

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	
	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)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1965, n° 2 (avril-juin)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1965

Collation	1 vol. (26 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	42
Cote	INDNAT (71)
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.71

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*

*Publiés avec le concours
du Centre National de la Recherche Scientifique*

•

Revue trimestrielle
1965 - N° 2

• •

— La traction ferroviaire (2)

N° 2 - AVRIL-JUIN 1965

SOMMAIRE

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES.

LA TRACTION FERROVIAIRE MODERNE — RAISONS DE L'ÉVOLUTION

Les Locomotives à Turbines à Gaz, par M. P. CHAFFIOTTE .. p. 1

Réflexions sur un projet de locomotive à turbine à gaz,
par M.-R. LABBENS p. 13

Intervention de M. M. BARTHALON p. 24

COMPTE RENDU BIBLIOGRAPHIQUE p. 27

Publication sous la direction de M. Jean LECOMTE

Membre de l'Institut, Président, avec le concours du Secrétariat de la Société.

Les textes paraissant dans *L'Industrie Nationale* n'engagent pas la responsabilité de la Société d'Encouragement quant aux opinions exprimées par leurs auteurs.



Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale

fondée en 1801, reconnue d'utilité publique

44, rue de Rennes, PARIS, 6°. (LIT. 55-61)

Abonnement annuel : 28 F.

le n° : 7,50 F.

C.C.P. Paris, n° 618-48

LA TRACTION FERROVIAIRE MODERNE

RAISONS DE L'ÉVOLUTION

LES LOCOMOTIVES A TURBINES A GAZ, (1)

par M. PIERRE CHAFFIOTTE,
Directeur Technique à la Société Hispano-Suiza

et M. RENÉ LABBENS,
Ingénieur en Chef de la Mécanique
de la Société des Forges et Acières du Creusot.

(1) Conférences faites le 19 mars 1964 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

LA TRACTION FERROVIAIRE MODERNE TRAVAIL DE L'ÉVOLUTION

LA LOCOMOTIVE À TURBINES À GAZ

Par le Dr. G. L. LEBLANC
Docteur en Sciences et Ingénieur
à la Compagnie des Chemins de Fer
du Nord de la France

Paris, 1927. — Éditions de la Revue de l'Électricité et du Magnétisme.

1) *Les locomotives à turbines à gaz*

par M. PIERRE CHAFFIOTTE,

Directeur Technique à la Société Hispano-Suiza.

Si les turbines à gaz en étaient restées aux premières formes industrielles que leur donnèrent leurs promoteurs, elles auraient sans doute rejoint définitivement, dans les musées scientifiques, les machines à vapeur atmosphériques !

Non seulement, parce que, conçues par des turbiniers à vapeur en fonction de leurs habitudes, elles étaient lourdes et encombrantes, mais aussi parce que l'extravagance de leur consommation spécifique, comparée à celle du Diesel suralimenté, ainsi que leur prix, faisaient oublier les qualités fondamentales qui, déjà pointaient sous leurs formes massives : l'absence à peu près totale de vibrations, les besoins réduits en graissage et refroidissement, l'endurance, la simplicité de l'entretien.

Ce furent, avec les nécessités de la guerre, les applications aéronautiques qui jetèrent une lumière nouvelle dans leur aube incertaine. Tout commença lorsque, quelque part au-dessus d'une Allemagne écrasée sous les raids aériens, les lourds et lents bombardiers alliés se heurtèrent à un essaim de chasseurs à réaction. Le résultat fut effroyable pour les assaillants. On sait maintenant que le maître du III^e Reich voulut derechef faire muer ces pur-sang taillés pour la course en lourds chevaux de charge, qui devaient porter au cœur des cités alliées les représailles dont l'idée l'obsédait. Or, rien n'était moins bien fait pour propulser les bombardiers lents de l'époque que les réacteurs des Messerschmitt. Le calcul n'était cependant, pas totalement faux, l'avenir immédiat allait le prouver. Il venait simplement trop tôt. La tur-

bine avait donné à la propulsion aérienne un tel élan, qu'il fallait laisser les cellules reprendre leur souffle et s'adapter aux caractéristiques révolutionnaires des nouveaux moteurs.

Les Anglais, du reste, n'avaient été gagnés que d'assez peu de vitesse. Dès 1942, des turboréacteurs tournaient au banc d'essai et on adaptait à la hâte sur des cellules Gloster, à raison de deux unités, une machine étonnante de simplicité : le Derwent de Rolls-Royce. Il comportait une seule roue de compresseur centrifuge et une simple roue de turbine axiale, séparées par un système de combustion et reliées par un arbre. Les appareils furent prêts à temps pour être engagés contre les V-1, et ceux qui eurent la bonne fortune, dans l'immédiat après-guerre, d'assister à des démonstrations du Gloster « Météor », comprirent — le premier moment de stupeur passé — qu'un mode de propulsion, ne rappelant en rien tout ce qui avait précédé, venait d'entrer en scène.

Très rapidement, le turboréacteur de cette première génération devint le propulseur exclusif de l'avion de chasse et d'interception. Mais on n'imaginait guère qu'avec le rendement thermique très médiocre qui découlait d'un rapport de pression de l'ordre de 4, il puisse être appelé à la propulsion d'avions lourds, lesquels, alors trop lents utilisaient avec un rendement propulsif médiocre, des moteurs puissants et légers, mais voraces. Le jet de gaz, en effet, s'échappait à une vitesse absolue d'autant plus grande que l'avion était lent, et dissipait en tourbillons inutiles son énergie cinétique restante.

Des visionnaires, ou peut-être tout simplement des obsédés de la nouveauté, s'obstinèrent cependant à monter des turboréacteurs sur des cellules lourdes, mais en essayant au moins de les prévoir rapides, afin de réduire les pertes propulsives : ce fut le Comet, propulsé par des turbines de Havilland « Ghost ». A peu près dans le même temps, l'énergie cinétique du jet était captée mécaniquement par une turbine supplémentaire, à laquelle on attelait une hélice. On baptisa ces moteurs turbopropulseurs, titre qui eût, du reste, aussi bien convenu au « turboréacteur », et on se mit en devoir d'en monter quatre sur une cellule de transport, le « Viscount ». Avec ses 1 200 ch unitaires, sa consommation de plus de 300 g/ch/h, la turbine Dart faisait piètre figure devant les moteurs à pistons alors à l'apogée de leur carrière : le Wright « Turbocyclone » à injection directe d'essence et turbines d'échappement, alignait en effet 3 300 ch avec une consommation en croisière inférieure à 200 g/ch.h. Pour louable que soit la tentative des ingénieurs anglais, elle ne semblait guère devoir dépasser le stade de l'expérimentation. L'avion est, avec 375 unités vendues, le plus grand succès commercial d'après-guerre, la Caravelle franchissant péniblement le cap des 200, de même que les Boeing 707.

Quant au Comet, malgré des accidents tragiques qui l'eussent fait irrémédiablement condamner dans notre pays s'il avait été français, bénéficiant de l'entêtement et de la confiance en eux-mêmes des Britanniques, il se développa peu à peu et fournit des enseignements d'autant plus précieux qu'ils avaient été chèrement acquis.

Sous l'une ou l'autre forme, avec ou sans hélice, la turbine s'imposait à l'aviation. Constamment perfectionnée, disposant pour son développement de laboratoires aérodynamiques gigantesques, bénéficiant de la progression incessante de la technologie des alliages réfractaires, elle allait devenir ce que nous en savons maintenant : de 1,1 kg

de combustible par kilog de poussée et par heure, il y a 15 ans, la consommation spécifique des turboréacteurs est descendue dans le cas des machines à double flux, à 0,065 kg par newton et par heure, (soit en vieux français 0,65 kg par kg de poussée et par heure). Le « Tyne », le plus moderne des turbopropulseurs peut développer en vol près de 4 500 kW (6 000 ch) avec une consommation de moteur Diesel, soit 0,07 g/kJ (180 g/ch.h), tandis que sa masse n'est que de 1 000 kg environ.

