porté par Languedoc.

APPLICATIONS TERRESTRES ET NAVALES DES TURBINES À COMBUSTION ⁽¹⁾

par M. Paul DUBERTRET,
*Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ingénieur en Chef honoraire de la Compagnie Électro-Mécanique.*

SOMMAIRE.

Celui qui parle de la turbine à combustion devant un large public doit avoir, par respect pour ses auditeurs, le scrupule de ne pas reprendre intégralement ce qui a paru à maintes reprises dans la presse. Il semble toutefois qu'il soit possible, pour répondre à un désir d'information, de donner un aperçu des principales réalisations récentes, en différents pays, dans le domaine industriel, et de mettre en évidence, non pour les présenter comme des avantages dominants, décisifs, ou comme des inconvénients sérieux, les caractères très divers des solutions adoptées : trop de jugements catégoriques, superficiels et prématurés se font entendre de divers côtés. Il a paru nécessaire d'insister sur les méfaits de cette attitude déplorée par ceux qui font le labeur, le plus souvent dans le silence.

L'exposé comprend :

— Un rappel des principes et des problèmes.

— La présentation de quelques réalisations, des faits et des opinions qui les concernent.

Les pays engagés dans la dernière guerre

ont fait porter leur effort sur le matériel d'aviation; ils ont, depuis la guerre, entrepris de gros travaux pour l'adaptation de la turbine à combustion aux applications industrielles.

L'industrie suisse a pu poursuivre, même pendant la guerre, une activité qui s'est manifestée depuis de longues années; les beaux succès obtenus sont la juste récompense d'un travail qui associe science et technique.

En France, nous nous sommes mis énergiquement à la tâche pour développer ce qui avait été forcément ralenti par l'occupation.

— Une conclusion qui exprime le ferme espoir en l'avenir de la turbine à combustion, espoir qui s'appuie sur les progrès acquis et en cours dans l'aérodynamique, dans la métallurgie, dans l'utilisation des combustibles, et sur le travail des constructeurs agissant en liaison avec les exploitants.

Nous sommes devant une tâche difficile longue et coûteuse; son accomplissement doit contribuer à la prospérité de notre Pays.

— Le texte de l'exposé est suivi d'une liste bibliographique.

PRÉAMBULE.

Monsieur l'Ingénieur général Dumanois m'a fait l'honneur de me demander de présenter, devant la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, une communication sur les applications terrestres et navales des turbines à combustion, et de contribuer ainsi à l'information de la Société sur une question à l'ordre du jour.

J'ai acquiescé, estimant que j'aurais mauvaise grâce à me récuser.

Mais je dois dire que ce n'est pas sans

une sérieuse appréhension que j'aborde ce sujet et ce pour plusieurs motifs.

Scrupules tout d'abord vis-à-vis d'auditeurs touchés déjà par maintes conférences, par maints écrits publicitaires, vulgarisateurs, techniques.

Scrupules vis-à-vis des travailleurs de toutes catégories qui font œuvre efficace en construisant. L'un d'eux, un ami, énonçait récemment cette vérité que, parmi ceux qui s'occupent de la turbine à combustion, il

(1) Conférence faite le 11 mars 1948 devant la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

convient de distinguer ceux qui en parlent et ceux qui en font. Je suis très proche, par sympathie, de ceux qui en font; mais aujourd'hui je suis bien dans le rôle de ceux qui en parlent et cette simple prise de conscience me rappelle la nécessité de la prudence dans les jugements, dans les critiques.

La multiplicité des aspects est une autre difficulté. Bien des exposés, qu'ils soient publicitaires ou techniques, prennent figure de véritables traités, alors cependant qu'un seul type de machines est pris en considération. Aussi le problème de la turbine à combustion a-t-il fait parfois l'objet, non d'une communication isolée, mais d'un cycle de conférences.

En outre la mobilité de ces aspects, dans une technique en pleine évolution, entraîne la nécessité d'écarter les conclusions prématurées.

Il faut aussi se résoudre à reconnaître l'ignorance de ce qui sortira des recherches en cours : sur elles, les informations sont naturellement incomplètes; ce qu'on en connaît doit être utilisé avec discrétion, avec prudence dans l'interprétation.

Et je ne saurais omettre les difficultés de la critique, si on ne veut pas faire figure de censeur, en face de maintes affirmations lancées à la légère.

Ces considérations m'ont guidé dans l'attitude à prendre vis-à-vis de ces différents aspects et dans le plan de l'exposé.

Dans le texte, j'indiquerai les sources qu'il m'a été donné de connaître et dont la valeur d'information mérite une mention particulière. La chose est d'autant plus nécessaire que nous ne pouvons pas approfondir ici les nombreux problèmes qui se posent devant nous.

A ceux qui « font » la turbine à combustion, je m'efforcerai de manifester, dans un esprit dégagé de toute préoccupation commerciale, dans le souci de traduire fidèlement leur pensée, la sympathie que mérite leur labeur sincère : la multiplicité des phénomènes qui entrent en jeu dans le fonctionnement d'une turbine à combustion et les difficultés qui leur sont associées ont provoqué la multiplicité des cycles et des systèmes. Les avantages présentés par chacun d'eux ne sont certes pas gratuits; il est bon de mentionner les inconvénients correspondants, mais cette constatation ne doit pas être un dénigrement. C'est la connaissance de certaines discussions intervenant après des communications techniques qui m'a suggéré de faire ici cette remarque, dans l'intention bien arrêtée d'être très réservé dans les jugements et de m'abstenir de ce qu'on pourrait appeler la critique conjecturale. On peut imaginer, dans cet ordre d'idées, ce qu'aurait pu être la discussion entre le constructeur de la machine à vapeur à échappement à l'air libre et le constructeur de la machine à vapeur munie d'un condenseur à surface. Il y avait certes matière à dénigrer l'encombrement du condenseur, la complication de son faisceau et de ses pompes, son prix.

Enfin je me garderai de la rigidité de conclusions — hâtives à mon sens — sur la situation actuelle ou sur l'avenir de la turbine à combustion.

Après avoir rappelé très sommairement les principes essentiels et les problèmes rencontrés, je passerai en revue un certain nombre de réalisations et propositions et je m'efforcerai de dégager en fin d'exposé ce qui paraît être vérité acquise.

PRINCIPES.

Signalons tout d'abord un point de terminologie. Il convient de désigner sous le nom de « turbine à combustion » l'ensemble : chambre de combustion, compresseur, turbine, et de réserver l'expression « turbine à gaz » à la seule turbine proprement dite.

Parmi les groupes de phénomènes étudiés en thermodynamique, il en est un qui nous intéresse tout particulièrement pour l'objet de cet exposé; il concerne les échanges de

travail et les échanges de chaleur au cours de l'évolution d'un fluide compressible, c'est-à-dire dont le volume varie, d'une manière sensible, utilisable, en même temps que la pression.

La thermodynamique nous enseigne qu'en théorie, dans une machine parfaite, c'est-à-dire dont le fonctionnement utiliserait uniquement les phénomènes purs que nous concevons et que nous voudrions provoquer,

dans un fonctionnement libéré de tous phénomènes parasites, la quantité d'énergie fournie par le système, ou absorbée par lui au cours d'une évolution déterminée, fermée, est indépendante de la nature du fluide.

Les conditions pratiques, celles qui correspondent à la complexité de la nature, montrent au contraire que le choix du fluide et de l'évolution qu'on lui impose sont d'importance pour la qualité du résultat.

Un premier choix s'offre à nous entre le fluide condensable, vapeur d'eau, vapeur de mercure, par exemple, et le fluide non condensable, gaz quelconque, air par exemple, ou mélange de gaz, air et produits de la combustion.

Nous avons aussi le choix entre différents modes d'évolution du fluide, désignés sous le nom de cycles, entre différents moyens de réalisation, par exemple entre différents circuits suivis matériellement par le fluide, et entre différents modes d'interaction du fluide et des organes mécaniques : interaction directe dans la machine à piston, indirecte, par l'intermédiaire de l'énergie cinétique, dans les turbines, les compresseurs centrifuges, les compresseurs axiaux.

Rappelons enfin les quelques notions de thermodynamique qui nous sont d'utilité immédiate pour l'examen et la critique des conceptions et des réalisations.

L'équivalence entre la chaleur et le travail (1^{er} principe) permet d'exprimer les deux grandeurs indifféremment en kwh ou en calories. L'équivalence est exprimée par l'égalité : 1 kwh = 860 calories. Cette notion d'équivalence demande quelque précision : sa signification varie avec le sens du phénomène ; il est possible de transformer intégralement l'énergie mécanique des kwh en calories (cas du frottement) ; au contraire, la transformation des calories en énergie mécanique, suivant un cycle fermé, exige échanges de chaleur entre le fluide et deux sources, une source chaude et une source froide (2^e principe), et c'est la différence des quantités échangées, chaleur absorbée par le fluide, moins chaleur cédée par lui, qui est équivalente au travail fourni par la matière. Le fluide utilisé dans une machine thermique pour la production doit donc dans son évolution passer par des alternatives d'absorption de chaleur et de cession de chaleur.

La chose n'apparaît pas d'une façon évi-

dente dans le cas du fonctionnement à circuit ouvert, le fluide étant rejeté à l'extérieur en fin de travail ; mais il est alors remplacé par du fluide frais ; cette substitution a le même effet qu'une cession de chaleur à l'extérieur par le fluide en fin de travail.

Ajoutons qu'on peut être amené, comme on le verra plus loin, à faire subir au fluide un refroidissement supplémentaire qui pourrait, dans certains cas, ne pas correspondre à une amélioration thermodynamique du cycle, mais qui permettra de réduire le travail du compresseur et d'en augmenter le débit (augmentation de la densité du fluide).

Le maximum de rendement de la machine est obtenu, pour un fonctionnement entre deux limites extrêmes données des températures, dans un cycle bien déterminé appelé cycle de Carnot.

La thermodynamique nous enseigne encore qu'il est possible de représenter l'état d'un corps par des points figuratifs, son évolution par des courbes figuratives dans des diagrammes. L'un d'eux, dont nous aurons l'occasion de nous servir, est plus particulièrement intéressant pour la compréhension de ce qui se passe dans un cycle, parce que les surfaces du diagramme correspondent à des quantités de chaleur. Ce diagramme utilise les coordonnées suivantes : comme ordonnée, température absolue (c'est-à-dire température en °C augmentée de 273.1 ; on a ainsi $t^{\circ}\text{C} + 273.1 = T^{\circ}\text{K}$, du nom de Lord Kelvin qui a introduit la notion de température absolue) ; comme abscisse, l'entropie, grandeur définie dans la thermodynamique et dont la nature est rappelée en maintes communications. Elle est employée ici en raison de la très grande commodité mentionnée plus haut qu'elle offre pour l'étude des cycles. L'entropie est désignée par la lettre S. La quantité de chaleur échangée dans une évolution isotherme lors d'une variation d'entropie δS est

$$T^{\circ} \delta S = \delta Q \text{ calories.}$$

D'une manière plus générale, dans le diagramme TS, l'aire sous-tendue par une courbe figurative représente, sous certaines conditions, la quantité de chaleur échangée au cours de l'évolution correspondante.

La thermodynamique nous donne un dernier enseignement d'une utilité immédiate :

les discontinuités entre les états du fluide et ceux de l'ambiance sont une cause d'avilissement de la qualité; la chose se conçoit aisément; la différence de température entre les deux parois d'un échangeur s'intercale dans le cycle sans profit; elle entraîne le resserrement des températures extrêmes et l'abaissement du rendement.

Deux motifs m'ont incité à m'étendre quelque peu sur ces prémisses.

Il m'a semblé tout d'abord utile de présenter un ensemble cohérent, ainsi mieux accessible à ceux qui s'intéressent à ces questions, sans être cependant spécialistes en la matière. Cette remarque vaut spécialement pour le refroidissement du fluide au cours d'évolution, refroidissement qui reste pour

beaucoup de personnes un sujet d'étonnement. Et l'expérience montre qu'en maintes circonstances le rappel des notions élémentaires à des spécialistes n'est pas superflu.

On remarquera en second lieu que, si on a bien présent à l'esprit les différents aspects évoqués dans ce qui précède, on voit apparaître, tout naturellement, le faisceau des multiplicités des problèmes, des difficultés et aussi des systèmes, des cycles, des circuits, des dispositions, des propositions, des réalisations. On est ainsi mieux préparé à comprendre le cheminement des chercheurs dans un dédale d'obstacles, le passage d'un système à l'autre, le retour à des solutions qui paraissent définitivement abandonnées.

LES PROBLÈMES.

L'expérience de la machine à vapeur nous avait familiarisés avec le fonctionnement d'un cycle; nous savions, sans y prêter grande attention, tant elle était de faibles dimensions et peu exigeante qu'il existait une pompe alimentaire. Dans la machine à gaz non condensable, l'introduction du gaz, ou tout au moins de la plus grande partie du gaz, absorbe une proportion importante de la puissance de la machine principale.

Nous nous trouvons de suite devant un problème de rendement qui correspond, beaucoup plus qu'à un degré dans la qualité, à la possibilité ou à l'impossibilité pour la machine d'être motrice. Supposons, pour nous rendre compte de l'ordre de grandeur nécessaire des rendements, que nous ayons un même rendement η pour la machine principale et pour le compresseur, et que les puissances de ces machines, supposées parfaites, soient dans le rapport de 2 à 1 : le groupe ne pourra fournir à l'extérieur aucune puissance si le rendement n'a pas une valeur supérieure à celle qui est donnée par l'égalité $\frac{1}{\eta} = \eta \cdot 2$ ou $\eta = 0,71$.

Ce fait suffit à expliquer l'insuccès des premières turbines à combustion équipées avec des compresseurs centrifuges ou axiaux de mauvais rendement. Au contraire, la compression dans un appareil à piston a permis le succès du moteur Diesel.

Nous devons aux travaux accomplis dans l'aérodynamique la réalisation de compres-

seurs de haut rendement qui peuvent être incorporés dans la turbine à combustion.

Nous avons fait mention de deux catégories de machines, machines à pistons et turbines avec compresseurs centrifuges ou axiaux. On a bien pensé à associer dans les réalisations, ces deux catégories dans un même ensemble.

Vous avez entendu, ici même, la très belle communication de M. Ernest Mercier sur la Chaudière Equipression qui utilise ce principe.

On a pensé aussi, pour réduire le travail du compresseur, à limiter à un taux très modéré la pression de l'air envoyé dans la chambre, avant combustion, puis à provoquer l'explosion du mélange air et combustible. On a ainsi un fonctionnement analogue à celui du moteur à explosion. La turbine Holzwarth appartenait à ce système. Les difficultés qui se sont manifestées dans le fonctionnement de certains organes ont fait renoncer à la poursuite des essais; mais on ne saurait regretter le travail considérable dépensé sur la turbine Holzwarth; il a permis de faire des études fécondes sur les phénomènes aérodynamiques, sur la tenue des métaux à haute température; il a conduit à la création, au développement de la chaudière Velox.

On ne peut d'ailleurs pas affirmer que la turbine à explosion ne verra pas un nouveau développement.

Le progrès dans le domaine de la métal-

lurgie est un autre facteur dominant dans le succès relativement récent de la turbine à combustion; il a permis l'emploi de températures suffisamment élevées pour que le rendement de la turbine devienne intéressant.

Examinons maintenant deux points mentionnés précédemment, les circuits, les cycles.

Dans les études théoriques, on suit généralement l'évolution d'une certaine masse de fluide qui, par exemple, est comprimée, reçoit de la chaleur, se détend, cède de la chaleur : on suppose ainsi implicitement, que l'évolution se fait en circuit fermé.

On peut concevoir une autre évolution comprenant, pour la communication de chaleur au fluide, la combustion, à l'intérieur de ce dernier, puis l'évacuation des gaz brûlés à l'extérieur : nous avons ici une évolution à circuit ouvert. On peut encore imaginer la combinaison, dans un groupe, des deux fonctionnements et obtenir ce qu'on appelle un circuit semi-fermé. Nous verrons que chacune de ces différentes conceptions a fait l'objet, pour des raisons bien déterminées, de réalisations industrielles.

La configuration des cycles est inspirée des enseignements de la thermodynamique. On sait que le travail fourni par une masse donnée de fluide travaillant entre deux températures données est maximum si l'évolution se fait suivant le cycle de Carnot comprenant (fig. 1) :

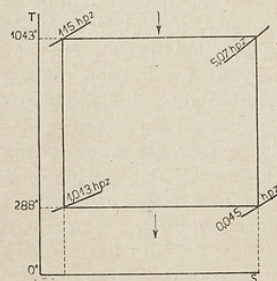


Fig. 1. Cycle de Carnot.

$\eta = 0,72$

une compression isotherme;
une compression adiabatique (ou mieux isentropique), donc sans échange de chaleur;
une détente isotherme;
une détente adiabatique (ou mieux isentropique), donc sans échange de chaleur.

L'imperfection des machines ne permet pas d'obtenir des compressions ou des détentes isentropiques. Il en est de même pour les évolutions isothermes en raison des complications de construction; mais on peut, s'il y a lieu, faire la compression en plusieurs étages avec intervention de réfrigération intermédiaire et, de même, avoir recours, pour la détente, à des réchauffages intermédiaires.

L'étude thermodynamique nous montre encore que le rendement peut être amélioré par des échanges de chaleur à l'intérieur même du cycle entre des portions de fluide à températures différentes. Cette propriété est utilisée dans les turbines à vapeur fonctionnant avec des soutirages destinés au réchauffage de l'eau d'alimentation; elle fut signalée par Carnot; les échangeurs de chaleur jouent un rôle analogue dans les turbines à combustion.

Les considérations qui précèdent ont permis d'apporter de sérieuses améliorations aux cycles pratiques comportant, pour des raisons de commodité, des évolutions isochores (volume constant) ou des évolutions isobares : figures 2, 3, 4, 5, 6, 7. Le cycle de base utilisé

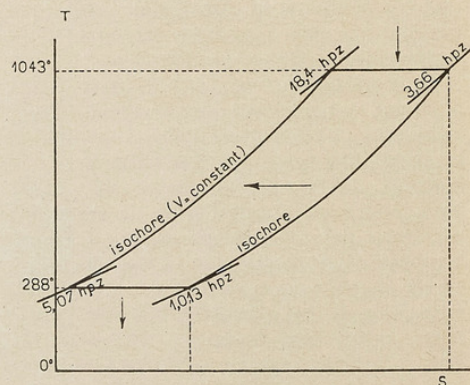


Fig. 2. Cycle de Stirling (1816.)

(avec échangeur, équivalent au cycle de Carnot $\eta = 0,72$)

dans les turbines à gaz modernes est le cycle de Joule (1851), appelé également cycle de Bayrton, et comportant une isentropique, une isobare, une isentropique, une isobare.

Les schémas des cycles et des machines réalisées font apparaître clairement l'appli-

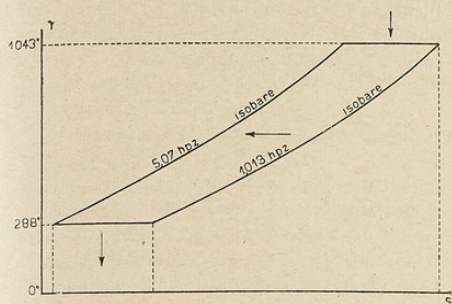


Fig. 3. Cycle de Ericsson.
(avec échangeur, équivalent au cycle de Carnot - $\eta = 0,72$)

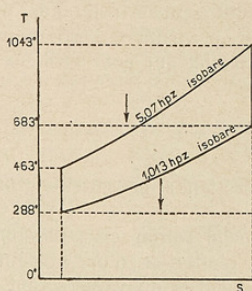


Fig. 4a. Cycle de Joule (vers 1850)
(sans échangeur - $\eta = 0,35$)

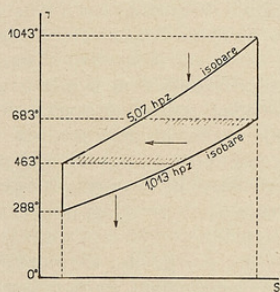


Fig. 4b. Cycle de Joule (vers 1850)
(avec échangeur - $\eta = 0,58$)

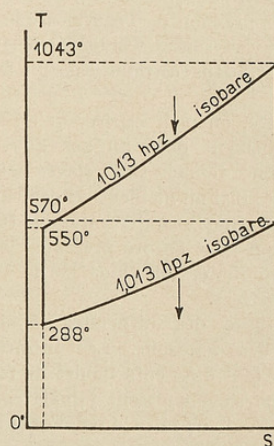


Fig. 5. Cycle de Joule.
(sans échangeur - $\eta = 0,45$)

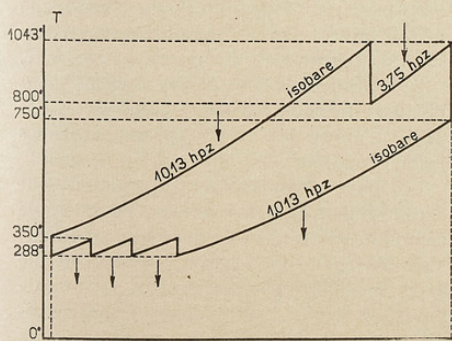


Fig. 6. Cycle de Joule.
(sans échangeur, compression et détente fractionnées - $\eta = 0,31$)

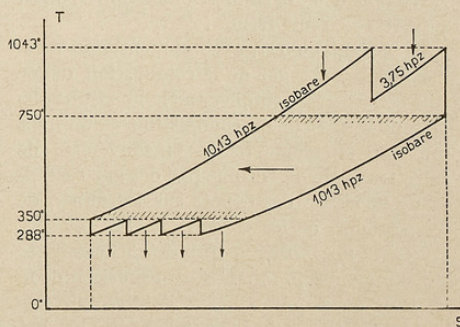


Fig. 7. Cycle de Joule.
(avec échangeur, compression et détente fractionnées - $\eta = 0,54$)

cation des différents principes, des différentes possibilités qui viennent d'être rappelées.

Je ne cite ici que pour mémoire les pro-

blèmes de fonctionnement, d'exploitation que nous rencontrerons dans l'examen des réalisations.

RÉALISATIONS.

Deux questions se présentent naturellement à l'esprit.

Pour quelle raison consacre-t-on un tel effort à la réalisation d'une machine dont le fonctionnement a dû vaincre tant de difficultés?

Pourquoi les solutions proposées, adoptées sont-elles si nombreuses?

À la première question on peut répondre que la suppression de l'eau, possible dans le circuit ouvert sans refroidissement intermédiaire, est, dans certains cas, un avantage capital.

En outre, on peut espérer qu'on utilisera plus facilement dans un gaz que dans la vapeur une température élevée et qu'on obtiendra ainsi un meilleur rendement.

Ajoutons que l'installation d'une turbine à combustion peut encore présenter le mérite de la simplicité, du poids et de l'encombrement faibles.

Le nombre des difficultés explique le nombre des solutions. Les inconvénients inhérents aux différents modes de fonctionnement ne s'évanouissent jamais complètement; il s'agit de faire la balance entre eux, entre les différents avantages des systèmes particuliers. Il est peut-être peu de domaines, techniques j'entends, où l'art du compromis joue un tel rôle.

Voyons deux exemples. Choix entre circuit ouvert et circuit fermé :

Le circuit ouvert, avec alimentation de la turbine par les gaz de la combustion, donne une construction simple, une bonne transmission de la chaleur du combustible à l'air mais entraîne en même temps l'inconvénient de faire traverser la turbine par des gaz susceptibles de laisser des dépôts sur les aubes, de les corroder, de les éroder.

En circuit fermé, la turbine est alimentée par un gaz propre mais la transmission de la chaleur du combustible à l'air se fait par l'intermédiaire d'une chaudière à air qui reste elle-même soumise aux inconvénients du contact avec les gaz de la combustion.

Les réfrigérants, échangeurs de chaleur,

jouent un rôle important dans l'économie des cycles; mais leur présence introduit dans le circuit des pertes de charge qui doivent rester très modérées si on ne veut pas réduire à néant le bénéfice du dispositif et même compromettre le fonctionnement de toute l'installation, en détruisant la juste proportion à garder entre puissance de la turbine et puissance du compresseur.

Malgré leur étendue, les énumérations précédentes sont incomplètes, car le constructeur, lorsqu'il voudra passer de la machine essai à la machine de longue utilisation, rencontrera encore de nouvelles difficultés, de nouveaux problèmes dont la solution exigera un complément de connaissances, de labeur et d'essais. Nous ne poursuivrons pas cet examen préliminaire, nous réservant de signaler au cours de l'examen de l'évolution, des systèmes particuliers, les points qui méritent attention.

Avant de parler de l'évolution de la turbine à combustion, je dois faire deux remarques :

1° L'abondance des publications tend à nous faire croire que nous disposons d'une information complète sur la matière. Il convient de nous garder de cette illusion.

Bien des motifs, et des plus honorables, s'opposent à la divulgation de certains travaux en cours : souci de ne rien affirmer qui ne soit prouvé par des faits, discrétion nécessaire à la protection du travail, à la sécurité.

2° Nous devons nous garder soigneusement de juger le potentiel des entreprises et des pays d'après les informations parvenues jusqu'au public.

Les pays anglo-saxons, par exemple, ont accompli pour la guerre un effort considérable couronné par les succès que nous admirons. Mais ils jugent avec raison que leur énorme expérience porte avant tout sur le domaine de l'aviation et que d'autres travaux sont nécessaires avant qu'ils puissent aborder avec la même assurance l'application de la turbine à combustion à d'autres domaines.

Un constructeur américain souligne le fait

que jusqu'à la fin de 1947, il n'y avait pas aux Etats-Unis, en dehors de l'aviation, de turbines à combustion en fonctionnement commercial, ni pour la production d'énergie, ni pour la propulsion navale.

Par contre, un travail considérable de développement a été fait pendant ces dernières années, imposé principalement, par les exigences de la guerre. Le travail est poursuivi par tous les grands constructeurs.

La preuve est faite que la turbine à combustion peut fonctionner avec un bon rendement; mais il reste à établir :

qu'elle présente la même sécurité que les turbines à vapeur, les moteurs Diesel et autres moteurs primaires;

qu'elle peut affronter la concurrence des prix.

L'élan est donné et dès maintenant on peut envisager avec confiance l'emploi de la turbine à combustion entre certaines limites de puissance (1.000 — 10.000 kW avaient été cités à une époque qui paraît dépassée).

Il faudra peut-être que s'écoule encore une période de deux à cinq ans avant que la turbine à combustion soit véritablement un produit commercial.

Un constructeur anglais insiste sur la note dominante de la politique à suivre : la prudence, associée à la poursuite énergique de la recherche. L'exécution de commandes commerciales ne doit pas faire perdre de vue les problèmes importants susceptibles de surgir et qu'il faut résoudre avant de pouvoir revendiquer, pour la turbine à combustion, une parfaite sécurité d'exploitation.

Il cite les dépôts provoqués dans la turbine par les impuretés du combustible. Il dénonce l'inconscience des auteurs de trop nombreux articles — « too much irresponsible writing » m'écrit mon correspondant — parus dans la presse technique et dans la presse populaire et forme le vœu que cette action soit contrebalancée par des communications techniques étayées sur des connaissances plus solides et qui feront ressortir ce fait qu'il peut s'écouler un long délai avant que la turbine à combustion devienne un sérieux concurrent de la turbine à vapeur dans le domaine de la production d'énergie.

Voici quelques informations concernant divers constructeurs.

Aux Etats-Unis, la Elliott Company avait en construction à la fin de 1947 :

Trois unités de 3.000 ch pour la propulsion navale qui brûleront de l'huile lourde (heavy fuel oil) et travailleront à environ 760° C avec des rendements de l'ordre de 30-35 p. 100.

Deux locomotives de 4.000 ch à simple cycle qui brûleront l'une de l'huile lourde, l'autre du charbon pulvérisé et travailleront à environ 690° C.

L'achèvement de ces unités est prévu pour 1948.

Il convient de citer, parmi les machines déjà exécutées par la Elliott Cy, une installation marine d'essais qui a donné à 650° C un rendement d'environ 30 p. 100.

Allis-Chalmers Mfg Co a contribué depuis 1938, en liaison avec la *Société An. Brown Boveri de Baden*, au développement de la turbine à gaz dans son application aux usines de cracking suivant le procédé Houdry : les machines, au cours de plusieurs années d'exploitation, se sont bien comportées; elles n'ont pas présenté de difficultés particulières d'entretien. Plusieurs unités sont restées en fonctionnement ininterrompu pendant des périodes de 6 mois à 2 ans. Il faut remarquer que leur fonction principale est la fourniture économique de l'air nécessaire à une opération chimique. La puissance excédentaire est accessoire. En 1944 Allis-Chalmers avait construit une trentaine de ces unités et en avait d'autres en commande.

Dans cette application spéciale, les turbines insérées dans le circuit chimique opèrent normalement à 450-480° C. Les métaux employés pour les ailettes, alliages au chrome, nickel, tungstène, columbium, titane et molybdène, ont donné satisfaction.

Dès 1944 Allis Chalmers envisageait l'emploi de températures de 650 à 820° C et se préoccupait de l'entretien, des garanties, du combustible, de la puissance réalisable, du prix correspondant à ces conditions. Pour répondre aux questions nouvelles, de nombreux essais ont été entrepris notamment pour étudier le fluage et l'oxydation et ont montré que le constructeur pouvait disposer d'alliages satisfaisants pour des turbines d'exploitation travaillant à 650° C. Dans ces conditions, deux applications s'offraient, entre autres, à la turbine à combustion :

La fourniture d'énergie de base par des unités comportant refroidissement intermédiaire dans la compression, réchauffage dans

la détente, et susceptibles d'atteindre des rendements de 30-35 p. 100.

La fourniture d'énergie de pointe par des unités fonctionnant suivant un cycle simple qui permettrait de réduire les frais de premier établissement en sacrifiant le rendement, qui tomberait à environ 20 p. 100.

Allis-Chalmers, estimant que le développement des applications de la turbine à combustion exige la possibilité d'emploi du charbon, a fait aussi des essais en vue d'obtenir un réglage satisfaisant de la combustion du charbon et de se renseigner sur le comportement des ailettes. Un délai est nécessaire pour qu'on puisse se prononcer sur ce dernier aspect de la question.

L'expérience acquise avec la conscience des différentes difficultés qui restent à vaincre, permet l'espérance raisonnable d'assurer sa place à la turbine à combustion dans la production d'énergie.

En fait, Allis-Chalmers a construit un certain nombre de groupes dans le but d'observer le comportement d'une machine complète, de type industriel, fonctionnant à 820° C. L'un d'eux fut installé dans la Station d'Essais de la Marine Américaine à Annapolis. Sa puissance est d'environ 3.500 ch. On a utilisé, pour les aubes et pour les disques, l'alliage Timken (16 p. 100 Cr; 25 p. 100 Ni; 6 p. 100 Mo) et, pour les parties fixes soumises à des températures élevées, un alliage à 25 p. 100 de Cu et 12 p. 100 de Ni. Les essais ont conduit à la conclusion qu'on peut, à cette température, atteindre un rendement de 40 p. 100. Il manque encore l'expérience de la durée qui seule pourra dire si la turbine à combustion, dans sa constitution actuelle, présente la sécurité indispensable à la propulsion navale.

Cette application de la turbine à combustion pose la question de la marche arrière. Dans une installation à vapeur la turbine de marche arrière tourne, en marche avant, dans le vide du condenseur; dans une installation de turbine à combustion, chaque turbine doit tourner dans le sens de son fonctionnement normal; une marche inverse entraînerait des échauffements et des pertes inadmissibles.

Différentes dispositions permettent la marche arrière, par exemple :

- l'hélice à pas variable;
- la transmission électrique;
- la transmission hydraulique.

Allis-Chalmers a étudié également la locomotive à turbine à combustion. Un projet comportait l'emploi de deux groupes de chacun 2.400 ch à transmission électrique.

Rappelons quelques avantages revendiqués pour ce type de machines :

suppression de l'eau et des sujétions correspondantes : traitement, alimentation en cours de route;

suppression de la fumée, grâce à la surabondance d'air;

suppression des mouvements alternatifs;

réduction du graissage;

rendement élevé (rapporté à la puissance à la jante : 16 à 25 p. 100 suivant le cycle et le mode de transmission).

La littérature technique américaine de ces dernières semaines fait mention de différentes unités en cours d'essais et de projets :

un groupe de construction GECO de 4.800 ch qui doit être soumis en plate-forme à des essais prolongés et qui est présenté comme la première unité exécutée par cette Société pour une autre destination que l'aviation;

un groupe de construction Westinghouse, de 2.000 ch 730° C, qui est également aux essais en plate-forme;

de nombreux projets qui ont été suivis de la construction de turbines d'essais.

Un très gros travail est accompli pour l'utilisation du charbon dans la turbine à combustion. La lutte contre l'action des cendres a recours à deux méthodes. Dans la première, les cendres sont séparées par un appareil cyclone qui enlève 95 p. 100 des particules solides; on estime que les 5 p. 100 restants, d'un diamètre inférieur à 5 μ (1 μ = 1 micron = 1/1.000 de mm) n'ont plus d'effet nuisible sur les ailettes. Dans la seconde, on pulvérise très finement le charbon de manière à ramener au-dessous de 5 μ le diamètre des particules qui traversent la turbine et sont enlevées par les gaz. Deux locomotives à turbine à combustion brûlant du charbon sont en construction aux États-Unis; on a prévu la séparation des cendres.

On estime que les rendements réalisables dans les différentes applications de la turbine à gaz sont d'environ 18 à 31 p. 100 suivant les cycles et qu'il est même possible d'atteindre 40 p. 100 en travaillant à 820° C.

D'après la presse technique, au début de cette année, plusieurs producteurs d'énergie

avaient étudié l'emploi de turbines à gaz pour leurs usines, mais on n'était pas encore passé à l'exécution.

En Angleterre, la Société C. A. Parsons a construit une turbine de 500 ch qui a permis de faire en service continu de nombreuses investigations sur l'emploi de combustibles divers, sur la construction, sur les échangeurs de chaleur. Des études ont été faites pour des unités de 10.000 et 15.000 kW et de groupes pour le soufflage des hauts fourneaux.

Les expériences de la Société C. A. Parsons ont porté sur le circuit ouvert. Elle estime qu'avec les métaux actuels et en se limitant à des contraintes qui permettent une longue vie, on peut travailler à 650° C et obtenir des rendements de l'ordre de 26 à 29 p. 100.

Les frais d'établissement seront en général inférieurs à ceux d'une centrale équivalente à vapeur. Les frais d'entretien doivent être du même ordre de grandeur.

Mais, jusqu'à ce qu'il soit possible de brûler du charbon, ou d'avoir pour le rapport des prix de l'huile et du charbon une valeur suffisamment basse, il n'est pas prouvé que la solution de la turbine à gaz soit la plus économique. Il ne paraît d'ailleurs pas désirable qu'un pays tel que l'Angleterre, riche en charbon, pauvre en huile, dépende de ce dernier combustible pour la production massive d'énergie. Il en va tout autrement pour les centrales de secours, de pointe.

Il est aussi possible que certaines combinaisons de chauffage et de production de puissance soient économiques.

On ne peut pas encore brûler du charbon dans les turbines à combustion; mais les recherches dans ce domaine sont activement menées en Angleterre, en Suisse, en Amérique avec espoir de succès.

Il semble que ce nouveau moteur primaire doive trouver un champ de développement intéressant dans la sidérurgie lorsqu'on dispose de gaz et qu'on a besoin d'énergie et d'air de soufflage.

Pour les applications à la propulsion navale, la question huile-charbon ne se pose plus. Mais il y a lieu de craindre que la turbine à combustion ne s'accommode pas de toutes les qualités d'huile. La Société C. A. Parsons voit, comme domaine d'élection pour la turbine à gaz, les cargos de grande puissance, les paquebots et les navires de guerre. Comme nous l'avons rappelé plus haut, il faut

avoir recours à une disposition spéciale pour la marche arrière.

En résumé, l'application à la marine marchande d'une turbine à gaz établie pour une durée de vie analogue à celle d'une installation à vapeur, dépendra des frais de premier établissement, de l'encombrement, du poids, de l'entretien, et de la catégorie et du prix du combustible.

La turbine à gaz apparaît intéressante pour la locomotive, qui peut avoir un rendement à la jante d'environ 16 p. 100 au lieu de 12 p. 100 qui sont rarement atteints avec la vapeur. Mais il y a d'autres points à considérer : prix de la machine, combustible, sécurité, entretien, etc... Avant la guerre, la locomotive à turbine à gaz eût été en Angleterre une impossibilité économique, en raison du prix de l'huile; il n'en est plus ainsi maintenant avec la hausse du charbon. Toutefois, le combustible national étant le charbon, il semble que la locomotive à turbine à gaz ne saurait être intéressante pour l'Angleterre que le jour où elle pourra brûler du charbon.

Les résultats obtenus aux États-Unis, pour l'emploi du charbon, par la Locomotive Development Commission de Baltimore paraissent encourageants.

L'avenir? Il dépendra dans une large mesure de la possibilité d'utiliser le combustible national, le charbon. Mais il y a déjà des champs d'application intéressants.

Il faut aussi prévoir une vigoureuse et saine concurrence avec la turbine à vapeur qui profitera, elle aussi, de l'expérience acquise avec les métaux résistant à haute température.

La Metropolitan Vickers Electrical Co L^{td} a reçu, fin 1947, du Stretford and District Electrical Board, la commande, pour la Centrale de Trafford, près de Manchester, d'une turbine à gaz de 15.000 kW qui sera la première de son espèce en Angleterre. Elle sera du type à circuit ouvert et brûlera du fuel oil.

La même Société revendique l'honneur d'avoir équipé, avec une turbine de sa construction, le premier navire qui prit la mer — le 14 juillet 1947 — avec une turbine à gaz utilisée pour la propulsion.

Il s'agit d'une installation d'essai exécutée sur l'initiative de l'Amirauté Britannique à bord de la canonnière 2009. Cette unité comporte 3 arbres; les deux arbres extérieurs sont entraînés par des moteurs Packard de 1.250 ch chacun. La turbine à gaz entraîne

l'arbre central; sa puissance est d'environ 2.500 ch.

Le constructeur a utilisé, comme générateur de gaz, un appareil turbo-réacteur qui ne donne pas le meilleur rendement possible pour l'application à bord, mais qui avait

On envisage, entre autres, l'installation d'un groupe de grande puissance à bord d'un navire d'escorte.