Il faut être bien persuadé que l'effort technique et financier colossal qui a conduit à ces résultats ne fut entrepris que lorsque — ayant préalablement consenti à monter sur des cellules des machines encore imparfaites, mais redessinées, débarrassées de leur pesante carapace industrielle, en un mot repensées pour leur emploi nouveau — on se fut mis en position de découvrir leurs qualités intrinsèques, qui devaient donner au transport aérien, en moins de dix ans, une dimension nouvelle.

Après avoir pratiquement balayé du ciel les machines alternatives, la turbine s'attaque à l'automobile de grande diffusion.

POURQUOI PAS A LA LOCOMOTIVE ?

Il n'eût même pas été concevable de mettre sur un avion des turbines industrielles. Il l'est à peine plus de vouloir les monter sur des bogies. Sans doute les Américains de l'Union Pacific Rail Road l'ont-ils fait, mais les données de la traction ferroviaire aux Etats-Unis sont très différentes des données européennes. A l'inverse, il est tentant de monter une turbine aéronautique sur une locomotive ; par exemple, le « Tyne » avec ses 1 000 kg, réducteur compris, au besoin détaré à 4 500 ch ou même 4 000 ch, semble, *à priori*, un propulseur universel idéal. Il suffit de considérer son chemin avec l'optique particulière aux chemins de fer pour comprendre qu'il ne résisterait pas longtemps à l'agressivité du rail. Au surplus, les nécessités de l'insonorisation et de la filtration de l'air auraient vite fait de

diluer sa puissance massique, à supposer qu'elle ne fut pas déjà fortement obérée par le poids de la génératrice dont la vitesse ne dépasserait guère 1 000 tr/mn, sauf à refaire complètement le réducteur.

Entre ces deux pôles extrêmes, la machine industrielle et le turbopropulseur d'aviation moderne, il doit y avoir, pour la traction ferroviaire, une solution spécifique de turbine : c'est elle que nous allons essayer de dégager.

légèreté relative. Dérivée, dans une bonne mesure, d'un turboréacteur, elle en a conservé son aptitude à prendre quasi instantanément la charge. Elle pourrait, sans aucun doute, être montée sur une locomotive. Du moins l'a-t-on imaginé il y a quelques années ; si on y a renoncé, c'est pour les raisons que nous allons développer maintenant.

Cette machine comporte essentiellement un générateur de gaz, constitué lui-même d'un compresseur mixte axial-centrifuge, d'un système de combustion

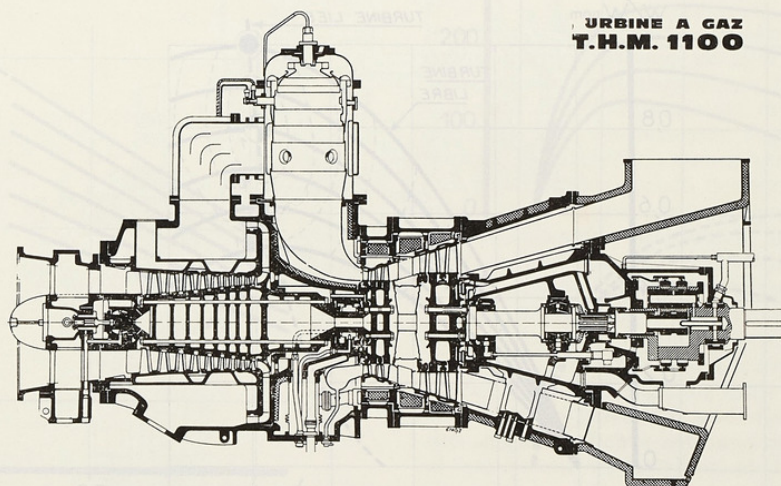


Fig. 1

La fig. 1 représente la coupe d'une turbine française de 3 300 kW conçue pour être transportée par fer ou sur camion vers les champs de pétrole du Sahara auxquels elle était destinée à l'origine. Elle allie à la robustesse et la facilité d'entretien des turbines industrielles classiques certaines des qualités des machines aéronautiques : compacité,

à 2 chambres séparées, d'une turbine HP à 2 étages et d'une turbine de travail à 2 étages, ou turbine libre (dans un turboréacteur la turbine de travail est remplacée par une tuyère d'éjection). La turbine de travail pourrait être, d'ailleurs, calée sur le même arbre (turbine liée). Les courbes caractéristiques

de cette famille de machines sont représentées par la fig. 2.

On y voit que l'indépendance mécanique de la turbine de travail vis-à-vis du générateur de gaz est un facteur de souplesse, qui apparaît encore mieux sur la fig. 3, donnant le couple rapporté au couple nominal en fonction de la vitesse de rotation rapportée à la vitesse nominale : le couple à vitesse

800° C, soit 1 073° K, et les courbes montrent que le meilleur compromis entre la puissance spécifique et le rendement est obtenu pour un rapport de pression de 6 à 7. C'est là, précisément, qu'apparaît la faiblesse de la turbine à gaz classique : avec un rendement de 22 % et une consommation spécifique de l'ordre de 0,122 g/kJ (320 g/ch.h) elle fait piètre figure devant les 0,066 g/kJ

TURBINE A GAZ DE TRACTION

COURBES CARACTERISTIQUES

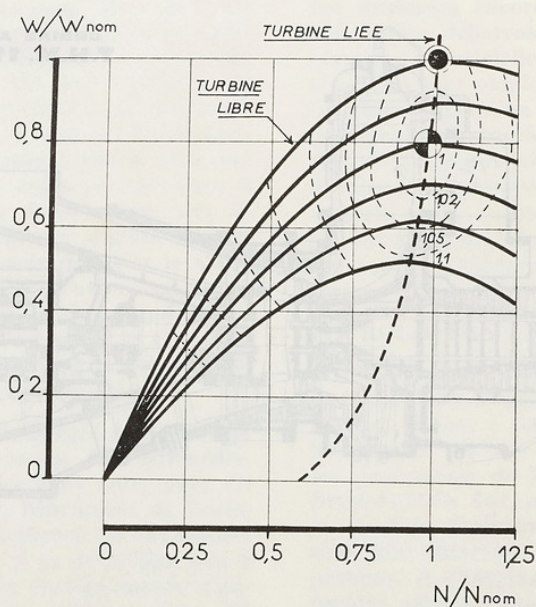


FIG. 2

nulle de la turbine à gaz à turbine de travail séparée est sensiblement le double du couple nominal.

Dans une turbine à gaz le rendement et la puissance spécifique sont liés au taux de compression et à la température d'admission au premier étage de détente par les courbes de la fig. 4. La turbine de la fig. 1, comme toutes les turbines industrielles, fonctionne environ à

(175 g/ch.h) du Diesel suralimenté moderne. De même, elle nécessite à puissance égale beaucoup plus d'air puisque l'unité de débit massique d'air, 1 kg/s, ne produit que 130 kW dans la turbine au lieu de 500 à 600 kW dans le Diesel suralimenté. Il est vrai que l'on doit ajouter au débit de comburant du Diesel ses besoins en fluide de refroidissement qui sont tels que, sur une locomotive,

la puissance spécifique du Diesel rapportée au débit d'air total ne dépasse guère 80 kW/kg/s.

Si la turbine se contente d'une filtration d'air plus grossière que le Diesel, en revanche son insonorisation est plus difficile à cause de l'intensité du bruit émis et de la nature du spectre sonore très étalé aussi bien vers les aigus que

vers les graves. Comme les débits d'air qui doivent être pris en considération pour la filtration et l'insonorisation sont ceux qui traversent effectivement le moteur lui-même, la faible puissance spécifique de la turbine constitue une difficulté capitale de son installation sur une locomotive, où la place et le poids sont mesurés.