Nous trouvons, dans la presse technique américaine et anglaise, l'hommage rendu à maintes reprises aux précurseurs de diffé-

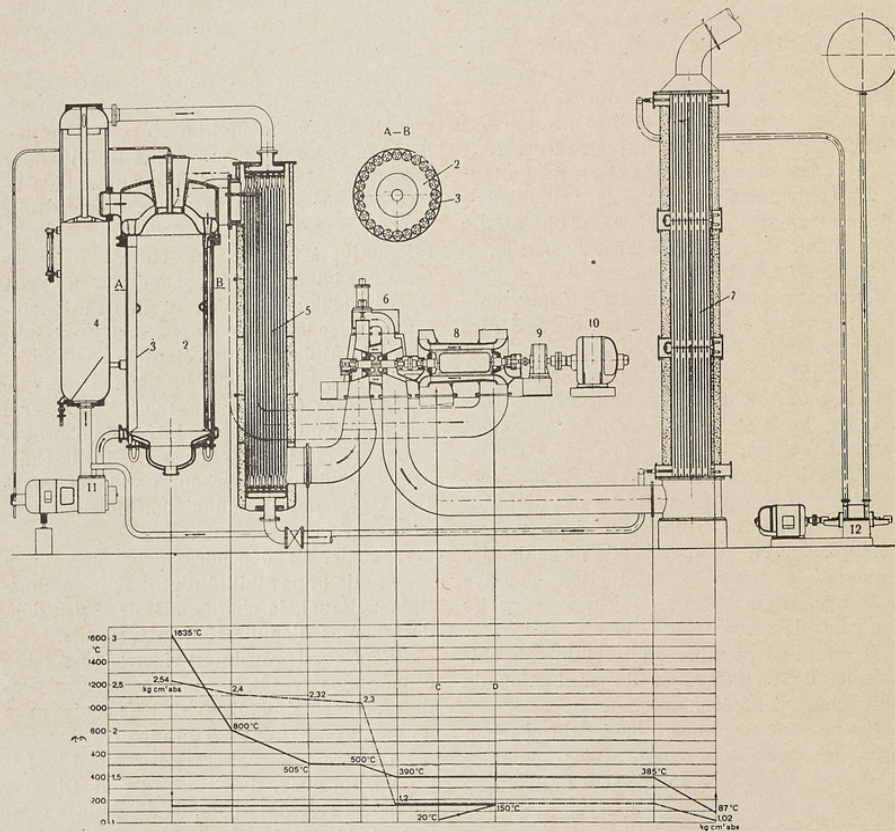


Fig. 8-9. — Chaudière Velox.

fait ses preuves en service. La turbine entraînant le compresseur a deux couronnes avec ailettes en alliage Mimonic 80. La turbine de propulsion est dans le même alignement, sur un arbre indépendant; elle est à 4 couronnes avec ailettes en Molyvan. La température d'admission fut de l'ordre de 680° C.

Aux dernières nouvelles les essais préliminaires ont donné des résultats encourageants et doivent être suivis d'essais d'endurance.

rents pays, en particulier aux précurseurs français, Armengaud et Lemale, Rateau, et aussi aux ingénieurs suisses, auteurs de nombreuses et belles réalisations.

Nous devons citer ici les noms des Sociétés Brown Boveri, d'Escher Wyss, Sulzer, Oerlikon.

La longue expérience acquise par Brown Boveri dans les études, les essais, la construction des turbo-compresseurs de suralimentation, de la turbine Holzwarth, de la chau-

dière Velox, devait lui assurer un rôle prépondérant dans le développement de la turbine à gaz moderne (fig. 8-9).

En fait, nous voyons sur la liste des turbines à gaz commandées à cette Société, une cinquantaine d'unités représentant une puissance globale supérieure à 110.000 kW et de puissances unitaires comprises entre 300 et 27.000 kW avec les destinations suivantes :

en étant alimentée à 550° C (fig. 10).

Les Forces Motrices du Nord-Est de la Suisse ont commandé à Brown Boveri, en 1946, pour la Centrale de Bernau :

un groupe de 13.000 kW ;

un groupe de 27.000 kW ;

La température d'alimentation est de 600° ; les rendements thermiques sont de l'ordre de 30 et 34 p. 100 (fig. 11-12).

L'incorporation de cette centrale thermique

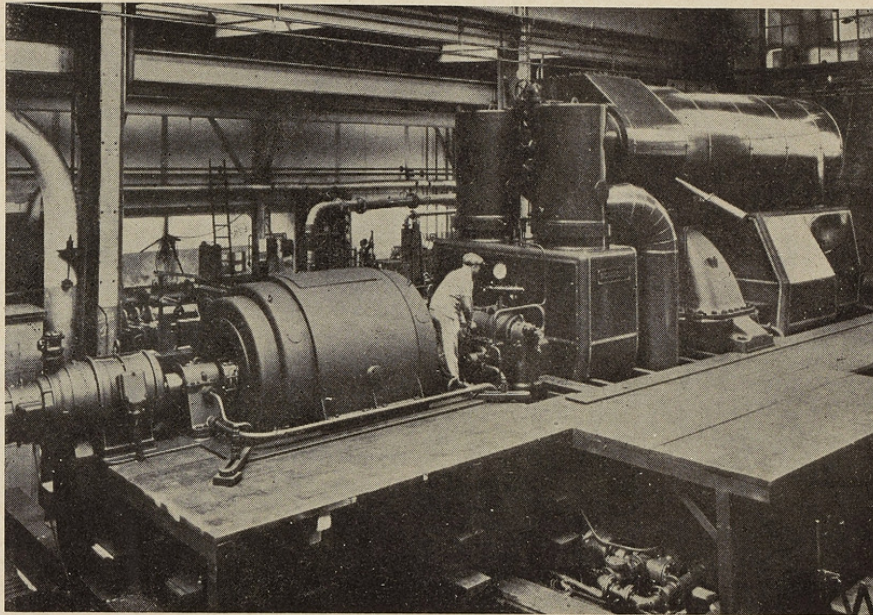


Fig. 10. — Turbine à combustion de Neuchatel (sur la plateforme d'essais).

raffineries d'huile, installation Houdry ; production d'air pour les hauts fourneaux ; locomotives ; centrales électriques.

La température des gaz à l'entrée de la turbine est comprise entre 490 et 600° C. Le rendement thermique passe de 18 p. 100 sans récupérateur à 30 p. 100 et 34 p. 100 pour grande puissance avec cycle plus économique.

La première turbine à gaz industrielle utilisée pour la production d'énergie électrique est la turbine commandée à Brown Boveri en 1935 par les Services Industriels de la ville de Neuchâtel en Suisse. Elle fournit 4.000 kW

dans le système hydraulique du pays présente un haut intérêt. Avec son approvisionnement de combustible pour un hiver, elle remplace une installation avec réservoir d'accumulation ; elle présente en outre l'avantage d'être indépendante des conditions météorologiques et confère une grande souplesse à l'exploitation.

Le premier groupe de 13.000 kW a été, conformément au programme, terminé fin décembre 1947. Il a fait avec succès, en janvier 1948, une longue marche d'essai. L'achèvement du deuxième groupe de 27.000 kW, est prévu pour la fin de 1948.

Nous avons pu voir fonctionner, sur le

réseau français la locomotive à turbine à gaz prêtée à la SNCF par les Chemins de Fer Fédéraux Suisses; cette machine, commandée à Brown Boveri en 1939, développe une puissance de 1.630 kW en travaillant à 570°C. Le rendement est de l'ordre de 16 p. 100 (fig. 13 et 14).

Le « Great Western Railway » de Londres a commandé en 1946 à Brown Boveri une locomotive de 1.640 kW alimentée à 600°C et munie d'un surchauffeur; son rendement thermique est de l'ordre de 20 p. 100.

Actuellement, en dehors des groupes de surcharge pour Velox, pour l'industrie chi-

onnée qu'après une étude du cas d'espèces fait avec la collaboration du client et du constructeur.

La Société Escher Wyss a entrepris, dès 1935, la réalisation d'une installation thermique de production d'énergie correspondant aux propositions du professeur J. Ackeret et du Docteur C. Keller qui prévoient le travail de l'air en circuit fermé et à pression relativement élevée.

Parmi les avantages revendiqués on peut citer :

La propreté du fluide qui traverse les machines.

La réduction d'encombrement due à la

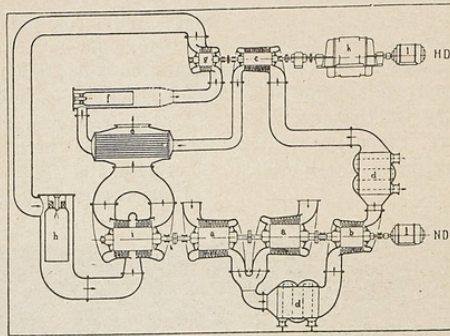


Fig. 11-12. — Schéma de la turbine à combustion de 27.000 kW de Bernau.

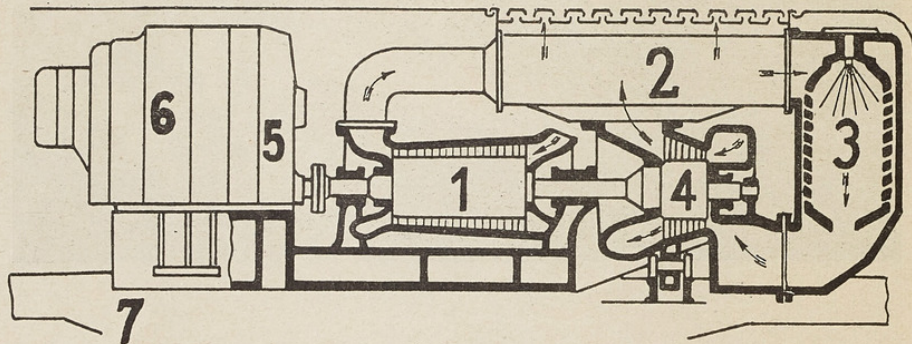


Fig. 13 — Disposition schématique du groupe turbo-génératrice.

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1 = Compresseur axial d'air. | 4 = Turbine à gaz. |
| 2 = Réchauffeur d'air. | 5 = Boîte de réduction. |
| 3 = Chambre de combustion. | 6 = Groupe des génératrices. |
| 7 = Châssis auxiliaire. | |

mique et pour Diesel, et sans tenir compte des locomotives, Brown Boveri compte 15 turbines à gaz en exploitation, montage ou construction, représentant une puissance globale de 92.000 kW.

On peut se demander quel choix faire entre la turbine à vapeur et la turbine à gaz pour un cas déterminé : la réponse ne peut être

pression élevée et à l'amélioration correspondante des coefficients d'échange de chaleur (fig. 15).

Le professeur Quiby, après des essais officiels exécutés sur un groupe de 2.000 kW, installé dans les ateliers d'Escher Wyss, estimait que les résultats justifiaient les prévisions et qu'il était possible d'aborder

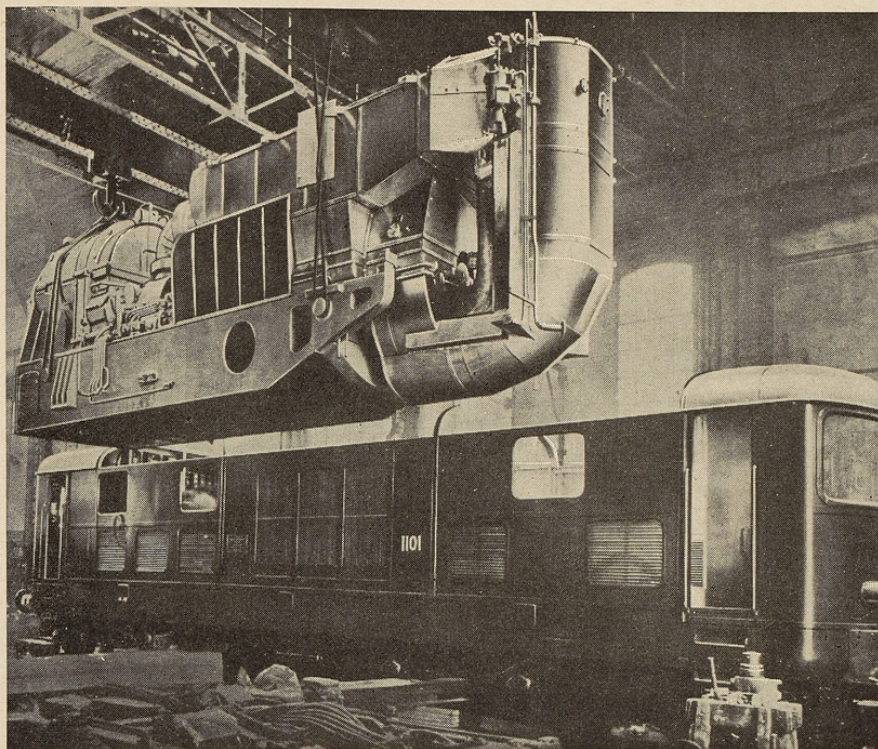


Fig. 14. — Locomotive à turbine à combustion. Manœuvre de l'ensemble du Groupe turbine à combustion — génératrice.

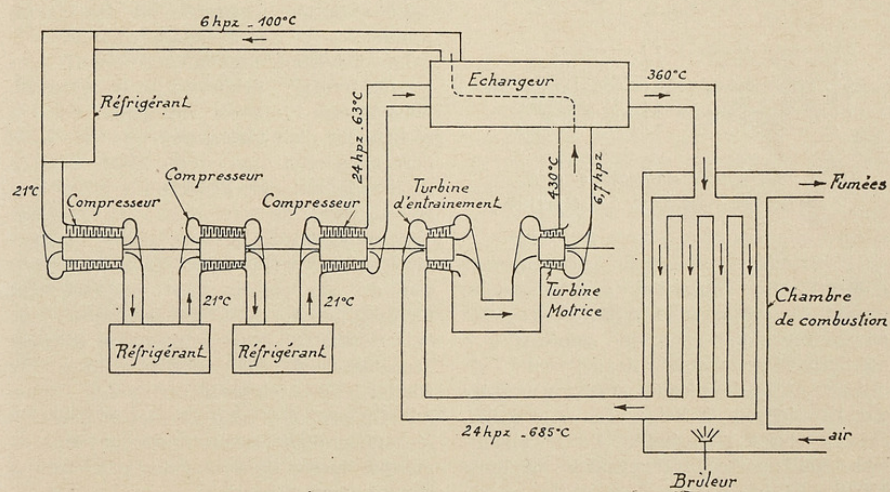


Fig. 15. Cycle fermé Escher-Wyss.

les applications industrielles, centrales, propulsion navale, etc....

Aux essais, la turbine avait travaillé à environ 690° et le rendement trouvé fut de 31,5 p. 100.

En développant sa turbine à gaz, la Société Sulzer s'est assigné trois buts principaux :

- haut rendement;
- faible encombrement;
- faible poids.

Elle estime que ses travaux de recherche exécutés sur les machines à combustion interne lui ont permis de trouver, à ce problème difficile, une solution satisfaisante, tout particulièrement pour les grandes puissances, domaine d'élection des turbines à gaz.

Plusieurs formes d'exécution ont été conçues, l'une d'elles est représentée sur le schéma (fig. 16).

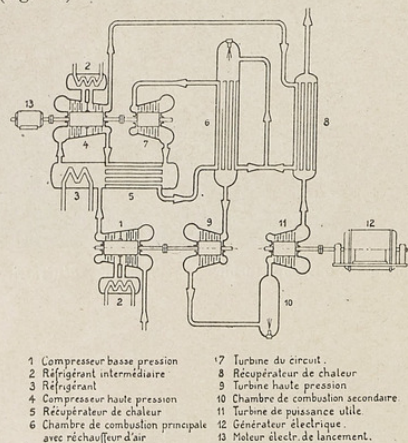


Fig. 16. Représentation schématique du cycle de la turbine à gaz Sulzer à haute pression.

Un premier compresseur 1, compresseur d'alimentation, aspire l'air de l'atmosphère et porte sa pression à 5 hpz par exemple. Cet air est repris par un second compresseur 4 qui porte sa pression à 20 hpz environ.

A la sortie du second compresseur deux circuits s'offrent à l'air; dans le premier, l'air traverse le récupérateur 5 et le réchauffeur 6 qui le porte à sa température maximale : 650°C.

La détente à 5 hpz de l'air à haute pression et haute température s'effectue dans la tur-

bine 7 qui entraîne le compresseur à haute pression 4. L'air traverse ensuite le récupérateur 5 et le réfrigérant 3 qui abaisse sa température à 20-25°C. Il retourne enfin au compresseur 4.

Par le second circuit offert à l'air, à sa sortie du compresseur à haute pression 4, on fait une extraction continue d'air à haute pression et on l'utilise pour la combustion.

C'est là que réside la différence fondamentale entre la disposition Sulzer et celle du circuit fermé. L'air traverse le récupérateur 8 qui lui procure un réchauffage préliminaire grâce à la cession de la chaleur provenant des fumées à l'échappement; il pénètre ensuite dans la chambre de combustion du réchauffeur d'air 6. Les gaz chauds provenant de la combustion traversent le faisceau de tubes du réchauffeur 6 en portant la température de l'air du premier circuit à la valeur maximum admissible pour la turbine 7 et en se refroidissant eux-mêmes avant d'arriver à la turbine 9 où s'effectue une détente jusqu'à 7-8 hpz. Ils sont ensuite réchauffés par la chambre de combustion secondaire 10 et se détendent jusqu'à une pression voisine de la pression atmosphérique dans la turbine 11 qui fournit la puissance extérieure demandée au groupe. Ils s'échappent enfin à l'atmosphère après avoir traversé le récupérateur 8 où ils abandonnent une partie de leur chaleur résiduelle à l'air comprimé.

Le constructeur justifie les dispositions préconisées par ces quelques remarques.

La combustion ne se fait pas, comme dans le cycle fermé, en dehors du fluide de travail, mais bien à l'intérieur du fluide; aussi le réchauffeur d'air 6 ne peut-il pas être comparé avec celui d'un circuit fermé. Dans le système Sulzer, il n'y a que 50 à 60 p. 100 de la chaleur totale du combustible qui est transmise au travers des tubes; le reste est emporté par les gaz de combustion. En outre la pression des gaz chauds n'est pas seulement de quelques hpz; elle est égale à celle de l'air comprimé; cette circonstance améliore l'échange de chaleur en même temps qu'elle élimine les contraintes mécaniques de l'appareil. On peut dire aussi que le rendement du réchauffeur d'air 6 est pratiquement 100 p. 100 puisque les gaz de combustion participent à la production d'énergie.

Enfin Sulzer résume ainsi les avantages de sa turbine à gaz à haute pression :

1° Le système convient tout particulièrement bien aux puissances élevées; grâce à la forte densité du fluide de travail, les turbomachines, les tuyauteries, les échangeurs de chaleur sont relativement petits.

Il est moins indiqué pour des puissances inférieures à 6.000 ch en raison du prix par ch installé qui devient alors relativement élevé.

2° L'installation est caractérisée par un faible encombrement et par un faible poids.

3° Le système permet d'obtenir des rendements bien supérieurs à 30 p. 100 avec moins de complication et d'encombrement que d'autres.

4° Il est possible de réaliser toute l'installation avec des conditions optimum de sécurité en service : les tubes du réchauffeur d'air, c'est-à-dire la partie la plus chaude de l'installation, sont complètement soustraits aux efforts mécaniques.

5° Un rendement élevé est maintenu sur une large gamme de puissances. L'arrangement de l'ensemble se prête à une bonne régulation pour les installations fixes et pour les installations marines.

Une turbine à gaz de 20.000 kW destinée à la Centrale de Weinfelden a été commandée à Sulzer par les Centrales du Nord-Est Suisse à la fin de mars 1947. La mise en service est prévue pour l'hiver 1949-1950. La turbine est destinée à fournir l'énergie supplémentaire nécessaire en hiver.

L'installation fonctionnera suivant le cycle décrit plus haut avec des températures d'environ 650°C. Le rendement escompté dépasse 30 p. 100. Le combustible est le fuel lourd (viscous heavy oil).

La Centrale comprendra trois groupes de machines :

1° Un compresseur d'alimentation en air frais, à deux cylindres, entraîné par une turbine à gaz.

2° Un compresseur pour l'air du circuit de travail, à deux cylindres, entraîné par turbine à air et son moteur de démarrage.

3° Une turbine à deux cylindres pour la production d'énergie utilisable à l'extérieur de l'installation et la génératrice.

Les réfrigérants et récupérateurs sont logés au sous-sol.

Sulzer a également en construction une installation marine qui travaillera suivant les mêmes principes et qui sera soumise tout prochainement à des essais très poussés sur la plateforme d'essais avant d'être montée à bord.