TURBINE A GAZ DE TRACTION

COURBES CARACTERISTIQUES

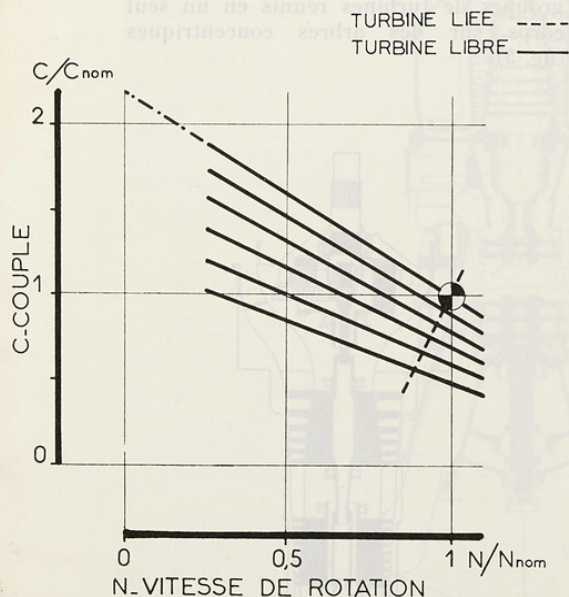


FIG 3

vers les graves. Comme les débits d'air qui doivent être pris en considération pour la filtration et l'insonorisation sont ceux qui traversent effectivement le moteur lui-même, la faible puissance spécifique de la turbine constitue une difficulté capitale de son installation sur une locomotive, où la place et le poids sont mesurés.

En outre, la facilité relative que possèdent les turbines industrielles de brû-

TURBINE DE TRACTION

COURBES CARACTERISTIQUES

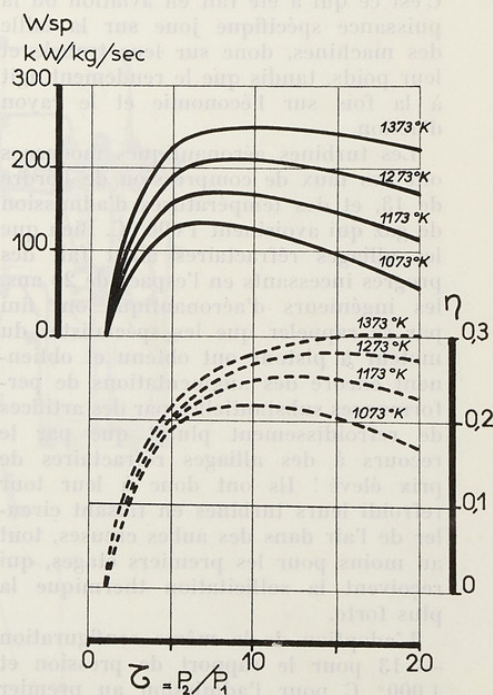


FIG 4

à quelques fractions de %, qui ne coûte que 0,12 F/kg env. départ raffinerie, alors que le gasoil de la qualité consommée par les Diesels poussés coûte détaxé S.N.C.F., de l'ordre de 0,20 F/kg. Le rapport de prix correspond sensiblement à celui des consommations spécifiques. Mais la consommation intervient aussi dans le bilan de poids ou l'autonomie. De plus, le fuel 2 nécessite un réchauffage jusque vers 120 ou 130°, obtenu au

prix d'une complication technologique. (L'emploi d'un récupérateur poserait des problèmes dont on entrevoit mal la solution sur une locomotive).

**

Les courbes de la fig. 4 montrent que, pour améliorer les positions de la turbine au double point de vue de la quantité d'air consommée et du rendement, il faut augmenter corrélativement le taux de compression et la température. C'est ce qui a été fait en aviation où la puissance spécifique joue sur la taille des machines, donc sur leur traînée et leur poids, tandis que le rendement agit à la fois sur l'économie et le rayon d'action.

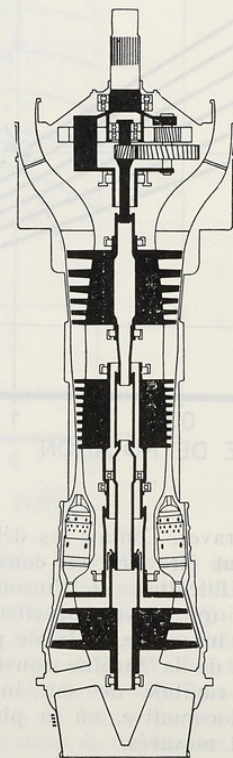
Les turbines aéronautiques modernes ont des taux de compression de l'ordre de 13, et des températures d'admission de gaz qui avoisinent 1 000° C. Bien que les alliages réfractaires aient fait des progrès incessants en l'espace de 20 ans, les ingénieurs d'aéronautique ont fini par se rappeler que les spécialistes du moteur à pistons ont obtenu et obtiennent encore des augmentations de performances substantielles par des artifices de refroidissement plutôt que par le recours à des alliages réfractaires de prix élevé ! Ils ont donc à leur tour refroidi leurs turbines en faisant circuler de l'air dans des aubes creuses, tout au moins pour les premiers étages, qui reçoivent la sollicitation thermique la plus forte.

L'adoption de la même configuration — 13 pour le rapport de pression et 1 000° C pour l'admission au premier étage de turbine — améliore de façon spectaculaire les positions de la turbine à gaz pour la traction ferroviaire, puisque la puissance spécifique passe de 130 à 210 kW par kg/s d'air pendant que le rendement s'accroît de 22 à 28 %.

MAIS A QUEL PRIX ?

Si, dans un moteur alternatif, le relèvement du taux de compression s'obtient

par des moyens géométriques simples il n'en va pas de même dans les turbines où il faut augmenter le nombre d'étages de compression et de détente, et se résigner à un bouleversement complet de l'architecture des machines, aussi bien qu'aux difficultés liées à l'influence exercée sur le démarrage et les reprises par des masses tournantes d'inertie accrue. Pour fractionner l'inertie, en même temps que dans le but de réduire sensiblement le nombre d'étages, les turbines aéronautiques à taux de compression élevé sont généralement du type *Compound*, c'est-à-dire qu'elles possèdent deux compresseurs et deux groupes de turbines réunis en un seul corps sur des arbres concentriques (fig. 5).



Les avantages de cette disposition se paient d'une complexité extrême et d'une accessibilité médiocre des différents organes. Aussi pourrait-on s'en dispenser pour les machines de traction, si le fractionnement du travail de compression, en permettant aux compresseurs de fonctionner au mieux de leurs adaptations respectives, n'apportait une amélioration sensible du rendement aux charges partielles.

la fig. 6 où apparaît, au-dessus de la turbine de base, un groupe haute pression qui n'est pas sans analogie avec un turbo-compresseur de suralimentation de moteur Diesel.

Le compresseur basse pression, qui produit un taux de six environ, refoule dans le compresseur centrifuge du corps haute pression dont le rapport est un peu supérieur à deux. L'air est ensuite

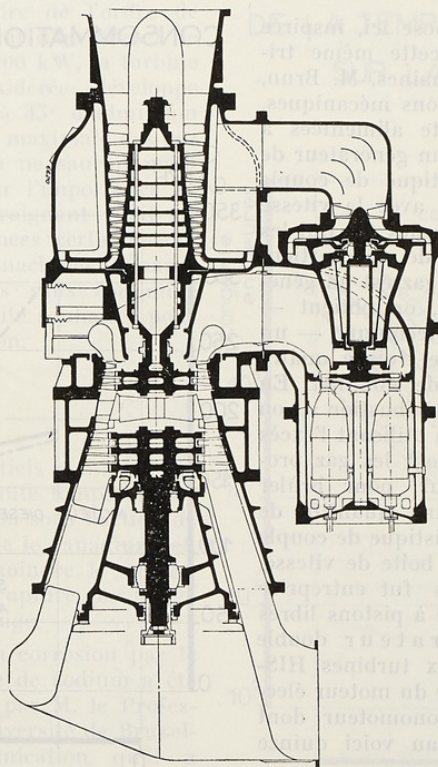


Fig. 6

Or, on sait, et M. Tourneur l'a publié récemment dans un tableau très documenté, que le coefficient d'utilisation des moteurs ferroviaires est assez bas, de sorte que leur consommation spécifique à demi-charge, ou même au tiers de leur charge, doit être attentivement considérée : c'est ce facteur qui milite en faveur de l'adoption d'un compresseur Compound, et conduit assez naturellement à

conduit au système de combustion qui comporte quatre petits tubes à flamme dans la même enveloppe. Après la combustion, les gaz abandonnent dans une première turbine, dite HP, l'énergie nécessaire à l'entraînement du compresseur centrifuge HP. Ils sont ensuite dirigés vers la turbine basse pression, où ils fournissent l'énergie d'entraînement du compresseur basse pression.

Ils traversent, enfin, la turbine de travail, laquelle, dans le cas particulier, comporte trois étages afin de trouver, avec l'alternateur, un compromis de vitesse qui dispense de l'emploi d'un réducteur.

Ce compromis est de 6 000 tr/mn, et procure, outre l'allègement obtenu par la suppression du réducteur, un gain de poids substantiel sur le seul générateur électrique.

Une parenthèse s'impose ici, inspirée par l'exposé que fit à cette même tribune, il y a quatre semaines, M. Brun, à propos des transmissions mécaniques. Les turbines de détente alimentées à pression constante par un générateur de gaz ont une caractéristique de couple d'autant plus tombante avec la vitesse que la chute de pression des gaz qui les traversent est plus grande. En particulier, si le générateur de gaz est un générateur à pistons libres, on obtient — dans l'état actuel de sa technique — un couple au démarrage de trois à quatre fois supérieur au couple nominal. En effectuant une « post-combustion », ou réchauffe, c'est-à-dire en utilisant l'excès d'oxygène que contiennent les gaz produits par le générateur, pour brûler à nouveau une certaine quantité de combustible, la caractéristique de couple obtenue dispense d'une boîte de vitesse. Il y a quelques années fut entreprise l'étude d'une locomotive à pistons libres comportant un générateur double SIGMA alimentant deux turbines HISPANO occupant la place du moteur électrique sur le bogie monomoteur dont nous a parlé M. Boileau voici quinze jours.

Cette solution se conçoit mal avec les turbines à gaz dont la caractéristique de couple ne présente pas la pente nécessaire et où la valeur de la puissance spécifique obligerait à véhiculer des volumes importants de gaz, au prix de pertes de charges considérables.

Il n'est pas exclu que les progrès récents accomplis en aéronautique sur les transmissions mécaniques légères puissent modifier prochainement les

données du problème, mais il a paru judicieux pour les débuts de la turbine à gaz en propulsion ferroviaire d'utiliser la technologie bien établie des locomotives électriques alimentées en courant alternatif.

On a vu que, dans la mesure où les électriciens avaient pu faire un bout de

CONSOMMATIONS COMPAREES

$P_{ci} \approx 10\ 300\ \text{kcal/kg}$

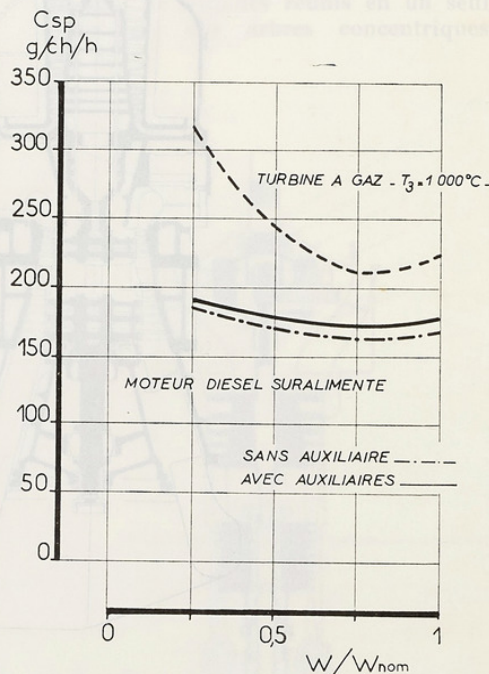


FIG 7

chemin au-devant des turbiniers, une solution particulièrement séduisante d'entraînement direct de l'alternateur rapide avait pu être trouvée.

La fig. 7 compare la courbe de consommation de la turbine de traction à trois

arbres à celle d'un moteur Diesel suralimenté moderne. Si celle de la turbine remonte plus à charge partielle, elle reste cependant convenable et l'écart avec le Diesel peut être largement compensé par la possibilité de brûler dans la turbine des combustibles représentant un compromis acceptable entre l'économie et les sujétions du réchauffage.

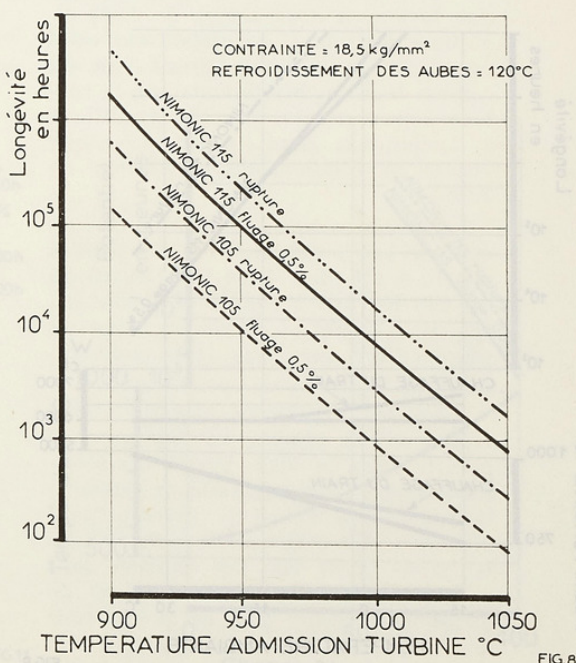
En définitive, avec un débit total d'air de 25 kg/s, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur du débit total d'un Diesel de traction de 2 000 à 2 200 kW, la turbine à trois arbres considérée développe 4 500 kW (6 000 ch) à 35° d'admission pour une température maximale des gaz de 1 000° environ. On ne saurait manquer d'être frappé par l'importance de ce dernier chiffre, craignant qu'il ne conduise à des durées certes encore admissibles pour des machines aéronautiques poussées, mais sans commune mesure avec la longévité souhaitée pour des groupes de traction.

Deux dangers essentiels menacent les aubes de turbine à haute température : la rupture par corrosion sous l'action de certains agents tels que le vanadium, et, à un degré beaucoup moindre, le soufre ; l'allongement, puis la rupture, par fluage sous la charge centrifuge.

Le mécanisme de la corrosion par le vanadium en présence de sodium a été brillamment démontré par M. le Professeur Jaumotte de l'Université de Bruxelles dans la communication qu'il a présentée au Congrès International des Machines à Combustion de Copenhague en 1962. En attirant l'attention sur ce mode de destruction insidieux et redoutable, M. Jaumotte a attisé l'émulation entre les chercheurs de moyens de protection des aubes et les raffineurs. Sans pour cela décourager les premiers, ces derniers peuvent maintenant livrer des fuels traités pour un supplément de prix modique, mais en quantités pour l'heure limitées.

Dans la mesure où, en dehors de toute action corrosive, la longévité des turbines est liée au fluage des aubes, ce qui est le cas en pratique, elle s'accroît dans des proportions incroyables dès que l'utilisation de la machine s'écarte des conditions maximales.

INFLUENCE DE LA TEMPERATURE ADMISSION SUR LA LONGEVITE



La fig. 8 traduit le comportement des alliages dans lesquels sont faites les aubes de turbines en fonction de la température des gaz. Les courbes ont été établies dans l'hypothèse d'un refroidissement par circulation d'air à travers l'aube creuse qui abaisse de 120° la

température du métal. Il apparaît qu'un écart de 50° de la température des gaz fait intervenir un facteur 10 dans la longévité des aubes ! Or, les turbines sont particulièrement sensibles à l'évolution de la température de l'air à l'entrée, comme le représentent les courbes de la fig. 9, d'où l'on peut tirer, accessoirement, des conclusions heureuses quant

les hypothèses de calcul fixant à 35° la température de l'air d'admission sont passablement optimistes, en particulier pour l'Europe occidentale, comme le montre la fig. 10 établie d'après les données du n° 45 du *Mémorial de la Météorologie Nationale* consacré à la climatologie de Paris et de la région parisienne.