Les Ateliers de Construction Oerlikon ont réalisé une installation d'essais de turbine à gaz de 1.000 kW qui assure, depuis le début de l'hiver 1946, un service continu. L'alternateur entraîné par cette unité travaille sur le réseau électrique de la Ville de Zurich. L'installation a été conçue pour permettre l'étude dans le détail de tous les procédés nécessaires pour les installations à grande puissance : refroidissement du compresseur, récupération, etc.... Le compresseur est une machine radiale à rendement très élevé grâce à l'adoption d'une nouvelle disposition du diffuseur réalisé avec échappements multiples (fig. 17 et 18).

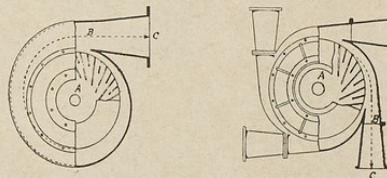


Fig. 17.

Coupe d'un compresseur centrifuge à volute unique.

Coupe d'un compresseur centrifuge construction Oerlikon à volutes multiples.

Oerlikon réalise également des installations combinées air-vapeur ou gaz-vapeur.

Dans le système air-vapeur, l'air comprimé, réchauffé dans un faisceau logé dans un générateur mixte vapeur-air chaud, est détendu dans une turbine et envoyé au foyer.

Dans le système gaz-vapeur, les gaz d'échappement (comprenant un grand excès d'air) d'une turbine à gaz sont envoyés dans le foyer d'un générateur à vapeur.

En France, les travaux sur la turbine à gaz ont été forcément très réduits par l'occupation; Rateau et la Compagnie Electro-Mécanique ont cependant pu réaliser tout ou partie d'ensembles de 10.000 ch commandés pour la Marine Nationale (1). L'ensemble de la Compagnie Electro-Mécanique présente

(1) L'un d'eux, construit pour donner une poussée de 19 sthènes environ (1.900 kg) en régime continu, a, depuis la présentation de cette communication, effectué avec succès une épreuve officielle de réception au banc d'essais.

les caractéristiques suivantes : la turbine est conçue suivant le cycle ouvert et comprend deux compresseurs dont le rapport de compression global est de 11,4. L'énergie calorifique est utilisée par détente dans trois turbines, les calories restantes étant récupérées dans un échangeur. La turbine haute pression entraîne le compresseur haute pression. La température devant la turbine prévue est de 800°C. La turbine moyenne pression est

blissement du Bourget un certain nombre de prototypes de turbo-réacteurs.

Un turbo-propulseur développera au sol une puissance continue de 3.000 ch dont 11 p. 100 par réaction à 500 km : h. Cette dernière machine, étudiée dès 1941, a pu être réalisée malgré les grandes difficultés dues à l'occupation et à ses suites.

Les études et les essais se poursuivent en particulier dans le domaine métallurgique.

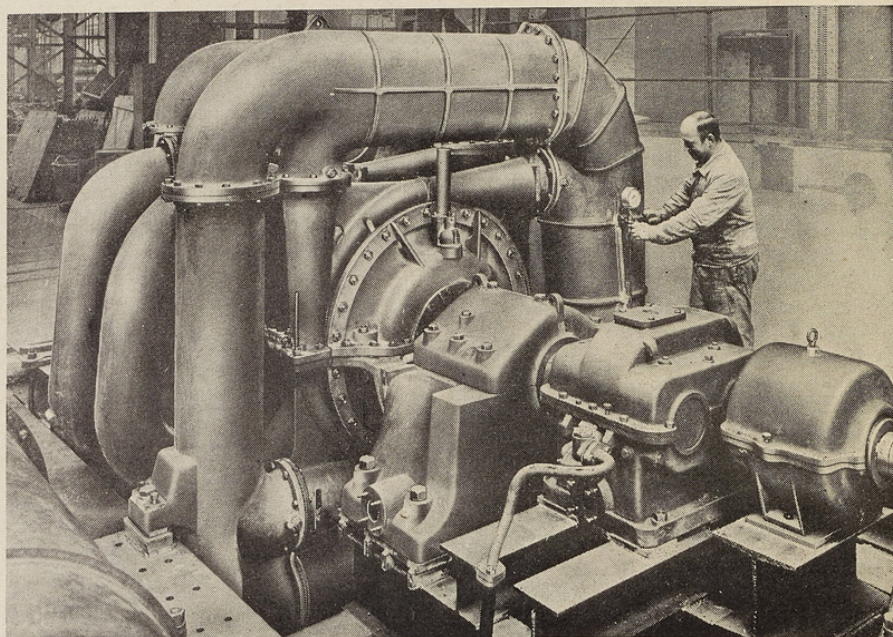


Fig. 18. — Compresseur Erlikon à trois étages sans réfrigérant.

une turbine motrice et la turbine basse pression, turbine motrice également, entraîne en plus le compresseur basse pression. La température devant la turbine basse pression est de 850°C.

Une turbine à gaz de 12.000 kW fonctionnant suivant le circuit fermé d'Escher Wyss a été commandée pour être mise en service dans une centrale de la région parisienne.

La Compagnie Électro-Mécanique développe plusieurs types de turbines à combustion d'aviation, destinées soit à la propulsion par réaction (turbo-réacteur), soit à l'entraînement d'une hélice (turbo-propulseur). Elle a actuellement en construction dans son Eta-

Nous remarquerons à ce sujet que la construction de la turbine à combustion nécessite le concours de techniques diverses dont les recherches doivent être harmonisées pour obtenir dans de bonnes conditions de travail des réalisations profitables à chacun et à la communauté. C'est pour cette raison que nous voyons en différents pays des organismes qui utilisent l'activité des Laboratoires privés, des Laboratoires d'Associations diverses, des Laboratoires des Universités et de l'Etat. Nous travaillons en France sur ces principes et nous voyons le développement pour le plus grand bien de tous, sous les auspices du Centre National de la Recherche Scientifique, des

recherches effectuées dans le domaine métallurgique.

Une autre remarque s'impose : tous les constructeurs qui ont réalisé des machines industrielles ont reconnu la nécessité, pour arriver à ce stade, de poursuivre les recherches

sur des machines construites en vue de ces essais mais conçues comme machines industrielles. Le procédé est coûteux mais il est le seul sur lequel on puisse compter. Des projets établis en tenant compte de ces conditions sont à l'étude en France.

LES MÉTAUX.

L'emploi, nécessaire, de températures élevées place le métallurgiste et le constructeur devant des problèmes difficiles et dont les solutions doivent être constamment améliorées par un travail où s'associent, dans un effort, dans une mise au point ininterrompue, l'étude théorique, l'expérience du laboratoire de l'atelier, de l'exploitation.

Il ne faut pas oublier que, dans la turbine à gaz, la matière doit résister à des actions particulièrement nocives : à la température élevée correspond une diminution de résistance à la rupture sous l'effet des contraintes, des vibrations, une augmentation de la vitesse de fluage, cette déformation continue si gênante pour le constructeur, une plus grande susceptibilité à la corrosion. La nature même du combustible apporte des risques d'érosion. Bien entendu, pour des machines destinées à une longue vie, la résistance à l'érosion, à la corrosion, le faible fluage seront des qualités dominantes.

Le fonctionnement à température élevée comporte de nouveaux modes de fatigue : le choc thermique, le développement des contraintes internes susceptibles de devenir énormes au cours de dilatations plus ou moins brusques et qui ne respectent pas la similitude; des ruptures ont été observées dans des organes fixes. On demandera à la machine exposée à ces influences apparentes ou sournoises d'y résister, quand il s'agit d'installations industrielles, pendant de longues durées, pendant 100.000 heures par exemple, mais on ne dispose pas de moyens qui permettent de garantir a priori que le matériel satisfera à cette juste exigence. C'est le comportement en exploitation qui nous renseignera sur la valeur du matériau, sur son homogénéité dans la conservation de la qualité.

Nous avons quelques informations sur les résultats des nombreuses recherches effectuées pendant la guerre par les nations belligérantes. On a employé entre autres :

En Angleterre : le Rex 78 de Hatfield (Ni 18 p. 100, Cr 14 p. 100, Mo 4 p. 100, Ti 0,6 p. 100, Cu 4 p. 100) pour les chambres de combustion, pour les tuyères (remplacé pour les ailettes par le Nimonic 80 américain);

le HR Crown Max. (Ni 12 p. 100, Cr 23 p. 100, W 3 p. 100) pour les tuyères; (est très réfractaire et supporte les changements fréquents de température);

les aciers ferritiques trempés et revenus de Jessop à Sheffield, par exemple le H₄₀ (Cr 3 p. 100, Mo 0,5 p. 100, W 0,5 p. 100, V 0,75 p. 100), pour les disques (analogue au FKDM 10 du Jumo 004);

les aciers austénitiques, de Jessop, R et G, par exemple le G 18 B (Ni 13 p. 100, Cr 13 p. 100, Mo, 2 p. 100, W 2,5 p. 100, Nb 3 ou 2, Co 10 p. 100) pour les tuyères, les ailettes mobiles, les disques et rotors; (est considéré comme le meilleur acier de cette classe).

En Amérique : l'Hastelloy B (Ni 66 p. 100, Mo 28 p. 100); pour les ailettes est remplacé par le Vitallium);

le Nimonic 80 (Ni 74 p. 100, Cr 21 p. 100, Ti 2,5 p. 100) pour les ailettes mobiles en Angleterre;

le Vitallium (Cr 25 p. 100, Mo 6 p. 100, Cu 67,55 p. 100) pour les ailettes aux E.-U.

Les Allemands ont manqué de Mo et de W; leurs aciers ne paraissent pas devoir être retenus. En particulier les aciers riches en Mn attaquent les réfractaires, ce qui conduit à des inclusions non métalliques dans l'alliage.

Les matériaux céramiques, la silice fondue, l'oxyde d'aluminium et différentes sortes de porcelaines ont été essayées par les Allemands qui s'efforçaient de trouver un produit céramique conservant une bonne résistance à 1.000°C.

L'expérience acquise en Angleterre confirme la nécessité de procéder à des essais de fluage de très longue durée. On ignore l'essai

de 25 à 35 h. Les essais sont poursuivis pendant 1.000 h et plus. Le contrôle d'un acier connu est réduit à 300 h. Les courbes de fluage, à partir de 750°, se rapprochent dangereusement de la courbe de rupture.

Nous avons, des États-Unis, l'écho des multiples questions que soulève la production de métaux résistant aux températures élevées.

Depuis l'entrée en guerre des États-Unis, on s'est servi d'au moins quarante nouveaux alliages, presque tous élaborés pour résister à des températures de 650 à 875°C (on cite une valeur admissible de contrainte un peu inférieure à 6 kg : mm² pour une température d'environ 760°C). Pour la paroi intérieure des chambres de combustion, c'est-à-dire pour résister à des températures de 1.040 à 1.095°C, on a utilisé l'Inconel (Cr 12 à 15 p. 100, Ni 75 p. 100) et le Nimonic (voir plus haut). On a fait observer qu'il est contraire à une saine économie de recourir à un large emploi de métaux coûteux susceptibles en outre d'être rares en temps de guerre. L'observation vaut entre autres, pour le cobalt, le niobium.

Deux alliages réfractaires développés vers la fin de la guerre sont cités comme susceptibles d'ouvrir de nouvelles perspectives :

le Climax Moly NDRC Research (60 p. 100 Cr, 15 à 25 p. 100 Mo);

le Vanadium Corporation NDRC Research (25 à 35 p. 100 Cr, 20 à 30 p. 100 Ni, 20 à 30 p. 100 Co, 15 à 25 p. 100 Tu).

En France, les recherches ont été reprises et poursuivies activement; on peut citer, parmi les alliages intéressants, l'alliage d'Aubert et Duval, l'ASR au Co et au W de Rateau, le 18-8 au W de Holtzer, l'ATV au Co des Acieries d'Imphy; les essais en cours sur ce dernier alliage confirment la très haute résistance au fluage.

L'opinion a été exprimée aux États-Unis que ce qui a été obtenu dans la métallurgie, au cours de la guerre et dans les dernières années, fait bien augurer de la rapidité des progrès à venir; on cite le développement d'alliages capables de supporter des températures de 980 — 1.100°C donnant toute satisfaction par leur résistance au fluage. Les premiers alliages s'allongeaient par fluage de 0,000 01 p. 100 par heure à 815°C sous une charge de 3,5 kg : mm²; plusieurs alliages nouveaux satisfont à cette condition de fluage sous 7 kg : mm². Enfin on prévoit

que, d'ici une dizaine d'années, de très gros progrès seront réalisés pour la résistance à haute température.

Il semble qu'il sortirait du cadre de cet exposé de faire un examen détaillé de la question métal; mais nous avons tenu à donner un aperçu des travaux accomplis pour le matériel ailettage que nous avons vu travailler au rouge sombre et nous voulons encore signaler l'existence dans la turbine à combustion d'autres éléments qui se trouvent en conditions difficiles: la chambre de combustion, en raison du niveau de la température, les rotors et disques en raison des contraintes d'origine mécanique et de celles que produisent de grands écarts de température sur de petites distances, les stators que leur forme dissymétrique rend particulièrement sensibles aux dilatations. On a reconnu le soin qu'il convient d'attacher à l'élaboration des pièces de forge et nous pouvons admirer l'action entreprise par la General Electric Cy consommant 150 roues de 180 kg chacune qu'elle a fait éclater en fosse, en vue de déterminer l'influence du mode de fabrication, de la composition, etc...

Les constructeurs estiment que de nombreux essais de laboratoire sont nécessaires avant qu'on puisse se rendre compte des lois gouvernant la tenue des métaux à haute température. Les essais portent sur le fluage, la rupture, le comportement lors de vibrations, les contraintes provoquées par les changements de température, le choc thermique, la sensibilité à l'effet d'entaille, la corrosion, l'érosion, la ductilité, la stabilité, etc...

Il s'en faut de loin qu'avec l'obtention du métal soit complètement résolu le problème de la fabrication des ailettes, qui peuvent être obtenues par forgeage ou par moulage de précision. Le choix est cas d'espèce suivant les conditions d'emploi, suivant la perfection du procédé de fabrication. L'existence de gros grains dans les moulages paraît conférer une supériorité dans la résistance au fluage aux températures voisines de 800°C.

Le tracé des ailettes, leur état de surface demandent un grand soin si on veut éviter les méfaits des vibrations et les amorces de ruptures.

N'oublions pas que lorsque le métallurgiste a mis au point un matériau qui donne, par sa résistance, provisoirement (puisque la recherche d'un haut rendement maintient

nos exigences) satisfaction au constructeur, ce dernier doit encore surmonter les difficultés causées par la dilatation; l'emploi de joints spéciaux résoudra le problème des déformations externes, mais non celui des déformations internes génératrices de contraintes dangereuses.

Nombre de questions ont dû être omises dans le présent exposé: combustion, construction, régulation, sécurité, installation, fonctionnement, etc.... On trouvera dans les périodiques, dans les publications des constructeurs, une documentation substantielle sur ces différents points. Quelques particularités méritent cependant d'être mentionnées, par exemple la construction de roues composites utilisant deux métaux différents, pour la partie centrale soumise à une température relativement basse et pour la couronne qui doit résister aux températures élevées. Cette construction fut inspirée par la difficulté d'obtenir de grosses pièces de forge en matériel austénitique de qualité satisfaisante. Les deux parties sont réunies l'une à l'autre par soudure.

De nombreux dispositifs ont été réalisés pour le refroidissement, pour la protection des éléments soumis à des températures élevées. Je me bornerai à signaler l'un d'eux particulièrement ingénieux et dû à M. Darrieus: la protection des ailettes par injection d'air froid dans la couche limite; l'air ainsi introduit n'agit point en refroidissant l'ailette, mais en l'enveloppant d'une mince couche isolante; ce mode d'action permet d'obtenir un effet utile avec une consommation d'air bien inférieure à celle qu'il eût fallu employer pour un refroidissement.

On ne peut chiffrer, sans un examen détaillé, la répercussion, sur l'importance du matériel, de la substitution du gaz à la vapeur

d'eau comme fluide de travail; mais il paraît utile de mettre en évidence quelques caractéristiques de la Centrale avec turbines à combustion.

On a déjà noté que la puissance installée doit être, en raison de la puissance absorbée par le compresseur, notablement supérieure à la puissance utile externe: le taux de cet excédent augmente avec le rapport de compression qui varie lui-même dans le même sens que le rendement, d'où la nécessité de rechercher, pour les applications, une juste balance entre les diverses exigences.

On remarquera enfin qu'on ne saurait considérer comme un bénéfice net la suppression de la chaudière à vapeur et du condenseur. Les turbines à combustion, établies pour un haut rendement, comprennent des réfrigérants, des échangeurs de chaleur et même quelquefois une chaudière à air. Une raison physique explique l'importance qu'il faut donner à ces appareils: la faible valeur du coefficient de transmission de la chaleur, coefficient K (défini par la relation: $Q = K \cdot S \cdot \theta$; Q : nombre de calories transmises à l'heure; S : surface d'échange en m^2 ; θ : différence de température entre le fluide et la paroi; exprimée en $k. cal. : m^2 : h : ^\circ C$), dont l'ordre de grandeur est:

pour l'air, le gaz, la vapeur 20-200

— l'eau 3.000

— le liquide en ébullition 10.000

Les conduites de gaz doivent aussi avoir des dimensions importantes: la vitesse admise pour les gaz est du même ordre de grandeur que la vitesse de la vapeur, 30 à 50 $m : s$. Mais, dans le cas de la turbine à combustion, les masses d'air et de gaz sont très importantes en raison du grand excès d'air nécessaire pour obtenir une température acceptable.

QUELQUES ASPECTS DU DÉVELOPPEMENT DE LA TURBINE À COMBUSTION.

Rêve ancien servi par des possibilités nouvelles, la turbine à combustion devait provoquer des réactions très vives, variables avec les milieux touchés.

Il n'est point surprenant qu'avec les premiers succès, les brevets aient pris, en ce domaine, une extension considérable. La multiplicité des paramètres, des dispositions concevables, contribue à cette forme d'acti-

vité: on a parfois l'impression que certains inventeurs procèdent, sur le terrain du diagramme entropique, à un lotissement pratiqué avec la même hâte fébrile que s'il était l'œuvre d'un marchand de biens. Très souvent, en effet, le brevet apparaît, non comme la juste sauvegarde du fruit d'un travail accompli ou en voie d'exécution, mais comme un barrage à l'activité d'autrui, comme un

acte contraire à l'esprit de service social, au souci de l'intérêt général. Il est à souhaiter qu'en ce domaine ceux qui déposent des revendications — et qui n'ont même pas tous le mérite d'être des inventeurs! — s'inspirent de l'exemple d'un grand inventeur français, Joseph Béthenod, auteur de nombreux brevets et qui se gardait, fidèle à sa conscience scrupuleuse, de tout empiètement prématuré sur un terrain qu'une équité élémentaire devait considérer comme ouvert à tous.

Le développement de la turbine à combustion a provoqué certaines manifestations d'ordre psychologique qu'il est bon d'examiner un instant, dans le but de se défendre contre le danger des affirmations prématurées, tendancieuses.

On ne peut manquer d'être frappé devant la diversité des attitudes de ceux qui se sont occupés de la turbine à combustion, contemporains ou ancêtres du XVIII^e siècle. On rencontre bien, chez la plupart des réalisateurs, cet équilibre entre analyse et synthèse, cette conscience de la difficulté et cette modestie qui sont gage de succès; mais on est forcé de constater que, chez d'autres hommes, il y a une idée fixe, plus ou moins faite à priori, avant examen. Certains manifestent un attrait particulier pour la turbine à gaz, parce qu'elle possède le mouvement rotatif et qu'elle se passe de l'intermédiaire de la vapeur; ils saluent le retour à l'idée première extrêmement simple de la roue hydraulique: on peut douter que cette simplicité soit aussi évidente aux yeux de ceux qui peinent sur l'exécution de la turbine à gaz moderne.

Il y a plus grave dans certaines opinions émises.

On a été jusqu'à escompter un succès, réservé, dans le domaine de la turbine à gaz, à ceux qui possèderaient mieux la science de la thermodynamique que l'art de la mise au point.

Ces différences dans l'attitude des hommes peuvent être considérées comme relevant de la distinction rappelée au début de cet exposé entre « ceux qui en font » et « ceux qui en parlent ».

Il convient, semble-t-il, dans un exposé d'information, de mettre le public en garde contre certaines affirmations, de lui rappeler l'importance attachée par Edison au labeur de longue haleine qui doit suivre l'éclair de l'intuition pour que celle-ci soit féconde. Le public de ce Pays reconnaîtra facilement le bien-fondé de cette remarque en ayant présent à l'esprit le succès de belles réalisations françaises dans l'artillerie, dans la construction navale, dans l'automobile, dans l'aviation, pour ne citer que quelques exemples, succès qui s'est affirmé chaque fois que les industries, les organismes correspondants ont trouvé des dispositions favorables au développement de leur activité, en particulier la liberté de prendre des initiatives judicieuses.

Je rappelle, encore, car il semble qu'il faille insister sur ce point, que le succès est aux entreprises qui ont apporté une égale intelligence, un égal discernement, un égal soin, une égale volonté aux travaux de la théorie, de la construction, de la fabrication, de la mise au point, une égale attention enfin aux leçons de l'expérience et aux besoins de l'exploitation.

CONCLUSION.

La turbine à combustion, recherchée pour certains avantages incontestables: possibilité de travailler sans eau et facilité relative d'utiliser les hautes températures, condition des rendements élevés, est entrée avec succès dans l'application industrielle: aviation, traction, propulsion navale, production d'énergie dans les installations stationnaires.

Ce sont essentiellement les progrès de l'aérodynamique et de la métallurgie qui ont permis cet essor. Les résultats acquis justifient les prévisions de possibilité et de rendement; ils

ne sauraient toutefois faire oublier la question qui, nécessairement, n'a pas encore reçu de réponse complète: la question de tenue dans la durée industrielle, ni le problème de l'emploi des combustibles solides.

Le perfectionnement incessant dans la science des matériaux et dans l'art de leur élaboration et de leur emploi fait bien augurer de l'avenir de la turbine à combustion.

L'importance des échanges internes: échange d'énergie entre turbine et com-

presseur, échange de chaleur entre les différentes parties du circuit parcouru par le fluide, conduit à l'installation d'appareils dont la détermination exige un gros effort d'analyse et de synthèse.

Pour avancer dans ce domaine complexe, il convient d'avoir recours tout d'abord à la documentation (ne serait-ce que pour éviter d'inventer ce qui est découverte ancienne), à la recherche, à l'étude approfondie de la construction et de la fabrication, au patient travail de mise au point, à l'esprit d'équipe et d'initiative et aussi, chaque fois que la chose

sera raisonnablement possible, à la réalisation industrielle dont le résultat viendra sanctionner le travail accompli.

Il n'est pas besoin de nouvelles spectaculaires ou simplement fantaisistes pour admirer ce qui a déjà été fait et pour exprimer un juste espoir dans l'avenir de la turbine à combustion.

Disons encore un autre espoir : que, du travail commun, associant l'homme de science, le chercheur, le technicien de toutes branches, sorte un nouvel instrument de prospérité pour notre Pays.

Bibliographie.

Les publications sur la turbine à combustion se caractérisent par leur abondance et la diversité dans la valeur et dans les points de vue; on y trouve : spéculations conjecturales, études, comptes rendus des faits, articles de vulgarisation, parfois très bien composés.

Il convient de signaler la valeur de certaines études très poussées et très objectives présentées par divers constructeurs.

La liste reproduite ci-dessous, et qui ne saurait prétendre à l'épuisement des sources, comprend quelques références concernant des publications parues après la communication de l'auteur.

Thermodynamique des systèmes propulsifs à réaction et de la turbine à gaz, par M. M. ROY, Dunod, 1947 (Voir analyse entre autres dans *Mech. Engineering*, déc. 1947).
La Revue Maritime, 9 janv. 1947. La Turbine à gaz (L. JAUCH, Ingénieur mécanicien général).
Espaces, n° 5. Turbine à combustion et propulsion par réaction (Conférence faite le 7 mars 1946 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale par M. Pierre DESTIVAL).
La France Énergétique, n°s 9-10 1947, 1-2 et 3-4 1948. Cycle : De la Turbine à Gaz à la propulsion par réaction (MM. SERRUYS, DUBERTRET, ANXIONNAZ, LEGENDRE, LEDUC).
Energie, avril 1947. Aspect général du problème de la turbine à gaz (M. SERRUYS) — Locomotive à Turbine à Gaz.
Journal de la S. I. A., nov. déc. 1947. État actuel de la Technique de la Turbine à combustion. (Conférence par M. M. MARQUE).
La Technique Moderne, 1-15 nov. 1947. Aciers résistant aux hautes températures.
 — 1-15 déc. 1947. La construction des Turbo-Réacteurs; matériaux employés (GOSPODAROWICZ).
 — Les applications de la Turbine à Gaz à la Marine Marchande (M. SÉDILLE).
Le Génie Civil, 18 déc. 1947 et *Métallurgie*, juill. 1947. Alliages spéciaux résistant aux températures élevées pour Turbines à Gaz et Moteurs à réaction.
 Les Aciers Colmo résistant au fluage pour les hautes tem-

pératures, édité par Colville Ltd, Glasgow, signalé par le *Bull. Documentation Technique de la S. N. C. F.*, janv. 1948.

Bull. Doc. Technique S. N. C. F., mars 1947. Les locomotives à Turbines à Gaz alimentées au charbon pulvérisé.

Mechanical Engineering, déc. 1947. Gas Turbine materials. *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France*, fascicule sept.-oct.-nov. 1946 et *Conférences de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, séance du 8 mai 1947 : Le cycle équipression et la Turbine à Gaz, par M. ERNEST MERCIER.

Le Génie Civil, 1^{er} nov. 1947. La chaudière à équipression associant la turbine à gaz et la turbine à vapeur (R. PAUL).
Bull. Bureau Veritas, nov. 1947. Centrale à Turbine à Gaz de 20.000 kW.

Société des Ingénieurs Civils de France. Le Générateur à injection totale. (Conférence du 23 janv. 1948 par M. Georges BRUN).
Chaleur et Industrie, mars-avril 1947 et *Bull. Doc. S. N. C. F.*, nov. 1947. Les limites de l'utilisation de l'énergie des combustibles dans les machines thermiques (CHAMBADAL).

Energie, mars 1948, d'après POWER, août 1947. Une nouvelle turbine à gaz 4.800 ch., 760° C.
Revue Générale des Chemins de fer, nov. 1947. Locomotives à Turbines à Gaz.

W. R. New Aero-Digest (U. S. A.), fév. 1948. Signalé par *Intertechnique*, 12 avril 1948. Le laboratoire de recherches des Turbo-réacteurs de la Westinghouse.

Bull. A. S. E., 29 nov. 1947. Gasturbinen Kraftwerke (Ludwig MUSIL).

Electrical Engineering (U. S. A.), janv. 1948. Gas Turbines. *The Engineer*, 2 janv. 1948. PANETRADA.

The Engineer, 9 et 10 janv. 1948. Prime movers in 1947 (Revue de l'activité de C. A. PARSONS, JOHN BROWN, THE ENGLISH ELECTRIC CY, BROWN-BOVERI, SULZER BROTHERS).

— 23 janv. 1948. METROPOLITAN VICKERS ELECTRICAL CY LTD. BRITISH THOMSON HOUSTON CY LTD.

— 30 janv., 6 et 13 févr. 1948.

Engineering, 5 et 12 mars 1948. The Gas Turbine as applied

- to Marine Propulsion (T. A. Crowe, large exposé du développement, des cycles et systèmes).
- Engineering*, 24 oct. et 26 déc. 1947. The Sub-atmospheric gas turbine cycle (B. E. ELTHOM).
- 12 déc. 1947. Notes Introductory to the theory and design of Gas Turbines (Prof. James SMALL).
- 16 janv. 1948. Contra-flow heat exchangers.
- General Electric Review*, janv. 1948. A 4.800 hp Gas Turbine power plant, Schenectady, first for non aircraft — Turbine-Generator Sets — Temperatures up.
- The Marine Engineer*, oct. 1947. National Gas-Turbine Establishment.
- nov. 1947. Gas Turbines for small craft.
- nov. 1947. A Marine Research and Testing Station — A Marine Turbine Research and Testing Station (T. W. F. BROWN, Dr. Sc., Dr. of Pametrada).
- déc. 1947. The Combustion Turbine.
- Mechanical Engineering*, déc. 1947. British Gas Turbine. Power, janv. 1948. MIT Sets up Gas Turbine Laboratory.
- juil. 1947. Gas Turbines possibilities in the Stationary Power Plant Field (L. M. ROWLEY, B. G. A. SKROTZKI).
- nov. 1947, voir I. S. du 17 déc. 1947. Peut-on appliquer de plus hautes températures dans les Centrales à vapeur à turbines? (Ad. MEYER) — First Gas Turbine to Sea.
- févr. 1948. Lab. speeds Gas Turbine Progress — Dependence of Gas Turbine — Economy on internal aerodynamic — Design (H. ROXBEE, A. R. HOWELL, A. G. SMITH, *National Gas Turbine Establ. Ministry of Supply*, England).
- The Gas Turbine as a mean of securing additional out put of Power (W. KARRER, A. I. de Constr. Erlikon).
- mars 1948. 1.300 F 2.000 Hp Gas Turbine runs on Test stand for over 1.000 hours.
- Railway Gazette*, 5 déc. 1947. Experimental 4.000 hp Gas Turbine locomotive unit.
- 2 janv. 1948. The Challenge to Steam (locomotives). Julian S. TRITTON.
- Technische Rundschau*, 17 oct. 1947. Eingliederung thermischer Kraftwerke in die Schweizerische Energie Versorgung.
- Westinghouse Engineer*, sept. 1947. The bright new future of coal.
- Material and Methods*, juin 1946. Article de H. A. KNIGHT sur les alliages pour hautes températures.
- The West of Scotland Iron and Steel Institute*, 14 mars 1947. The development of a high creep strength austenitic steel for Gas Turbine (D. A. OLIVER et C. T. HARRIS).
- Trans. of Inst. of Marine Engineers*, Vol. LIX, n° 5. High creep strength austenitic steel for Gas Turbines (D. A. OLIVER et C. T. HARRIS).
- de ALLIS CHALMERS : The Gas Turbine (R. 6213) — The Gas Turbine Power Plant — Gas Turbines Offer Opportunities for Process Use (R. 6238) — American Contribution Turbine Development (R. 6347) — Progress Report on Gas Turbines (R. 6575) — Design and Operation of Some Experimental High-Temperature Gas Turbine Units (R. 6586) — Gas Turbines — A Gas Turbine Road Locomotive.
- de METROPOLITAN-VICKERS. *The Motor Ship*, oct. 1947. First Marine Gas Turbine in service.
- Times Survey of British Export Industries*, janv. 1947. The Gas Turbine. Possible uses in Industry (Dr. A. T. BOWDEN et R. G. VOTSEY).
- Journal of the Royal Society of Arts*, 28 mars 1947. The Gas Turbine, with Special Reference to Industrial Applications (Sir Claude GIBB and Dr. A. T. BOWDEN).
- Times Review of Industry*, mai 1947. The Industrial Gas Turbine (Dr. A. T. BOWDEN).
- Heaton Works Journal*, Noél 1947. Gas Turbine Applications in Iron and Steel Works (A. T. BOWDEN, WATT GIBSON, I. W. RAILLY, T. G. VOYSEY).
- Revue Brown Boveri*, juin 1939, janv.-févr.-oct. 1946, janv.-mars 1947, janv.-févr. 1948.
- Wasser und Energiewirtschaft*. Das thermische Kraftwerke Bernau der Nordostschweizerischen Kraftwerke A. G. (Dr. A. ENGLER. Baden).
- Extraits du *Bull. Technique Escher Wyss*. Turbine aérodynamique en circuit fermé (J. ACKERET, C. KELLER) — La Turbine aérodynamique comparée aux turbines à vapeur et à gaz (C. KELLER).
- The Escher Wyss A. K. Closed-cycle Turbine. Its actual development and future prospects. (Conférence par le Dr. KELLER devant l'Association des Ingénieurs Mécaniciens Américains).
- Revue Polytechnique Suisse*, 9-16 juin 1945. Compte rendu des essais de la Turbine aérodynamique Escher-Wyss A. K. (H. QUIBY).
- Schweizer. Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik*, cahier 8 nov. 1945. Ueber Grundlagen und Aufbau der Wärmekraftanlage mit geschlossenem Luftkreislauf. Escher Wyss A. K. Anlage (Dr. C. KELLER).
- La Turbine à Gaz en circuit fermé. (Conférence faite le 30 sept. 1946 à Paris par M. Charles COLOMBI.)
- Revue Technique Sulzer*.
- Bull. Erlikon*, déc. 1946. La Turbine à Gaz Erlikon (W. KARRER).
- Neue Zürcher Zeitung*, 16 juillet 1947. Erlikon Gasturbinen Versuchsanlage.
- Bull. A. S. E.*, 14 juin 1947. Gasturbinen Anlagen Erlikon.
- Power*, déc. 1947. 1.000 kW Gas Turbine Plant Features — New Centrifugal Compressor Design.
- Some aspects of industrial Gas Turbine developments. (A. T. BOWDEN, J. L. JEFFERSON et W. P. DAVEY). Communication présentée à la réunion de la North Eastern Branch of the Institution of Mechanical Engineers, à Literary and Philosophical Society, Lecture Theatre, Westgate Road, Newcastle-upon-Tyne, le 2 février 1948.

COMPTES RENDUS DES SEANCES PUBLIQUES

SÉANCE SOLENNELLE DE RENTRÉE DU 28 OCTOBRE 1948

Allocution de M. Louis PINEAU, président.

Mes chers Collègues,

Notre activité s'est, au cours de l'année dernière, déployée dans les domaines les plus divers.

Du côté des Conférences, ce fut d'abord, à la Séance de Rentrée, celle de M. Louis de Broglie, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, lauréat de notre Grand Prix d'Argenteuil sur « La Science pure, source féconde des progrès de l'Industrie », puis la VII^e Conférence Bardy sur la constitution et les propriétés mécaniques des hauts polymères, par M. G. Champetier.

Elle fut suivie du cycle consacré aux conditions nécessaires du redressement de l'économie française, dans lequel M. René Arnaud exposa un point de vue patronal, M. Robert Bothereau montra le syndicalisme ouvrier devant les problèmes du redressement économique, MM. Jean Escher-Desrivières et Roger Millot développèrent l'opinion des Cadres.

Ensuite, M. le Commissaire général Salmon nous a exposé l'effort de la France en matière de normalisation internationale; M. Missenard nous a parlé du conditionnement climatique des locaux et de ses données physiologiques; l'Ingénieur général Nicolau, de la position du problème industriel des aberrations géométriques des surfaces; M. Dubertret, des applications terrestres et navales des turbines à combustion. Vous vous rappelez le magnifique succès de la conférence du professeur Mollaret sur la streptomycine (XIII^e Conférence Carrion). Plus tard, M. Malvezzi, venu de Rome, nous a fait part d'une expérience de redressement industriel en Italie: l'Institut de Reconstruction Industrielle, et nous a donné l'occasion de nous expliquer sur le dirigisme d'État. M. du Merle nous a exposé l'état de l'aviation de haute vitesse; M. Naudin, l'apport de la France à l'Économie de l'Amérique latine. Plus tard, M. le professeur Thibaud, lauréat de notre

Prix Galitzine, nous exposa magistralement, devant un auditoire sans précédent, la situation actuelle de l'énergie atomique dans le monde et les applications des découvertes de la physique nucléaire. Enfin, à la Cérémonie des Récompenses, M. de Vogüé (Grande médaille de la Société), traita avec compétence de la Champagne et du champagne.

Notre activité ne s'est pas bornée à Paris, puisque, soucieux de participer dignement au Centenaire du Prince Albert de Monaco, qui fut membre de notre Société, nous avons pu, sur l'heureuse initiative de notre Collègue M. Rouch, organiser, à Monaco, une conférence, qui fut faite par M. Yves Rocard sur le sondage et la pêche par ultra-sons.

Du côté des publications, nos comptes rendus, qui ont pris beaucoup d'importance, et nos fascicules de Conférences, qui suivent maintenant une cadence régulière, tendent, malgré la difficulté des temps, à reprendre la forme traditionnelle de notre Bulletin.

Notre attention s'est portée également vers une grande question d'intérêt aussi bien universel que national: la défense du système métrique.

La Société d'Encouragement, qui fut à l'origine de la normalisation, adoptait récemment un vœu sur l'application du Système Métrique en Normalisation internationale, dans lequel elle exprimait le ferme espoir de voir le Gouvernement et tous les organismes intéressés défendre vigoureusement le système métrique sur le plan international. A cette occasion, nous avons rappelé les bases scientifiques et légales, sur lesquelles, même en pays anglo-saxons, on peut et on doit s'appuyer pour cette défense.

Ce vœu ayant recueilli l'approbation unanime des Pouvoirs publics, et des organismes qualifiés, nous entendons bien poursuivre notre action jusqu'à des résultats pratiques et durables, aussi bien d'ailleurs dans notre pays qu'à l'étranger. En effet, ce n'est pas seulement hors de nos frontières

que l'on voit parfois méconnaître, soit la lettre même, soit le véritable esprit du système métrique.

Nous nous sommes, d'autre part, associés à une campagne en faveur de la réforme de la fiscalité des brevets, qui a abouti à une première amélioration.

Pour les récompenses, nous en avons, cette année, particulièrement développé le côté social en étendant l'attribution de notre médaille des ouvriers et contremaîtres à des catégories d'industries beaucoup plus variées.

Nous allons, cette année, reprendre notre programme. Après la belle séance d'aujourd'hui, ce sera la VIII^e Conférence Bardy, où M. Lachampt nous parlera de la normalisation d'un procédé millénaire : la fabrication continue du savon.

Nous préparons aussi une conférence sur la part de l'agriculture dans le redressement économique de la France.

Mais nous ne voudrions pas laisser s'achever cette année sans rendre, comme de coutume, un hommage solennel à l'une de ces belles figures de la science française que notre Société s'honore d'avoir accueilli dans ses murs.

C'est à la mémoire du regretté Lecomte du Nouy qu'ira cet hommage, Lecomte du Nouy, qui, naguère, ici même, dans une conférence intitulée « Physique, Chimie, Biologie », révélait, on peut le dire, un état nouveau de la Connaissance, la figure prise par la Science en ce milieu du XX^e siècle. Cette fois encore, lorsque notre éminent Collègue, M. le Docteur Jacques Tréfouël, Directeur de l'Institut Pasteur, évoquera cette personnalité et cette carrière scientifique, il sera le porte-parole de tous les Français qui savent encore, dans leur pays, découvrir et saluer les valeurs authentiques.

Présentation de la conférence de M. Albert LEBRUN

par M. Louis PINEAU.

Monsieur le Président,

L'ordre du jour de cette séance porte cette seule indication : « Cinquante années de sidérurgie lorraine dans l'Économie française », conférence de M. Albert Lebrun, ancien Ingénieur au Corps des Mines.

Pour grand qu'en soit le sujet, dans lequel, Monsieur le Président communie votre petite et notre grande patrie, j'aurais le plus vif scrupule à trahir en quoi que ce soit la volontaire simplicité du programme que vous avez choisi.

Que le nombre et la qualité de cette assistance, élite de la Science et de l'Industrie, venue aussi de toutes les Sociétés industrielles de France, et rassemblée pour vous entendre sur un sujet qui vous est cher, vous portent le témoignage éloquent de l'affectueuse fidélité de notre souvenir, de l'universel respect qui entoure votre retraite.