INFLUENCE DE LA TEMPERATURE AMBIANTE SUR LA LONGEVITE

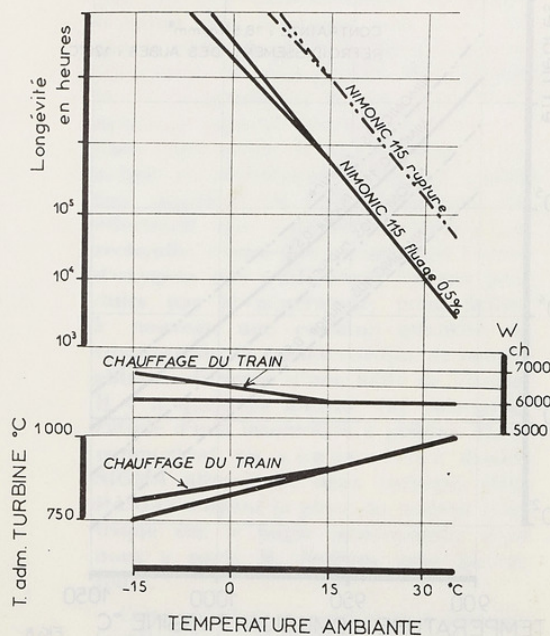


FIG.9

à l'aptitude de la locomotive à turbine à chauffer une rame.

Mais, tandis qu'en aéronautique les conditions ambiantes qui se manifestent en altitude varient peu en fonction de la saison, il est bien évident qu'il en va tout différemment au sol. A cet égard,

EVOLUTION JOURNALIERE DE LA TEMPERATURE A PARIS

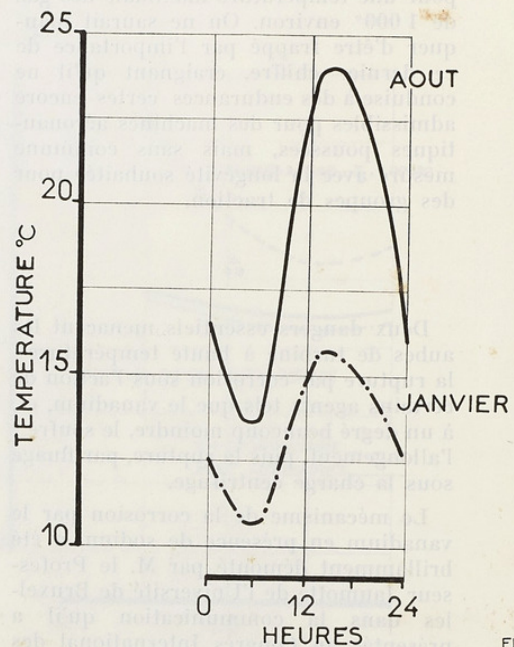


FIG.10

La fig. 11, utilisant ces données, illustre l'évolution de la longévité pour différentes nuances d'alliages d'aubes de turbines, et différents critères de vieillissement, en supposant que la turbine fonctionne 24 heures sur 24, tout au long de l'année à sa puissance maximale de 4 500 kW (6 000 ch).

Selon ces hypothèses, un fluage de 0,5 % d'une turbine en Nimonic 115 n'est atteint qu'après 37 000 h de fonctionnement à la charge maximale de 6 000 ch. La rupture ne se produirait qu'à 117 000 heures, soit en treize ans et demi environ !

En fait, comme tout moteur de traction, les turbines fonctionnent le plus souvent à charge partielle. Si la consommation spécifique en pàtit, la

rir à propos de la réalité de ces chiffres étonnants, mais établis à partir d'une multitude de données expérimentales, ils contribuent à expliquer l'endurance des turbines à gaz, et font penser raisonnablement que les conditions de la traction ferroviaire leur seraient singulièrement favorables.

Au surplus, l'architecture de la turbine à trois arbres proposée, en concentrant les parties chaudes dans une unité

ÉVOLUTION ANNUELLE DE LA LONGEVITE

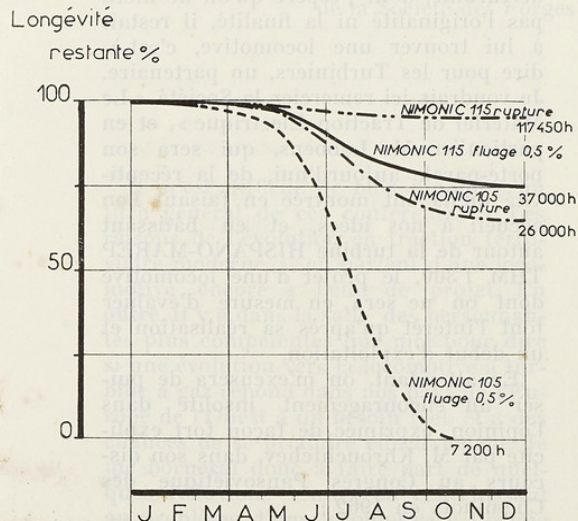


FIG.11

longévité y trouve grandement son compte, comme l'illustre la fig. 12, dont le dessinateur a héroïquement résisté au vertige de l'échelle logarithmique au-dessous de 80 % de la charge maximale !

Malgré les doutes que l'on peut nour-

INFLUENCE DE LA CHARGE SUR LA LONGEVITE

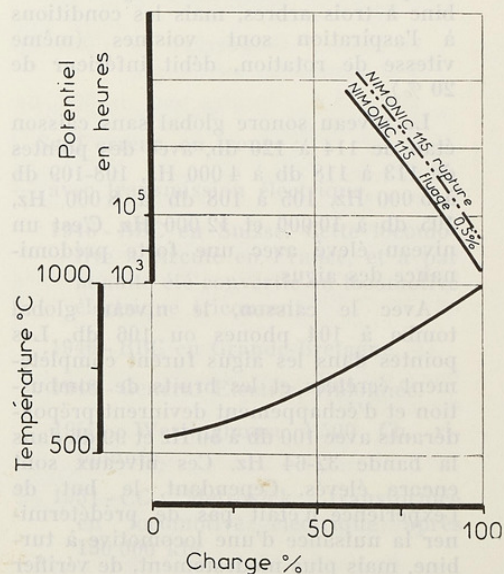


FIG.12

haute pression séparée, de dimensions réduites et très accessible, rend les opérations d'entretien courant à bord particulièrement aisées, le corps principal de turbine plus lourd et plus encombrant bénéficiant, lui, d'une longévité qui est au moins celle des turbines

industrielles classiques, utilisées à charge partielle, soit plusieurs dizaines de milliers d'heures sans révision.

Il conviendrait enfin, pour achever la revue des aptitudes de telles machines à la traction ferroviaire, de s'étendre quelque peu sur le problème du bruit. Il justifierait à lui seul un développement qui sortirait largement du cadre de cet exposé. A défaut de données expérimentales relevées sur une locomotive qui n'existe pas encore, un caisson d'aspiration susceptible d'être installé sur une locomotive a été placé devant une turbine à deux arbres de 3 300 ch au banc d'essais. Il est certain que cette façon de procéder ne prend pas en compte tous les bruits émis par la turbine à trois arbres, mais les conditions à l'aspiration sont voisines (même vitesse de rotation, débit inférieur de 20 %).

Le niveau sonore global sans caisson était de 114 à 120 db, avec des pointes de 113 à 118 db à 4 000 Hz, 108-109 db à 5 000 Hz, 105 à 108 db à 8 000 Hz, 105 db à 10 000 et 12 000 Hz. C'est un niveau élevé avec une forte prédominance des aigus.