C'est un gage exceptionnel que vous donnez à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, d'avoir choisi sa tribune historique pour y prendre la parole. Notre Société, la Société de Métallurgie qui s'est jointe à elle pour vous recevoir, en sont profondément honorées. Aussi bien,

vos carrière d'ingénieur vous inclinait-elle à nous réserver cette faveur.

Fondée par des chimistes célèbres, la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale a compté aussi dans ses rangs, au cours de sa déjà longue histoire, bien des inspecteurs généraux ou ingénieurs des Mines. Sept sur vingt-deux des présidents qui se sont succédé depuis sa fondation, appartenaient au Corps des Mines : Haton de la Goupillière, Adolphe Carnot, Linder, Henry Le Chatelier, Édouard Gruner, Louis Baclé, Édouard Sauvage. Monsieur le Président, que cette manifestation d'aujourd'hui, qui vous doit son éclat, soit par vous considérée comme l'hommage que nous devons rendre au magnifique Corps de l'État auquel vous êtes resté si attaché.

Monsieur le Président,

Nous savions tous l'intérêt éclairé et passionné qu'à travers l'exercice des plus hautes charges et responsabilités de l'État, vous n'avez jamais cessé d'apporter aux grands problèmes techniques et économiques du pays. J'en avais, pour ma modeste part, ressenti l'encouragement aux diverses étapes de notre politique du pétrole : l'établissement

de la position française au Moyen Orient, les recherches et les découvertes du Maroc et des Pyrénées.

Depuis lors, beaucoup d'entre nous ont gardé le souvenir du magnifique discours-programme que vous prononciez, il y a dix-huit mois, chez nos amis les Ingénieurs coloniaux et qui a laissé en vos auditeurs

d'alors une impression profonde, toute de confiance et d'espérance.

Quelles que soient les douloureuses épreuves actuelles de notre pays, personne ne doute, Monsieur le Président, que votre Conférence d'aujourd'hui soit encore un acte de foi, comme un acte tout court, au service de la France.

Allocution de M. Henri BRUN,

Président de la Société industrielle de l'Est.

Le Président donne la parole à M. Henri Brun, Président de la Société Industrielle de l'Est, « qui est venu apporter à la Société d'Encouragement le témoignage du profond attache-

chement de la Société sœur de Nancy, et saluer dans l'éminent Conférencier qui va retracer l'histoire de la sidérurgie lorraine, l'illustre compatriote et l'ami ».

Cinquante années de Sidérurgie lorraine dans l'Économie française

par M. le Président Albert LEBRUN.
Ancien Ingénieur au Corps des Mines.

Résumé de la Conférence.

Rechercher comment, le développement obtenu au cours du dernier siècle, ou mieux des 50 dernières années, a pu être atteint, à quels éléments est due cette réussite, l'une des plus spectaculaires de l'histoire industrielle moderne, enfin ce qu'il convient de faire pour lui communiquer un nouvel élan, tel était l'objet de l'exposé.

Après avoir rappelé l'allure générale de la formation ferrifère lorraine, M. Albert Lebrun a retracé son histoire.

De tout temps, la métallurgie du fer a existé en Lorraine. Dès le ^{xv}^e siècle, des mineurs avaient découvert aux endroits dénommés Sexey-aux-Forges et Val-de-Fer, en forêt de Haye, les affleurements; ils y traçaient quelques galeries étroites, en retiraient quelques tonnes de minerai qui, traitées au bas-foyer, donnaient de petites quantités de métal.

Plus au nord, vers Longwy et Hayange, la même industrie prenait naissance, non plus cette fois avec des produits des couches elles-mêmes, mais avec un minerai en grains trouvé dans des poches ouvertes dans les calcaires supérieurs, minerai de « fer fort », comme on disait, qui, sans phosphore, produisait un métal de qualité.

C'est en 1834 que fut instituée la première concession de mine à Hayange; c'est de 1844 que date la première concession de la région de Longwy, celle du Coulmy; c'est à 1848 que remonte la première concession de la région de Nancy, à Champigneulle. Vous le voyez, il y a à peu près un siècle qu'une exploitation sérieuse a commencé.

Jusqu'en 1870, on poursuit des travaux de recherches le long des affleurements; une quarantaine de concessions sont instituées. La substitution du coke au bois au haut-fourneau et la découverte du procédé Bessemer pour la transformation de la fonte en acier donnent un premier coup de fouet à la métallurgie lorraine. En 1869, dernier exercice non influencé par la guerre, la Lorraine avait produit 1.500.000 tonnes de minerai, 420.000 tonnes de fer, métal couramment employé alors, et seulement quelques dizaines de milliers de tonnes d'acier, encore peu employé.

De 1870 à 1914, l'industrie sidérurgique prit un grand essor en Lorraine (multiplication des fours Thomas et des fours électriques, construction de cokeries, centrales électriques, moulins à scories, cimenteries, usines pour la fabrication des briques de

laitier, pose de canalisations pour le transport et la distribution, dans les grandes villes du bassin minier, des gaz recueillis au gueulard des fours à coke).

Au cours de la guerre 1914-1918, les Allemands y procédèrent, soit à des destructions systématiques de matériel, soit au démontage de grosses machines (mélangeurs, laminoirs), qu'ils transportèrent et réinstallèrent sur leur propre territoire.

Après la conclusion de la paix, la France récupéra une partie de ce matériel, et, de 1920 à 1939, sous l'impulsion de ses grands « maîtres de forge » (les Camille Cavallier, de Wendel, etc...), à la mémoire desquels M. Albert Lebrun s'est plu à rendre un vibrant hommage, elle put, non seulement reconstituer ses établissements sidérurgique, partiellement ou totalement détruits, mais encore en accroître le nombre et le rendement.

La guerre de 1939-1944 fut moins néfaste pour nous, dans le bassin de Briey, que celle de 1914-1918. Jusqu'au dernier moment des hostilités, pour ainsi dire, les Allemands pensèrent, en effet, gagner et pouvoir, de la sorte, nous déposséder définitivement de ce bassin minier.

Quoi qu'il en soit des conditions dans lesquelles a pu prendre naissance le gisement ferrifère lorrain, ce qui importe aujourd'hui, *c'est de connaître sa richesse actuelle, ses réserves d'avenir.*

On en a fait l'évaluation d'une façon minutieuse. on a déterminé, d'après les très nombreux sondages qu'il faut toujours avoir sous les yeux quand on parle de cette région, les couches exploitables; on les a cubées, puis appliquant la densité moyenne du minerai de 2,5, on est arrivé à établir que le gisement comportait le chiffre formidable de 10.955.000.000 tonnes de minerai correspondant à 3.400.000.000 tonnes de fer.

En fait, ce chiffre est supérieur à celui du tonnage exploitable, le seul intéressant à connaître. Il faut lui faire subir divers abattements, d'abord parce que le mode de calcul n'est pas tout à fait précis, ensuite pour tenir compte des investissements de protection qu'on laisse sous certains points de la surface : villes, villages, voies de communication; enfin il faut défalquer encore les tonnages exploités dans le passé et ceux perdus par suite de mauvaises méthodes d'exploitation. Quand il y a plusieurs couches

sur la même verticale, ce qui est le cas général, il faut commencer l'exploitation par le haut; si on l'amorce par le bas, comme les Allemands l'ont fait entre les deux guerres dans certaines de leurs concessions, on disloque les couches du haut et l'exploitation en devient dangereuse.

Bref, on arrive en dernière analyse au chiffre, sans doute très voisin de la réalité, de 5 milliards de tonnes, permettant une extraction annuelle moyenne de 50 millions de tonnes pendant un siècle.

Ces deux chiffres rapprochés l'un de l'autre donnent une idée exacte de l'importance du gisement de minerai de fer lorrain, richesse incomparable pour le développement de la vie économique française.

Sans doute ce bloc de minerai est-il, avec celui du Lac Supérieur, dont les États-Unis tirent les 9/10 de leur minerai, le plus puissant connu du Monde. J'ajoute, pour tenir compte des autres richesses minérales de la France, qu'avec celles de Normandie, d'Anjou et des Pyrénées, notre pays détient 7 milliards de tonnes. La France serait ainsi la troisième dans le monde, après les États-Unis, 10.600.000.000, et la Russie 10 milliards.

M. Albert Lebrun exposa aussi les grandes lignes du programme qui, déjà en cours de réalisation, permettra d'obtenir, vers 1950, une extraction de l'ordre de 65 millions de tonnes de minerai et l'élaboration d'un tonnage d'acier de 11 à 12 millions de tonnes, tout en améliorant les prix de revient (modernisation du matériel d'abatage et de chargement du minerai; construction de hauts-fourneaux à grande capacité, de 5 à 5,5 m de diamètre au creuset, suroxygénation plus poussée de l'air des soufflantes, récupération plus poussée de la chaleur des gaz, installation de nouveaux trains de laminoirs, à large bande, organisation — sous les auspices de l'Institut de Recherches de la Sidérurgie — de la recherche scientifique dans l'industrie sidérurgique, et, dans ce but, achèvement des vastes laboratoires qui sont en construction à Saint-Germain-en-Laye).

En terminant, M. Albert Lebrun a insisté sur ce fait que la France, pour restaurer ses finances, stabiliser sa monnaie, rétablir pour tous les salariés un niveau de vie égal à celui d'avant-guerre, recouvrer enfin la paix sociale, doit produire sans arrêt.

Allocution prononcée à l'issue de la Conférence

par M. Pierre CHEVENARD,

*Membre de l'Institut,**Président de la Société française de Métallurgie.*

La Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, doyenne et mère de toutes les sociétés techniques françaises et dont nous célébrerons dans trois ans le sesquicentenaire, a eu la délicate pensée d'inviter la plus jeune de ses arrières-petites-filles, la Société Française de Métallurgie, âgée de quatre ans à peine, à partager l'honneur de cette séance d'un éclat exceptionnel. Que M. le Président Pineau me permette de l'en remercier au nom de mes collègues métallurgistes, et de lui dire ma reconnaissance pour la faveur, redoutée, mais profondément appréciée, de prendre ici la parole après l'éminent Inspecteur général des mines, le grand Lorrain, le grand Français que nous venons d'applaudir.

Il serait outrecuidant de commenter un exposé si clair, si documenté, si complet et qui envisage la sidérurgie lorraine d'un point de vue si élevé. C'est pourquoi, après avoir exprimé à M. le Président Lebrun la respectueuse gratitude de la Société Française de Métallurgie pour son éloquent et poétique leçon et pour son patriotique acte de foi, je me bornerai, en deux mots, à dégager un enseignement et un motif de confiance.

En 1932, la Société des Ingénieurs civils de France, alors présidée par mon savant ami A. Portevin, a célébré le cinquantième approximatif des procédés sidérurgiques basiques. Au cours de la cérémonie, qu'avait bien voulu présider le premier magistrat de la République, M. l'Inspecteur général des Mines L. Crussard a caractérisé par un maître nombre la richesse du bassin ferrifère lorrain. Si le métal contenu dans tout le gisement de l'Est reconnu par les géologues se trouvait rassemblé dans une gigantesque coulée, l'arête du lingot cubique ainsi obtenu aurait pour longueur un peu moins d'un kilomètre. Cela paraît peu et cependant c'est beaucoup.

C'est beaucoup en effet. Pensons que tout l'or du monde, qui a éveillé tant de cupidité, provoqué tant de crimes, ne formerait pas un cube de 10 m de côté, et réfléchissons à quel point le fer est plus précieux que l'or. Sans tomber dans le finalisme, il est permis de voir un bienfait de la Providence dans les

propriétés exceptionnelles de notre premier métal usuel. Que serait notre industrie mécanique sans la transformation allotropique du fer qui permet la trempe des aciers; que serait notre industrie électrique sans le ferromagnétisme qui condense en un volume acceptable les dynamos et les transformateurs? Prenons confiance dans les destinées industrielles d'un pays pourvu d'un joyau pesant quelque 7 milliards de tonnes. Cette richesse nous attire bien des convoitises : « Qui fer a guerre a » pourrait-on dire en altérant la lettre, mais non l'esprit d'un vieux proverbe. Pour garder notre bien, il nous faut être forts, c'est-à-dire être unis.

La fonte, issue du minerai lorrain, a trouvé son mode d'affinage normal dans les procédés imaginés par trois anglais : H. Bessemer, inventeur du traitement par le vent, S. Thomas et P. Gilchrist qui l'ont adapté aux fontes phosphoreuses. Mais, par un curieux échange d'inventeurs, la sidérurgie étrangère, la métallurgie anglaise, en particulier, exploitent de préférence un autre procédé moins rapide, mais plus souple, imaginé par le français P. E. Martin, petit-fils de Duffaud qui, en 1817, avait créé l'usine de Fourchambault.

Et voici notre raison d'avoir confiance : la France qui, le fer et l'aluminium exceptés, est maigrement dotée en ressources minérales, a reçu en compensation une richesse inépuisable, qu'il nous appartient de faire fructifier : la substance grise. Nous avons eu Réaumur, Martin, Héroult, Osmond, Pourcel, Le Chatelier, Charpy; nous avons maintenant R. Perrin, inventeur d'un nouveau procédé sidérurgique et, dans nos laboratoires, Portevin et bien d'autres chercheurs continuent dignement les fondateurs français de la science métallographique.

Si donc savants, ingénieurs, techniciens et chefs d'entreprises travaillent avec acharnement et en parfaite harmonie, la France, appelée par ses gisements de Lorraine à occuper une place éminente sur le plan quantitatif, retrouvera le premier rang dans le domaine de la qualité.

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 28 octobre 1948.

- M. Christian BEAU, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, Président du Conseil d'Administration de la Société « Énergie des mers », 31, avenue de Louvois, Chaville (Seine-et-Oise), présenté par M. Louis Pineau.
- M. Raoul BERLINE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Président Directeur-Général de la Société des Filtres Philippe, 11, rue de Villars, Saint-Germain-en-Laye (Seine-et-Oise), présenté par M. Louis Pineau.
- M. François BERRY, Ingénieur, Président du Conseil, Directeur Général des Ateliers et Chantiers de la Manche, 92, rue Bonte-Pollet à Lille, présenté par M. Louis Pineau.
- M. Jean BING, 5, rue de Sfax, Paris (xvi^e), présenté par M. Louis Pineau.
- M. Paul BLANCHARD, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur-Gérant des Aciéries Legenisel et Blanchard, 6, rue Say, Paris, ix^e, présenté par M. P. Bastien.
- M. Auguste BLARINGHEM, Ingénieur, 2, rue Cognacq-Jay, Paris (vii^e), présenté par M. Louis Pineau.
- BRASSERIE GRAFF FRÈRES, brasseurs, 138, rue Saint-Hélier, Rennes (Ille-et-Vilaine).
- M. Achille BRIZON, Ingénieur des Arts et Manufactures, Industriel, 61, boulevard Pasteur, Paris (xv^e), présenté par M. Louis Pineau.
- COMPAGNIE DES MINES, FONDERIES ET FORGES d'ALAIS, 2, rue Lord-Byron, Paris (viii^e), présentée par M. Louis Pineau.
- COMPAGNIE FRANÇAISE DE PRODUITS CHIMIQUES ET INDUSTRIELS DU SUD-EST, présentée par M. Louis Pineau.
- M. Maurice DUCHANGE, Ingénieur, 97, rue de Lille, Paris (vii^e), présenté par M. Louis Pineau.
- ÉTABLISSEMENTS F. BAPTEROSSÉS ET CIE (Boutons de porcelaine), Briare (Loiret), présentés par M. Louis Pineau.
- ÉTABLISSEMENTS KLEIN ET CIE, Constructions mécaniques, 29, rue Wurtz, Paris (xiii^e), présentés par M. Louis Pineau.
- M. Jacques FOUGEROLLE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Président de la Société des Ingénieurs Civils de France, Membre du Conseil Économique et de la Chambre de Commerce de Paris, Gérant Directeur Général de la Société des Entreprises Boussiron, 10, boulevard des Batignolles, Paris (xvii^e), présenté par M. Louis Pineau.
- M. Eugène GAY, Ingénieur des Arts et Manufactures, Industriel, 71, rue d'Auteuil, Paris (xvi^e), présenté par M. Louis Pineau.
- M. A. GRAFF, Ingénieur des Arts et Manufactures, Brasseur, Gérant de la S. à r. l. « Brasserie Graff Frères », 138, rue Saint-Hélier, Rennes (Ille-et-Vilaine), présenté par M. Louis Pineau.
- M. Guy LEDOIGT, Ingénieur E. C. P., Gérant de la Société Briqueterie du Mesnil Esnard-Ledoigt et Cie, 2, route de Paris, Mesnil Esnard (Seine-Inférieure), présenté par M. Louis Pineau.
- M. PELISSIÉ, Ingénieur E. C. P., Vice-Président, Directeur Général-Adjoint de la Société Anonyme française du Ferodo, 64, avenue de la Grande-Armée, Paris (xvii^e), présenté par M. Louis Pineau.
- LA RADIOTECHNIQUE, 51, rue Carnot, Suresnes (Seine), présentée par M. Boreau.
- M. Jules RAMAS, Ingénieur, Ancien Président de la S. A. des A. E. des Écoles d'Arts et Métiers, Ancien Administrateur Délégué du Comptoir Sidérurgique de France, Président de la Société des Ingénieurs Coloniaux, 11, rue Tronchet, Paris (vii^e), présenté par M. Louis Pineau.
- M. Max SERRUYS, Docteur ès-sciences, Lauréat de l'Institut, de la S. I. C. et de la S. I. A., Professeur au C. N. A. M. et à l'École Centrale, 102, rue du Bac, Paris (vii^e), présenté par M. Louis Pineau.
- SOCIÉTÉ ANONYME DES HAUTS FOURNEAUX FORGES ET ACIÉRIES DE POMPEY, 48, rue La Boétie, Paris (viii^e), présentée par M. Louis Pineau.
- SUCRERIES ET RAFFINERIES DE L'INDOCHINE 23, rue Nitot, Paris (xvi^e), présentées par M. Louis Pineau.

SÉANCE PUBLIQUE DU 18 NOVEMBRE 1948

8^e Conférence Bardy

Allocution de M. Pierre JOLIBOIS,

*Membre de l'Institut,
Vice-Président de la Société d'Encouragement.*

Mesdames, Messieurs,

La Conférence Bardy qui sera donnée aujourd'hui est une des manifestations importantes de notre Société. Elle a été fondée en 1941 grâce à la générosité de Madame Bardy qui nous a légué par testament le quart de sa fortune. Depuis, cette conférence a lieu tous les ans, grâce à la collaboration de savants ou d'industriels éminents qui ont bien voulu nous apporter leur concours.

Aujourd'hui, nous allons entendre un industriel qui a accepté aimablement de venir parmi nous exposer les résultats qu'il a obtenus dans la mise au point d'une invention remarquable dont il est l'auteur et mon rôle est de vous présenter notre conférencier, Monsieur Félix Lachampt.

A notre époque de mandarinat peut-être excessif, il est utile de constater qu'une brillante réussite pratique n'est parfois accompagnée que d'un mince bagage de parchemins. Monsieur Lachampt s'est formé tout seul dans les laboratoires; il y a lieu de l'en féliciter; d'autant plus que son élévation s'est faite au prix d'un travail intense qui n'excluait ni la lecture ni la méditation.

Notre conférencier, quoique praticien

très averti, est loin de dédaigner l'aspect théorique des questions qu'il étudie; et c'est même le côté purement physique de l'équilibre entre l'eau, le sel et le savon qui lui a servi de guide pour une mise au point dont le but s'est révélé d'un grand intérêt économique.

Ses publications nous révèlent d'ailleurs l'objet de ses réflexions. Nous apprenons en le lisant qu'il y a une physico-chimie des crèmes de beauté, ce qu'ignorent certainement la plupart de celles qui en bénéficient.

Nous apprenons aussi que cette sévère règle des phases, qui semble aux chimistes de ma génération le summum de l'abstraction permise dans un métier expérimental, a été entre les mains de Monsieur Lachampt un des outils les plus précieux de ses brillantes réalisations.

Il va vous entretenir de la fabrication continue du savon et vous montrera comment, grâce à ses efforts, cette industrie empirique, née d'une succession de recettes a pu évoluer dans le sens du progrès économique sous l'influence des données les plus subtiles de la physique moléculaire.

C'est dans ce but que je lui donne la parole.

Modernisation d'un procédé millénaire : la fabrication continue du savon

par M. Félix L. LACHAMPT,

Directeur du Laboratoire de Monsavon.

Résumé de la Conférence.

On appelle savon un sel alcalin des acides gras de C 12 à C 18.

Le savon se fabriquait jusqu'en 1939 :

1^o Par saponification en cuves des triglycérides et épuration ultérieure par relargage, cuite et liquidation.

2^o Par hydrolyse des triglycérides, soit

à l'air libre par la méthode Twitchell, soit en autoclave.

On avait tenté, depuis la deuxième partie du XIX^e siècle de faire la saponification en émulsion « en continu », mais ces procédés qui avaient donné lieu à plusieurs brevets n'ont pas eu de consécration industrielle car ils

donnaient des résultats incertains; de plus, ils ne résolvait qu'une partie du problème puisqu'il n'était pas question d'épuration ultérieure.

Ces dernières années deux procédés ont vu le jour : le procédé Clayton et le procédé Sharpless.

— Le procédé Clayton hydrolyse en continu les glycérides, récupère la glycérine et est suivi d'une neutralisation.

— Le procédé Sharpless, qui utilise en continu le processus des cuves, nécessite des centrifugations par étage d'opération.

En 1941, l'étude du retournement des émulsions a amené l'auteur à reconsidérer la cinétique de la saponification en émulsion et lui a permis de comprendre la raison des échecs de ses prédécesseurs.

D'autre part, l'application de la règle des phases aux savons lui a fait d'entrevoir la

possibilité de l'épuration ultérieure en continu.

La mise au point à la Société Monsavon de ces principes a permis de réaliser un appareil qui saponifie les corps gras, lave le savon obtenu, de façon à récupérer la glycérine et termine ces opérations par une liquidation. Le savon terminé est alors identique et se trouve dans les mêmes conditions que le savon fabriqué en cuves.

Ce nouveau procédé utilisant la chaleur de réaction fonctionne avec un apport négligeable de calories, ce qui représente une économie considérable. D'autre part, la glycérine est récupérée à une concentration 2 fois et demie plus élevée qu'en cuves. Son encombrement est très faible et son rendement procure des économies considérables dans les nouvelles installations. Sa souplesse est très grande et permet l'arrêt et la remise en route sans complication.

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 18 novembre 1948.

M. Émile BARBET, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France, 183, boulevard Saint-Germain, Paris (VII^e), présenté par M. Louis Pineau.

M. Édouard BELIN, Industriel, 37, rue Poussin, Paris (XVI^e), présenté par M. G. Boreau.
FILATURES ET TISSAGES G. MARCHAL FILS, La

Claquette, p. Rothau (Bas-Rhin), présentés par M. Louis Pineau.

SOCIÉTÉ ÉLECTROTUBE-SOLESMES, 6, rue Daru, Paris (VIII^e), présentée par M. Louis Pineau.

SOCIÉTÉ LOUVROIL MONTBARD AULNOYE, 6, rue Daru, Paris (VIII^e), présentée par M. Louis Pineau.

SÉANCE PUBLIQUE DU 9 DÉCEMBRE 1948

Allocution de M. Louis PINEAU, président.

Mesdames, Messieurs, mes chers Collègues,

Le 26 février 1946, nous traitons ici de l'Agriculture française devant la concurrence internationale. Nul d'entre nous n'a oublié la belle Conférence qu'en présence du Ministre de l'Agriculture d'alors, nous fit M. Pierre Fromont.

Je faisais ressortir à cette occasion combien l'Agriculture et l'Industrie, dans un pays comme le nôtre, ont un destin solidaire. Je montrais aussi comment l'Agriculture, a tou-

jours été en honneur dans notre Société dévouée à l'encouragement de l'Industrie nationale. C'est à elle encore l'an dernier que revenait l'honneur de notre plus haute récompense.

C'est dire combien le sujet de la Conférence d'aujourd'hui : « L'Agriculture parmi les industries nationales », trouve sa place nécessaire dans notre programme, dans nos inquiétudes autant que dans nos espérances. Nous avons la chance de voir aborder aujourd'hui ce sujet par un des meilleurs techniciens de l'Agriculture française, qui

lui a consacré sa vie, tous les dons de son intelligence créatrice, l'autorité justifiée dont il n'a cessé de jouir dans les milieux agricoles, et qui en a été récompensé par une carrière des plus brillante.

M. Préaud, major de l'Institut agronomique, ingénieur électricien, après ses services d'officier pendant la grande guerre, se distingue comme Ingénieur en chef du Génie rural à Nancy. Il y fait une œuvre excellente de reconstruction. Il inaugure les méthodes de l'électrification rurale appliquées ensuite dans la plupart de nos régions. Il y organise

les premiers syndicats de communes, jusqu'à ce qu'il devienne Inspecteur général puis Directeur du Génie rural à Paris.

A la tête de cette importante Direction, il y fait une œuvre trop tôt interrompue, qui se prolonge cependant pendant douze ans. Depuis lors, il n'a cessé de mettre au service de l'Agriculture une expérience et une autorité par tous reconnues. Nous sommes heureux et nous lui exprimons nos remerciements, qu'il en fasse profiter aujourd'hui la Société d'Encouragement et je m'empresse de lui donner la parole.

L'Agriculture parmi les industries nationales

par M. Robert PRÉAUD,
ancien Secrétaire général à l'Agriculture.

Résumé de la Conférence.

L'auteur envisage les aspects sous lesquels l'Agriculture apparaît au Monde contemporain, qui semble manifester un renouveau d'intérêt à son égard. Il s'efforce ensuite de faire le bilan de ses besoins et de ses possibilités et aborde enfin le problème de la solidarité entre l'Agriculture et l'Industrie.

Il faut se garder, a-t-il dit, des fallacieuses comparaisons entre l'agriculture des pays de vieille civilisation et celle des pays neufs. La première qualité de l'exploitation agricole est sa « durabilité ». Il ne saurait être question d'épuiser le sol à coups de machines pour aller ensuite s'établir ailleurs. La France, qui a gardé son sol utilisable pendant des siècles, même dans les terroirs les moins riches, a peut-être beaucoup à apprendre de l'Amérique : il semble qu'elle ait aussi beaucoup à lui enseigner. Au fur et à mesure que la science de la conservation des sols fait des progrès aux États-Unis et que l'on s'y préoccupe d'y éviter l'épuisement des terres et l'érosion, on tient compte des courbes de niveau, on pratique des assolements variés. Bref, on se rapproche de l'aspect traditionnel de la culture française : évolution que les photographies aériennes font ressortir d'une manière frappante. Non moins significative est l'attention éveillée à l'Étranger par la « Croisade de l'humus » engagée par l'Association « l'Homme et le Sol ».

Avant la guerre, l'Agriculture française

était en mesure de satisfaire dans l'ensemble les besoins du ravitaillement national, sous cette réserve que l'alimentation du bétail donnait lieu à des importations excessives. Depuis il s'est produit une évolution comme après la guerre de 1914 : les besoins des ruraux ont augmenté et, d'autre part, la courbe démographique nationale s'est redressée : il faudra donc produire de 15 à 20 p. 100 en plus pour rétablir l'équilibre (dans le Plan il est question de 25 p. 100). Est-ce réalisable ?

Parmi les conditions nécessaires figure le perfectionnement de l'enseignement et de l'information agricoles. Le rendement, chez nous, est trop inégal. Si, dans presque tous les domaines, l'Agriculture française détient de véritables records, le niveau général est peu satisfaisant comparé à celui de certains pays voisins.

Il y a aussi à perfectionner les « ateliers » de l'agriculture : améliorer la ferme, l'habitat, l'équipement général et poursuivre le remembrement méthodique des champs exagérément morcelés.

Il faut améliorer le milieu cultural en luttant contre l'excès d'humidité d'une part, l'excès d'acidité de l'autre.

Pratiquer aussi l'amélioration des transformateurs vivants (végétaux et animaux) par la Génétique et la sélection à l'instar de nos voisins suisses.

Il faut encore, bien entendu, que l'agriculture dispose du personnel suffisant. Or, si la population rurale a moins décliné en France qu'ailleurs par rapport à la population urbaine, il ne faut pas oublier que le déclin n'en a pas moins été très sensible, le chiffre global de la population restant stationnaire. Il faudrait donc éviter de lourdes erreurs, certaines imputables à l'industrie, tels les « pompages » attirant, au moyen de gros salaires, le personnel agricole sur des chantiers. Il faudrait aussi une politique combinant les migrations intérieures provenant de régions à excédent de population comme la Bretagne et l'immigration d'une main-d'œuvre agricole de valeur provenant de la Suisse ou de la Hollande par exemple.

Le Conférencier a attiré ensuite l'attention sur le problème de la balance entre ce que l'agriculture donne et ce qu'elle reçoit.

Il y a quelques années, d'une étude comparative tentée en commun avec des industriels, il paraissait ressortir que ce que le monde agricole recevait de l'industrie n'équivalait qu'au douzième environ de ce qu'il lui donnait. Or il est impossible d'accroître la production agricole sans renforcer

son équipement, et ce résultat ne pourra être atteint aussi longtemps que, comme c'est le cas cette année, un département agricole, dont la production peut être estimée à huit milliards de francs, ne se verra offrir que 17 machines quand il lui en faudrait des milliers.

Le Conférencier a particulièrement insisté sur la solidarité profonde de l'Agriculture et de l'Industrie. Il est désirable que les industriels comprennent qu'en comprimant artificiellement les prix agricoles, on prive le cultivateur de sa marge d'équipement. Au contraire la prospérité de l'agriculture ne serait pas seulement un bienfait pour l'économie nationale : l'élévation du niveau de vie des ruraux, à l'exemple de ce qui existe en Suisse, en Belgique et en Hollande, permettrait le développement d'un marché intérieur pour l'Industrie française, dont les possibilités pourraient être de deux cents milliards par an. Cet intérêt apparaîtra clairement si, se libérant de la maladie de l'abstraction, on sait voir le réel.

En terminant, M. Préaud a fait appel à la compréhension mutuelle et aussi au *goût d'oser* qui n'est pas moins nécessaire dans la France moderne que le sens de la mesure.

Conclusion de M. Louis PINEAU, président.

Mesdames, Messieurs,

Vos applaudissements montreront à Monsieur Préaud combien son exposé si plein d'expérience, de vues synthétiques, de clairs aperçus sur les chances et sur les besoins de notre Agriculture ont été appréciés par vous.

Tout d'abord je l'assurerai que cet auditoire, plus souvent appelé à entendre traiter ici les questions industrielles, est convaincu de la place de haut rang que doit détenir l'Agriculture dans l'équipement industriel de la France. Il n'en a pas toujours été ainsi d'ailleurs. On a pu constater qu'entre les deux guerres, les investissements consacrés à l'équipement et à la modernisation des techniques agricoles avaient été dérisoires à côté de ceux qui avaient été affectés dans le domaine industriel. Il convient, comme l'ont déjà fait les Anglais, que nous tirions l'enseignement de cette douloureuse leçon. Aussi bien, l'Amérique elle-même nous y invite-t-elle pressamment.

Mais nous sommes capables de trouver en nous-mêmes les raisons, puis la volonté de résoudre un problème qui figure au premier rang des impératifs nationaux. Le nouveau programme quadriennal élaboré par notre Ministre de l'Agriculture exige, non plus seulement que nous couvrions la totalité de nos besoins, mais que l'Agriculture apporte une contribution aussi nécessaire qu'importante à l'équilibre de notre balance des comptes, et cela dès le terme du plan Marshall. Il faut que nous dépassions très largement dans les secteurs de base une production d'avant-guerre, à quoi nous étions encore récemment défaillants de près de 30 p. 100.

Peut-on dire que les Pouvoirs Publics ont encore réalisé les données d'un tel problème, quand, sur 95 milliards débloqués depuis le début de l'année par l'Administration du Plan Marshall, 2,3 milliards, seulement ont été affectés directement à l'Agriculture? Il est vrai que, grâce à Dieu

l'Agriculture française n'est pas encore nationalisée. S'il faut néanmoins trouver par les ventes agricoles à l'extérieur l'équivalent de 560 millions de dollars, il faut en donner les moyens à l'Agriculture française.

Non pas, pour autant, que nous donnions aveuglement dans le dogmatisme tranchant des faiseurs de plans, que bien des événements, qu'ils sont les seuls à estimer fortuits, ne seraient-ce que la succession de deux récoltes catastrophiques, ou plus encore les conséquences inéluctables de l'instabilité monétaire, ont tôt fait de ramener à la raison.

L'Agriculture de nos pays ne s'accommoderait guère du gigantisme de l'Est ou de l'Ouest. Elle est le fruit d'une expérience séculaire, ce qui explique beaucoup de ses contradictions apparentes. Elle se décide lentement parce qu'elle pense à se décider sûrement : « Elle est surtout — dit M. Henry Girard — un atelier insuffisamment doté de

force motrice ». Donnez-la lui et elle l'accommodera elle-même au mieux.

Mais, surtout, la propriété paysanne, comme le proclamait hier au Congrès de Brugg la Confédération Européenne de l'Agriculture, est et demeure la base profonde d'une civilisation dont nous n'avons pas cessé de ressentir au fond de nous-mêmes la valeur et le prix et dont la France dans le Monde porte le drapeau.

Cette conviction, qu'une union harmonieuse entre l'Agriculture et l'Industrie peut nous aider à répandre, doit conduire tous les Français à une meilleure compréhension les uns des autres, à un sens plus exact de leur solidarité et, en définitive et par récompense, à la certitude d'un renouveau de la France par l'effort commun.

La Société d'Encouragement est reconnaissante à M. Préaud de lui avoir donné cette occasion nouvelle d'en exprimer sa conviction.

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 9 décembre 1948.

ALSTHOM, 38, avenue Kléber, Paris (xvi^e), présentée par M. Louis Pineau.

M. Louis ANGELVIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur général de la Société Noël Ernault, 2, rue de Tournon, Paris (vi^e), présenté par M. Louis Pineau.

M. Auguste BARIL, Ingénieur, Directeur général honoraire de la Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice, Président d'Honneur de l'Union internationale de l'Industrie du Gaz, 78, boulevard de Courcelles, Paris (xvii^e), présenté par M. Louis Pineau.

M. A. S. COLIN, Ingénieur des Arts et

Manufactures, Administrateur de Sociétés, 124, rue de Tocqueville, Paris (xvii^e), présenté par M. Louis Pineau.

SOCIÉTÉ ANONYME DE L'IMPRIMERIE OLLER, 9, rue Francis-de-Pressencé, Puteaux (Seine), présentée par M. Louis Pineau.

SOCIÉTÉ FRIMOTOR-NORGE, Constructeur de réfrigérateurs et congélateurs, 105, boulevard Haussmann, Paris (viii^e), présentée par M. Louis Pineau.

SOCIÉTÉ NOËL ERNAULT, Constructeur de machines-outils, 51, rue d'Anjou, Paris (viii^e), présentée par M. Louis Pineau.

SÉANCE PUBLIQUE DU 21 DÉCEMBRE 1948

Commémoration Lecomte du Noüy.

Allocution de M. Louis PINEAU, président.

Un Français, que ses ascendances semblent porter aux formes les plus diversément délicates de l'esprit, se voue un jour à la Science, s'attaque aux problèmes les plus complexes qu'elle pose aux chercheurs

en ce qu'ils touchent à la vie. Ce savant n'en peut espérer d'explication que dans l'unification des phénomènes, dans la synthèse des lois qui les régissent. Il se fait philosophe et couronne son œuvre par des livres dont

vous savez qu'ils ont causé dans tout le peuple américain, puis dans le monde entier, la sensation la plus profonde qu'ait peut-être provoquée ouvrage de cette sorte, apportant du même coup à l'intellectualité française un immense renouveau de prestige.

Or ce savant, Pierre Lecomte du Noüy, a été des nôtres. Il a occupé cette tribune et nous ne pouvions oublier cette séance du 3 mai 1941 où, dignement reçu par notre cher Vice-Président M. Portevin, il illustrait notre Fondation Carrion par une conférence inoubliable. Raisonnant — comme il disait — sur les raisonnements, il y tentait déjà, entre les trois sciences auxquelles il avait consacré ses travaux, — physique, chimie, biologie —, cet effort d'unification, de synthèse, où il allait s'élever jusqu'à la fin.

A la mémoire de ce grand Français disparu, la Société d'Encouragement devait un hommage solennel d'admiration et de gratitude. Nous avons fait appel, pour pro-

noncer son éloge, à l'organisateur même, le plus compétent, le plus actif, le plus dévoué, de nos Conférences Carrion. Je ne vous présenterai pas le docteur Tréfouël, Directeur de l'Institut Pasteur, qui a lui-même grandement honoré notre Fondation. Il est un des membres les plus éminents de notre Conseil. C'est lui à qui Pierre Lecomte du Noüy, partant pour l'Amérique en 1942, confiait la présidence de la Société Philomatique, l'une des premières Sociétés scientifiques françaises, la contemporaine et même l'ainée de quelques années de notre propre Société.

Mais le docteur Tréfouël fut surtout l'ami profondément attaché de Lecomte du Noüy; c'est le plus beau titre que nous pouvions invoquer pour le prier à cet exposé et c'est — j'en suis sûr — la raison la meilleure pour laquelle le docteur Tréfouël a bien voulu accepter. Je m'empresse de lui céder la parole.

Pierre Lecomte du Noüy,

par le professeur Jacques TRÉFOUËL,

Membre de l'Institut et de l'Académie Nationale de Médecine,
Directeur de l'Institut Pasteur.

Résumé de la Conférence.

Pierre Lecomte du Noüy traversa la vie en artiste, en philosophe, en scientifique.

Tandis qu'il est facile de retrouver la trace de ses dons de littéraire dans toutes ses ascendances, c'est à une vocation véritable que l'on doit son œuvre biophysique. Après avoir poursuivi ses études et publié ses premiers travaux en France, Lecomte du Noüy travailla de 1918 à 1927 à l'Institut Rockefeller de New-York. Il passa à l'Institut Pasteur de Paris les dix années suivantes au cours desquelles il amplifia ses travaux de physique biologique. On lui doit les lois mathématiques de la cicatrisation des plaies, l'étude approfondie des équilibres superficiels du sérum et des solutions colloïdales, celle de la température critique du sérum qui lui permit d'approfondir les mécanismes de l'immunité. Les appareils qu'il conçut et mit au point comptent parmi les plus universellement répandus.

Malgré cette intense activité scientifique, ou précisément à cause d'elle, Pierre Lecomte du Noüy s'intéressait de plus en plus passion-

nément au problème de la recherche du sens véritable de la Vie. Lorsqu'il en perçut la solution, il n'eut plus d'autre but que de faire bénéficier les hommes de la lumière qui l'avait ébloui. Ses livres, écrits pendant les dix dernières années de sa vie, représentent la plus précieuse contribution de philosophie scientifique qu'ait reçue l'humanité depuis longtemps.