Avec le caisson, le niveau global tomba à 104 phones ou 106 db. Les pointes dans les aigus furent complètement écrêtées et les bruits de combustion et d'échappement devinrent prépondérants avec 100 db à 50 Hz et 99 db dans la bande 32-64 Hz. Ces niveaux sont encore élevés. Cependant, le but de l'expérience n'était pas de prédéterminer la nuisance d'une locomotive à turbine, mais plus modestement, de vérifier qu'avec un caisson d'un encombrement

raisonnable, il est possible d'atténuer le très désagréable sifflement des turbines. Non seulement on y est arrivé du premier coup, mais le bruit a été ramené à un niveau et un spectre très comparables à ceux d'un moteur Diesel suralimenté de 3 000 ch.

Avec cette première action bénéfique se cumulerait bien entendu celle des filtres à air, qui est notable, les effets d'une insonorisation, même rudimentaire à l'échappement, enfin l'influence des parois mêmes de la locomotive.

Ayant ainsi, par un long cheminement dont j'ai tenté à l'instant de résumer le profil, abouti à une conception de turbine, dont j'espère qu'on ne niera pas l'originalité ni la finalité, il restait à lui trouver une locomotive, c'est-à-dire pour les Turbiniers, un partenaire. Je voudrais ici remercier la Société « Le Matériel de Traction Electrique », et en particulier M. Labbens, qui sera son porte-parole aujourd'hui, de la réceptivité qu'ils ont montrée en faisant bon accueil à nos idées, et en bâtissant autour de la turbine HISPANO-MAREP THM 1 300, le projet d'une locomotive dont on ne sera en mesure d'évaluer tout l'intérêt qu'après sa réalisation et un début d'exploitation.

En attendant, on m'excusera de puiser un encouragement insolite dans l'opinion, exprimée de façon fort explicite par M. Khrouchtchev, dans son discours au Congrès Pansoviétique des Cheminots en 1962 :

« La turbine à gaz, en tant qu'élément du transport a, de toute évidence, un brillant avenir. Aussi convient-il de stimuler sans cesse la création de locomotives l'utilisant... ».

2) *Réflexions sur un projet de locomotive à turbine à gaz*

par M. RENÉ LABBENS,

Ingénieur en Chef de la Mécanique
de la Société des Forges et Aciéries du Creusot.

Il m'est difficile de bien répondre au titre général de ces conférences « Les raisons de l'évolution en traction ferroviaire moderne », en parlant d'une locomotive encore à l'état de projet. En outre, il y a dans la salle des personnalités plus compétentes que moi pour dire si une évolution vers la locomotive à turbine à gaz répond dans nos pays de l'Europe de l'Ouest à un besoin réel et a des chances de se produire effectivement. Je me bornerai donc à faire part de quelques réflexions venues en réfléchissant au problème d'une locomotive à turbine à gaz destinée à l'Europe de l'Ouest, pendant l'élaboration d'un projet qui a été remis à la S.N.C.F., sans avoir la prétention de faire un exposé complet.

I. — PROTOTYPES ET PROJETS ANTERIEURS.

Je me permettrai de rappeler quelques projets et réalisations des dernières quinze à vingt années.

Sauf erreur, on trouve :

- avec transmission électrique,
 - 1946 - BBC en Suisse. Cette locomotive a circulé en France, et a par la suite été convertie en locomotive électrique trécourant.
 - 1946 - BBC en Grande-Bretagne.
 - 1948 - General Electric, riblonnée.
 - 1950 - Westinghouse 4.500 Ch, riblonnée.
 - 1951 - CC Metrovick transformée en locomotive électrique après 150 000 km.
 - Projets de turbines à charbon aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.
 - 48 locomotives General Electric pour Union Pacific Railroad :
 - 25 de 4.500 hp entre 1952 et 1954,
 - 23 de 8.500 hp après 1958.

1957-58 - U.R.S.S., deux doubles CC :

- turbine classique ($2 \times 3\,250$ Ch),
- piston libre ($2 \times 3\,750$ Ch),

1963 - U.S.A. - General Electric -
Projet de turbine à charbon sur
un châssis de locomotive électri-
que BDDB. Projet de locomotive à
turbine de 18 500 Ch pour l'Union
Pacific Railroad.

- avec transmission mécanique,
Trois locomotives CAFL - Renault -
Sigma de 1 000 et 2 400 Ch pour la
S.N.C.F. ;
CC tchèque de 3 200 Ch ;
English Electric 2 700 hp sur un
châssis de locomotive à vapeur ;
en U.R.S.S. :
- GT 101 - à pistons libres et trans-
mission hydraulique 6 000 Ch -
138 tonnes ;
en Suède : Götaverken de 1 000 hp
à transmission mécanique ;
aux U.S.A. : locotracteur de 300 hp
pour l'armée.

On trouve donc plusieurs prototypes
en U.R.S.S., dont on ne sait pas exacte-
ment combien d'exemplaires ont été
réalisés, et une seule réalisation indus-
trielle d'une cinquantaine de machines
aux Etats-Unis.

On admet couramment que la loco-
motive à turbine à gaz convient aux réseaux
où on trouve :

- de longues distances à puissance
maximale, avec un trafic régulier,
- un air ambiant plutôt froid ou au
moins tempéré,
- du combustible bon marché.

On comprend donc que le problème
intéresse spécialement les pays ayant de
grands espaces à parcourir, tels que les
Etats-Unis et l'U.R.S.S.

On voit aussi que la plupart des pro-
totypes réalisés, sauf ceux de faible
puissance, sont assez lourds et compor-
tent six essieux ; en U.R.S.S., la plupart

des prototypes pèsent 138 tonnes, et la
locomotive General Electric de 8 500 Ch
est très particulière.

II. — LOCOMOTIVES GENERAL ELECTRIC de 8 500 CH.

On se réfère souvent à ces locomotives
General Electric, dont 25 sont en circu-
lation sur l'Union Pacific Railroad. Elles
répondent à un problème assez particu-
lier de remorquage de trains très lourds
sur les contreforts des Montagnes Ro-
cheuses. Elles se composent de deux CC
et d'un tender. La première unité CC
comprend la cabine de conduite, le
groupe auxiliaire et son combustible, les
groupes de freinage rhéostatique et
pneumatique et quelques auxiliaires ; la
deuxième CC comprend la turbine et les
quatre génératrices entraînées ; le ten-
der contient environ 90 m³ de fuel lourd,
avec un système de réchauffage.

L'ensemble a une longueur de 54 m,
pèse environ 500 tonnes, et développe
un effort continu de 66 tonnes à 29 km/h,
ce qui n'exige pas un très fort coeffi-
cient d'adhérence, environ 13 %.

Les Américains avaient à résoudre
rapidement un problème particulier, le
poids n'étant pas très gênant pour eux,
ils l'ont résolu avec des éléments exis-
tants : une turbine industrielle General
Electric de catalogue qui n'avait pas été
spécialement étudiée pour la traction, et
des génératrices de courant continu des-
tinées à des locomotives Diesel. Comme
les nécessités de la commutation limitent
la puissance et la vitesse des génératri-
ces de courant continu, il a été néces-
saire d'utiliser quatre génératrices en-
traînées par des réducteurs, l'ensemble
pesant au moins 20 tonnes.

III. — OBJECTIF DU PROJET ETU- DIE.

L'objectif du projet présenté à la
S.N.C.F. est assez différent.

Certains prototypes d'il y a quinze ou vingt ans développaient 2 000 à 3 000 Ch. Depuis cette époque, les locomotives Diesel ont progressé ; il y a maintenant des BB Diesel, électriques de 2 000/2 400 Ch, qui pèsent 80 tonnes, et des BB Diesel hydrauliques de 4 000/4 800 Ch Diesel qui pèsent 83 tonnes ; rapportée à la jante, cette puissance devient 3 200/3 800 Ch, soit la puissance des locomotives électriques moyennes.

On a donc cherché à faire une locomotive autonome, ayant des performances à peu près équivalentes à celles des grosses locomotives électriques, soit 5 000 à 5 200 Ch à la jante.

IV. — POSSIBILITE DE LOCOMOTIVES MIXTES A TURBINE ET DIESEL.

On doit étudier la possibilité de locomotives mixtes Diesel turbine, dans lesquelles la turbine aurait un rôle d'appoint.

1) Par exemple sur une BB 67 000, de 2 000/2 400 Ch, on ajouterait une turbine de quelques centaines de chevaux qu'on ne mettrait en marche que pour passer les points durs du parcours. La turbine ne pèserait que 200 à 400 kg, mais il faudrait tenir compte de ses accessoires, tels que filtres et silencieux d'aspiration, échappement, etc... Il faudrait aussi, soit accoupler à la turbine un alternateur

spécial qui devrait être couplé avec la génératrice ou l'alternateur principal, soit relier la turbine au générateur principal par un réducteur de grand rapport. On arriverait ainsi à dépasser les dimensions et le poids acceptables pour une BB ; la locomotive aurait donc six essieux et il semble qu'alors il soit plus simple d'adopter un seul moteur Diesel plus puissant.

**

2) Poussant plus loin l'idée précédente, on peut imaginer que, sur une locomotive à deux moteurs Diesel pesant chacun environ 7 tonnes, on remplace un moteur par une turbine de puissance à peu près équivalente, sensiblement plus légère.

On pourrait faire cela en deux variantes, correspondant à chacune des deux locomotives de 4 000/4 800 Ch de la S.N.C.F. :

— sur la BB 69 000 qui a deux groupes indépendants moteur-transmission hydraulique, la turbine devrait entraîner une transmission hydraulique ;

— sur la CC 70 000, dont les deux moteurs entraînent chacun un élément d'un alternateur contra-rotatif, la turbine devrait entraîner l'un de ces éléments.

Dans les deux cas, on prendrait une turbine d'aéronautique ou dérivée de l'aéronautique ; l'arbre de sortie aurait donc une vitesse élevée ; une telle turbine consommerait autant d'air qu'une turbine industrielle de cycle comparable, et on ne peut pas séparer de la turbine le réducteur, les installations d'aspiration d'air et d'échappement et l'appareillage de commande. Sans doute arri-

verait-on à un poids total moindre que celui d'un moteur et de ses auxiliaires, mais le volume serait bien rempli ; il n'est même pas certain que les silencieux d'aspiration et d'échappement n'exigent pas un volume plus grand que les accessoires d'un Diesel.

**

3) Indépendamment de ces questions d'installation qui devraient être approfondies, d'autres questions, touchant au fonctionnement même, se posent.

On admet que pour des raisons de consommation, la turbine doit le plus souvent possible fonctionner à sa puissance maximale. Le projet doit donc être orienté sur le fonctionnement suivant :

— au-dessous de la demi-puissance : Diesel seul ;

— au-dessus de la demi-puissance, turbine à sa puissance maximale, et Diesel pour le complément.

Il en résulte que, lorsqu'on fonctionnera à la demi-puissance, et un peu au-dessous, le moteur devra donner sa puissance maximale, alors que s'il y avait deux moteurs il n'en donnerait que la moitié. Il n'y a aucun doute que cela remonterait la puissance moyenne demandée en exploitation courante au moteur. Or, la définition même de la puissance d'un moteur tient compte implicitement ou explicitement des variations de charge et de la puissance moyenne demandée en service.

On serait donc certainement amené, soit à détimbrer le moteur, soit à le remplacer par un moteur plus largement dimensionné.

**

4) Mais d'autres questions se posent encore.

Sur une locomotive à deux groupes indépendants, telle que la BB 69 000, on peut difficilement envisager de faire marcher un bogie à la puissance maximale et l'autre à la puissance complémentaire demandée ; on serait donc conduit à équilibrer les charges entre la turbine et le Diesel, donc à faire monter beaucoup la consommation de la turbine.

Si on a un alternateur contra-rotatif, comme sur la CC 70 000, les couples instantanés sur les deux parties de l'alternateur sont égaux et de sens contraire, et en régime permanent cela impose, soit l'égalité des puissances développées, soit des vitesses différentes ; de toute façon, cela impose entre le moteur et la turbine un rapport de puissance bien défini, et empêche d'exploiter la turbine à puissance constante et le Diesel à la puissance complémentaire variable.

L'idée du projet ne semble donc réalisable qu'avec deux générateurs différents qui n'auraient d'autre liaison qu'un couplage sur le circuit de traction. Mais alors que devient l'économie de poids, avantage essentiel réclamé pour la turbine à gaz ?

Il est probable aussi que la conduite simultanée de deux machines aussi différentes qu'un Diesel et une turbine poserait des questions de régulation difficiles.

Une turbine ultra-légère telle que le Tyne de 3 000 Ch à 15° C, ne donnerait qu'une différence de poids de six à sept tonnes, sans diminution de la longueur occupée, ni des volumes d'aspiration et d'échappement, et ne changerait pas l'ordre de grandeur du poids total de la locomotive.

D'autre part, une turbine d'aéronautique fonctionnant en appoint devrait être modifiée pour recevoir des paliers lisses, car les paliers à rouleaux risquer-

raient d'être endommagés lorsque la turbine serait arrêtée.

**

5) On peut envisager aussi deux groupes turbo-alternateurs identiques, dont on ferait fonctionner à volonté un seul ou les deux. Il est très probable qu'on se heurterait alors à des difficultés de longueur qui apparaîtraient lorsqu'on étudierait l'installation de la locomotive.

V. — ADAPTATION DE LA TURBINE AUX PROBLEMES POSES PAR LA TRACTION.

On va examiner comment la turbine THM 1300 décrite par M. Chaffiotte répond bien aux exigences d'un projet de locomotive.

Le problème posé est plus difficile que le problème américain, car on cherche à faire une locomotive conforme aux normes de l'Europe occidentale : une seule unité à deux cabines de conduite.

**

1) Dès le début du projet, le problème des volumes se pose : turbine, aspiration, échappement, et, parfois, récupérateur. Les premières locomotives à turbine ont eu un récupérateur qui a été la cause de graves difficultés, et en partie la cause de l'insuccès de certains prototypes. On veut donc maintenant s'en affranchir, et même les très grosses locomotives General Electric n'en ont pas. Il faut, en outre, que les silencieux d'aspiration et d'échappement tiennent dans un volume assez réduit.

Pour éviter le récupérateur, en conservant une consommation convenable, il faut un cycle à haute température et à rapport de pression élevé, dont la détente amène à l'échappement des gaz à une température telle qu'un récupérateur de dimensions acceptables n'amène qu'un gain pratiquement négligeable.

D'autre part, il faut trouver dans la caisse les sections de passage de l'aspiration et l'échappement. Sur les locomotives américaines toute la paroi latérale est utilisée, et d'autre part l'échappement n'est pas insonorisé. Quand on ne dispose que d'une seule caisse, celle-ci est déjà percée d'assez nombreux orifices pour la ventilation des auxiliaires, des moteurs de traction, du freinage rhéostatique, etc..., et on ne peut se donner qu'une assez faible surface d'aspiration qui doit être concentrée à une extrémité. Il faut donc que la turbine se contente d'un débit d'air modeste.

La turbine Hispano-Marep THM 1300 répond bien à ces deux exigences essentielles par :

— son haut rapport de pression : 12,5 ;

— et sa température élevée : 1 000° C pour un air ambiant à 35° C, rendue possible par les techniques modernes de refroidissement des aubes.

Ces deux caractéristiques permettent de réduire le débit d'air à 24,6 kg/sec pour 6 000 Ch à 35° C, alors que les turbines General Electric de 8 500 Ch demandent 72 kg/sec.