L'évolution de la pensée de Lecomte du Noüy est inscrite dans ces trois livres : *L'Homme devant la Science*, *L'Avenir de l'Esprit*, et *La Dignité Humaine* écrit en 1943. On suit dans ces livres le chemin qu'a parcouru son esprit critique pour arriver à pouvoir affirmer que « l'Homme n'est pas le fruit du hasard. »

L'étude de l'évolution de la vie, depuis les âges les plus reculés, montre une continuité saisissante dans le perfectionnement : c'est tout d'abord la matière inerte, le règne purement minéral qui remonte à un milliard d'années; puis la vie végétative; enfin les progrès du développement de l'animal, qui

aboutissent à l'ébauche de l'Homme. C'est à 20.000 ans en arrière, à l'époque des derniers Cro-Magnons, que l'on doit remonter pour voir se manifester chez l'Homme « les gestes inutiles » c'est-à-dire ceux qui ne sont pas indispensables pour conserver la vie : Voici le premier progrès de l'esprit humain : l'Homme pense — copie — invente — apprend. — L'apparition du sens esthétique est la véritable origine de la pensée pure. A l'apparition de la parole articulée se relie l'avènement de la conscience : l'Homme acquiert une liberté refusée aux animaux, il ne doit plus obéir à la nature, il lui faut contrôler ses désirs qui étaient auparavant l'unique Loi, et l'on voit se dessiner la notion du Bien et du Mal. Le Bien, c'est ce qui contribue à l'évolution ascendante, ce qui nous détache de l'animal pour nous entraîner vers la Liberté. Le Bien, c'est le respect de la personnalité humaine. Le Respect de la personnalité humaine implique la reconnaissance de la Dignité de l'Homme en tant

qu'artisan de l'Évolution. Avec l'Homme pensant et conscient, ce n'est plus l'espèce qui progresse, c'est l'Individu; l'Homme ne représente pas le but final de l'Évolution, il est un stade intermédiaire entre le Passé qui l'apparente à l'animal, et l'avenir qui peut faire de lui l'image même de Dieu. Le progrès de l'esprit, de l'âme, a remplacé celui du corps. Ainsi chacun a sa part de responsabilité dans le déroulement futur de l'évolution humaine. Mais cette responsabilité ne peut se concrétiser en un effort constructif que si chaque Individu se rend compte du sens profond de sa Vie, s'il comprend la portée de ses efforts et de ses luttes, s'il garde sa Foi en la haute Destinée de l'Homme.

C'est ce message de Foi et d'Espérance, étayé par les arguments les plus rigoureusement scientifiques, que Lecomte du Noüy a légué aux hommes avec son dernier livre : *L'Homme et sa Destinée*.

Conclusion de M. Louis PINEAU, président.

J'exprime au docteur Tréfouël notre reconnaissance pour l'exposé passionnant, émouvant, qu'il vient de faire, de la vie, de l'œuvre, intimement mêlées, du Savant, du Philosophe, qui fut son ami. La Société d'Encouragement est heureuse d'en avoir été l'occasion.

Je rappelais tout à l'heure cette séance où Lecomte du Noüy parlait à cette même place où nous célébrons aujourd'hui sa mémoire. Il semble que cette date de 1941 ait marqué un tournant définitif dans cette vie, dans cette œuvre :

« Nous avons essayé — terminait l'orateur — de construire une Science. Nous sommes forcés d'admettre aujourd'hui que nous n'avons réussi jusqu'à présent qu'à

« en établir plusieurs et que nous ne savons pas comment les dériver l'une de l'autre ».

En 1941, s'étant posé les problèmes du temps et de la vie, de l'homme devant la science, de l'avenir et de l'esprit, il restait encore à Lecomte du Noüy à marcher vers ses propres certitudes, vers la lumière — a dit M. Tréfouël — la lumière qui l'a ébloui, et d'en faire part aux autres. *La Dignité humaine, l'Homme et sa Destinée*, ces livres ont achevé cette unité à quoi, si ardemment, aspirait Lecomte du Noüy.

Recueillons pieusement ce message d'un grand penseur français et joignons le tribut de notre admiration à l'hommage que le docteur Tréfouël lui a magnifiquement rendu.

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 21 décembre 1948.

M. AILLERET, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 34, rue des Vignes, Paris (xvi^e), présenté par M. Louis Pineau.

M. MAROIS, Directeur du Service commercial

L'Industrie nationale. — Janvier-Mars 1949.

de la S. N. C. F., 54, boulevard Haussmann, Paris (ix^e), présenté par M. Louis Pineau.

Souscriptions pour publications.

Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons.

Compagnie Parisienne de l'Air comprimé.

DIVERS**ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 23 DÉCEMBRE 1948**

L'Assemblée s'est réunie à 16 h. 30 sous la présidence de M. Louis PINEAU.

Le procès-verbal de l'Assemblée du 27 mai 1948 est approuvé.

**RATIFICATION DES NOMINATIONS
DE MEMBRES DU CONSEIL.**

Sont déclarés membres du Conseil d'Administration.

M. BELIN, M. BOREAU, M. PÉRARD, M. POMÉY, M. RIBAUD, (Arts physiques.) M. BEAU, M. MAROIS, M. RAMAS, (Arts économiques.) M. LECONTE, M. LODS, (Constructions et Beaux-Arts.)

RÉFORME DU RÉGLEMENT INTÉRIEUR.

L'Assemblée prend connaissance du rapport du Conseil d'Administration tendant à la réforme du Règlement Intérieur et du nouveau texte proposé.

Ce texte est adopté à l'unanimité.

L'Assemblée ratifie la décision par laquelle le Conseil a mis en application ce nouveau texte pour le vote par correspondance en vue de l'élection du Bureau.

ÉLECTION DU BUREAU POUR 1949.

Le quorum statutaire de 100 membres votants étant atteint, sont déclarés membres du Bureau :

M. PINEAU	: Président.
M. FIEUX	} Vice-Présidents.
M. DUBRISAY	
M. ROGER	
M. MILDÉ	
M. PÉRARD	} Secrétaires généraux.
M. ROLLEY	
M. JEAN	} Trésorier.
M. PETIT	
M. MATHERON	
M. OPPENHEIM	} Censeurs.

**FIXATION DU MONTANT
DE LA COTISATION POUR 1949.**

Conformément à la proposition du Conseil, l'Assemblée maintient le montant de la cotisation pour 1949 à 1.000 fr pour les particuliers (3.000 fr pour les Sociétés).

BIBLIOGRAPHIE

ATLAS MONDIAL ⁽¹⁾

par Jean DOLLFUS

Nous ne saurions trop recommander à nos lecteurs le petit « Atlas Mondial » de Jean Dollfus, ouvrage d'une conception tout à fait originale, préfacé par l'éminent géographe et membre de l'Institut, M. le professeur Emmanuel de Martonne, et dont la présentation, sous une forme commode et nouvelle, grâce à l'intelligente contribution des géographes-éditeurs : MM. Girard, Barrère et Thomas, en fait un précieux outil de travail pour tout homme cultivé s'intéressant aux problèmes économiques de notre planète.

Cet « Atlas » n'est en effet pas seulement un atlas, c'est à la fois une vivante histoire de tous les pays du globe, un dictionnaire géographique et un précis de physique et d'économie mondiales.

On y trouve aussi bien un raccourci saisissant sur la minéralisation de notre univers terrestre que des vues d'ensemble de la répartition des climats, des races et densités humaines, des religions et des productions.

La cartographie, particulièrement soignée, frappe à la fois par la densité des rensei-

gnements et la netteté de l'orographie et du relief. Les villes s'y détachent avec leurs contours réels et, au surplus, entre autres originalités, quelques pages sont consacrées à une présentation schématique des plans urbains des principales d'entre elles.

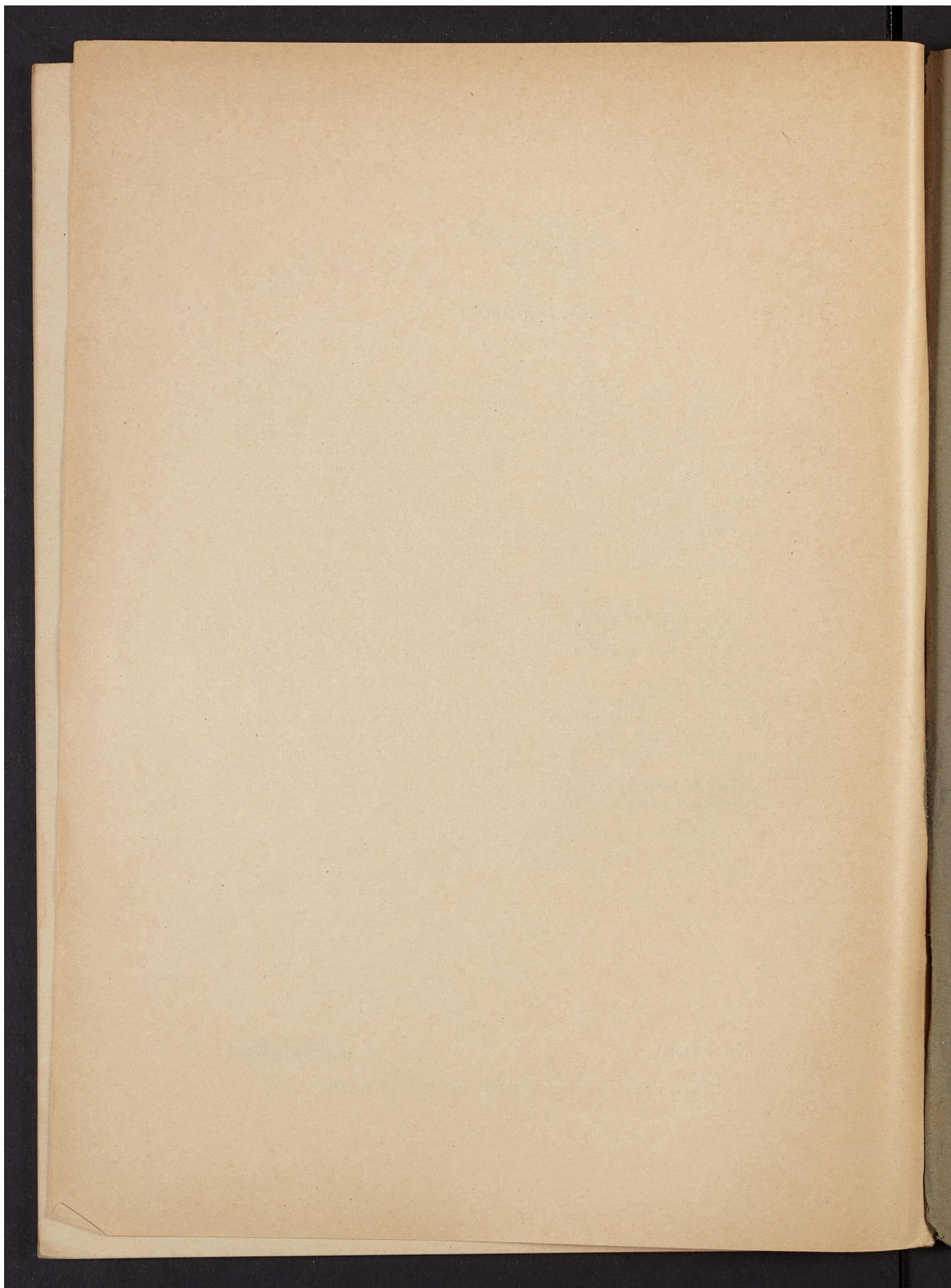
Il n'est pas exagéré d'estimer que sa « lecture » est attachante. C'est dire tout son intérêt, intérêt qui, au-delà de la valeur documentaire, saisit et captive l'esprit en piquant la curiosité.

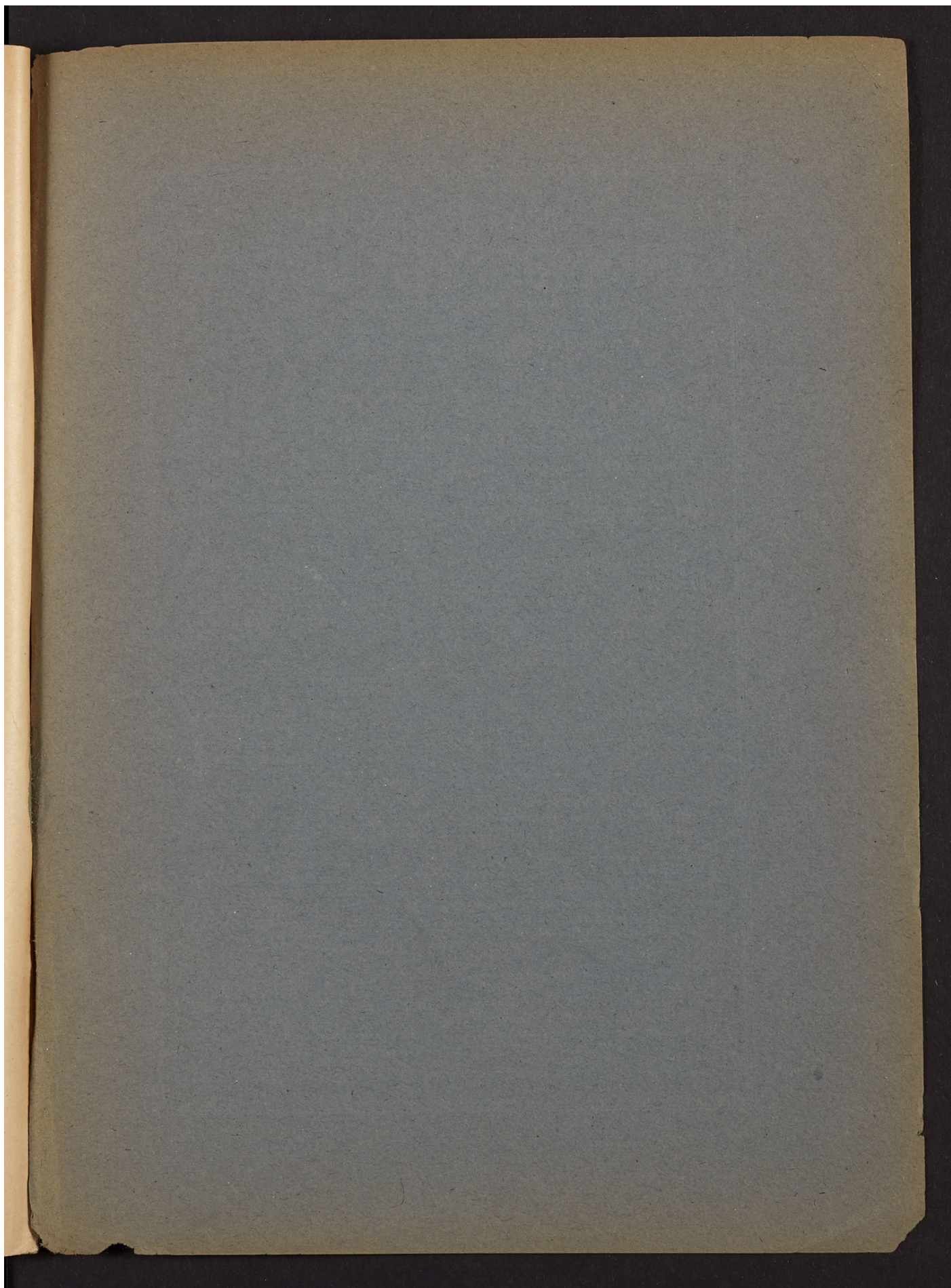
Si l'étudiant peut ainsi éprouver à cette lecture une sorte d'attraction d'explorateur, l'homme d'affaires, le touriste, l'aviateur ou l'écrivain — auxquels s'adresse surtout le créateur de l'ouvrage, étant donné le niveau et la qualité de la présentation — y trouveront une documentation moderne, claire et précise, adaptée au cadre de leurs préoccupations journalières.

Plus encore qu'un ouvrage de bibliothèque, cet Atlas sera pour eux un instrument de bureau d'études, presque un livre de chevet.

C. BEAU.

(1) 1 vol. relié 20 x 30, Girard, Barrère et Thomas, géographes-éditeurs, 1948.





COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON

Société Anonyme au Capital de 880 millions de Francs

SIÈGE SOCIAL : 173, Boulevard Haussmann, PARIS (8^e)

R. C. Seine 60.343 - Téléph. : Élysées 83-70 - Télégr. : Elihu-42-Paris

DÉPARTEMENT RADIO-ÉMISSION

RADIODIFFUSION - RADIOCOMMUNICATIONS
TÉLÉVISION - TUBES ÉLECTRONIQUES
HAUTE FRÉQUENCE INDUSTRIELLE

Serv. Comm. : 4, r. du Fossé Blanc, Gennevilliers (Seine)

Tél. : GRÉSILLONS 33-05

Télégr. : ELIHURATEL-GENNEVILLIERS

Usines : 4, rue du Fossé Blanc, Gennevilliers (Seine)
45, rue de la Concorde, Asnières (Seine)

DÉPARTEMENT RADIO-RÉCEPTION

RÉCEPTEURS DUCRETET-THOMSON
MACHINES PARLANTES - SONORISATION

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8^e)

Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00

Télégr. : THOMELEC-PARIS

Usine : 37, rue de Vouillé, Paris (15^e)

DÉPARTEMENT ÉLECTRO-MÉNAGER

CHAUFFAGE ET CUISINE DOMESTIQUES ET
PROFESSIONNELS - APPAREILS MÉNAGERS
APPAREILLAGE - TUBES ISOLATEURS

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8^e)

Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00

Télégr. : THOMELEC-PARIS

Usines à Lesquin-lez-Lille (Nord) et à Jarville (M.-et-M.)

DÉPARTEMENT FILS ET CABLES

FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES ISOLÉS

Serv. Comm. et Usine : 78, av. Simon-Bolivar, Paris (19^e)

Tél. : NORD 01-82 et 01-87

Télégr. : THOMSCABLE-PARIS

DÉPARTEMENT ÉLECTRO-MÉCANIQUE

MÉCANIQUE MOYENNE DE PRÉCISION
MATÉRIEL ÉLECTRIQUE - MICROFILM

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8^e)

Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00

Télégr. : THOMELEC-PARIS

Usine : 74, faubourg de Mouësse, Nevers (Nièvre)

LABORATOIRE DE

RECHERCHES EN HYPERFRÉQUENCES

RADAR EN ONDES CENTIMÉTRIQUES
RELAIS HERTZIENS

Serv. Comm. : 4, r. du Fossé Blanc, Gennevilliers (Seine)

Tél. : GRÉSILLONS 33-05

Télégr. : ELIHURATEL-GENNEVILLIERS

Laboratoire : 37, rue de Vouillé, Paris (15^e)

LABORATOIRE THOMSONCOLOR

DÉVELOPPEMENT ET TIRAGE DE FILMS
EN COULEURS

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8^e)

Tél. : ÉLYSÉES 83-70 - Télégr. : ELIHU-42-PARIS

Laboratoire : 160, Quai de Polangis, Joinville-le-Pont (S)

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE RADIOLOGIE

APPLICATIONS MÉDICALES et INDUSTRIELLES
DES RAYONS X - TUBES DE RADIOLOGIE
TUBES REDRESSEURS - POMPES À VIDE
APPLICATIONS INDUSTRIELLES DU VIDE

Siège Soc. et Serv. Comm. : 34, bld de Vaugirard, Paris (15^e)

Tél. : SUFFREN 50-04 - Télégr. : RAYONIXAR-PARIS

R. C. Seine 70.761

Usines : 51, rue Lacordaire, Paris (15^e)

53, rue Bokanowski, Asnières (Seine)

SOCIÉTÉ DES TRÉFILERIES, LAMINOIRS

ET FONDERIES DE CHAUNY

CONDUCTEURS en CUIVRE et en ALUMINIUM
LAMINÉS - FILS - CABLES

Siège Soc. et Serv. Comm. : 47, rue La Bruyère, Paris (9^e)

Tél. : TRINITÉ 97-10 - Télégr. : FINTREFIF-PARIS

R. C. Seine 139.585

Usine à Chauny (Aisne)

SOCIÉTÉ FRIGECO

RÉFRIGÉRATEURS ÉLECTRIQUES MÉNAGERS
ET COMMERCIAUX

Siège Soc. et Serv. Comm. : 38, av. Kléber, Paris (16^e)

Tél. : KLÉBER 75-70 - Télégr. : GÉCOFRI-PARIS

R. C. Seine 248.129 B

Usine : 85, rue du Général-Roguet, Clichy (Seine)