Ce débit est du même ordre de grandeur que celui d'un bloc de réfrigération de moteur Diesel de 2 000/2 400 Ch ; l'aspiration exige quand même plus de place qu'un réfrigérant car il faut filtrer l'air ; néanmoins l'installation est faisable, mais avec toute autre turbine on tomberait dès le commencement sur une quasi impossibilité pratique.

De même un faible débit de gaz est fort intéressant pour l'échappement.

**

2) La consommation est aussi un point important, car indépendamment des dépenses de combustible en exploitation, elle détermine la réserve de combustible à prévoir.

Le cycle à haut rapport de pression et haute température donne une consommation de 225 g/Ch/h pour de l'air ambiant à 15° C, plus élevée certes que celle d'un moteur Diesel, mais sensiblement plus basse que celle de beaucoup de turbines.

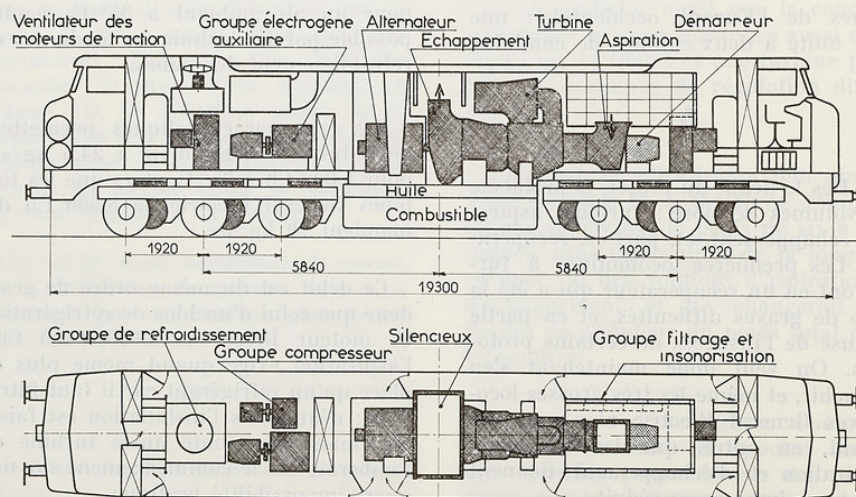
M. Chaffiotte a montré comment les trois arbres de la turbine THM 1 300 lui

donnaient une courbe de consommation très plate, pratiquement constante entre la demi-puissance et la puissance maximale ; et ceci est une aptitude particulière aux problèmes de traction.

**

3) L'entretien est aussi facilité par la disposition des organes de la turbine : la ligne d'arbres, basse pression, et la turbine de puissance qui fonctionnent à des températures assez basses, sont à la partie inférieure de la turbine ; elles ont été calculées pour obtenir une endurance équivalente à celle des turbines destinées à une exploitation industrielle.

PROJET DE LOCOMOTIVE DE 6000 Ch. A TURBINE A GAZ



Les parties chaudes de la turbine, plus vulnérables du fait de la température de cycle élevée ont été groupées à la partie supérieure. Ce groupe chaud, pesant 2 500 kg, se prêtera à un entretien facile par un panneau démontable du toit.

Les parties basse pression sont calculées pour durer environ 40 000 heures, et les parties chaudes environ 5 000 heures pour de l'air ambiant à 35° C et à pleine charge ; il faut noter qu'au rythme de 15 000 à 20 000 km par mois, 5 000 heures correspondent à peu près à un an d'exploitation. Et ces chiffres seront améliorés par l'utilisation fréquente à charge partielle et par le fait que l'air ambiant sera plus souvent à 15° C qu'à 35° C.

VI. — TRANSMISSION ELECTRIQUE.

On a vu que la transmission à courant continu des locomotives General Electric conduisait à quatre génératrices pesant plus de 20 tonnes. On ne peut envisager un tel poids. Aussi a-t-on prévu une transmission en courant alternatif produit par un alternateur à 6 000 t/mn entraîné directement par la turbine, et redressé par des redresseurs au silicium.

On dispose aussi d'un courant de chauffage, qui est gratuit, puisque par temps froid la turbine donne un excédent notable de puissance, avec une baisse de consommation.

VII. — AUXILIAIRES.

Toute turbine à gaz doit avoir un moteur de lancement qui, sur une loco-

motive, doit être alimenté par un groupe électrogène auxiliaire.

On doit donc prévoir un groupe auxiliaire qui alimente, en plus du moteur de démarrage, les pompes de prégraisage et d'alimentation en combustible. Le groupe auxiliaire est aussi capable d'alimenter deux moteurs de traction pour le déplacement de la machine au dépôt ou en gare, sans allumer la turbine.

On a aussi prévu que, après le lancement de la turbine, le moteur de démarrage deviendrait génératrice et pourrait alimenter tous les auxiliaires de la locomotive. On pourra donc ainsi arrêter le groupe électrogène auxiliaire.

VIII. — PARTIE MECANIQUE ET AMENAGEMENT.

Peu de chose à dire sur la partie mécanique et les moteurs de traction, qui sont classiques. L'essentiel est l'aménagement de la caisse.

1) En allant d'une extrémité à l'autre, on trouve :

- cabine de conduite n° 1 ;
- armoires d'appareillage de traction ;
- bloc des filtres d'air et du silencieux d'aspiration comprenant :
 - sur sa paroi les redresseurs en rideau,
 - le ventilateur du bogie,
 - le silencieux d'aspiration de la turbine,
 - le moteur de démarrage ;

— la turbine montée sur quatre points d'appui avec à la partie supérieure :

le groupe chaud facilement visible par le toit,
le silencieux d'échappement,
et au-dessous la caisse à huile incorporée dans le plancher de la caisse ;

— l'alternateur entre deux cloisons pour éviter toute aspiration de vapeurs d'huile ;

— l'emplacement du bloc de freinage rhéostatique ;

— le bloc des auxiliaires comprenant :

un groupe électrogène Diesel de 150 Ch,

le réfrigérant d'huile de la turbine et du moteur auxiliaire,

le ventilateur du bogie n° 2 ;

— des armoires d'appareillage de la turbine,

— cabine de conduite n° 2,
le ventilateur du bogie.

Un couloir a pu être prévu de chaque côté.

On a prévu des bogies plats à deux ou trois moteurs ; le moteur d'un bogie C monomoteur se trouve obligatoirement au-dessus du bogie et entre assez profondément dans la caisse ; sur une locomotive Diesel on trouve en général à le placer sous les réfrigérants des moteurs, mais sur cette locomotive à turbine, pour éviter que les moteurs des bogies n'interfèrent avec le silencieux d'aspiration à une extrémité et avec les auxiliaires à l'autre, il aurait fallu allonger la caisse d'environ deux mètres, et donc alourdir la locomotive.

2) Dans la partie centrale on n'a pas utilisé à l'intérieur de la caisse toute la hauteur permise par le gabarit ; on s'est

réservé la possibilité de placer sur le toit des déflecteurs qui canaliserait les gaz d'échappement, surtout en tunnel, pour éviter la réaspiration des gaz ; le tracé de ces déflecteurs devrait être recherché par des essais en soufflerie.

*

**

3) L'insonorisation est un problème important, entre la caisse et les cabines et sur les parois de la caisse, et aussi sur l'admission et l'échappement.

A l'admission, le débit d'air nécessaire est d'environ 68 000 m³/h normaux, qu'il est nécessaire de filtrer de façon à éliminer au maximum les poussières d'un diamètre moyen supérieur à 10 microns.

L'air est aspiré à l'extérieur au travers de persiennes disposées sur les parois de la locomotive. Il passe ensuite à travers les panneaux de filtration qui sont disposés sur un caisson entourant complètement l'aspiration d'air.

L'aspiration d'air dans ce caisson ne se fait pas suivant un trajet rectiligne, mais par l'intermédiaire d'une manche d'admission insonorisée, comportant un certain nombre de chicanes, elles-mêmes munies de parois absorbantes pour réduire à un niveau moyen de 100 décibels le spectre de bruit émis à l'entrée du compresseur.

L'échappement des gaz brûlés a été étudié en admettant que :

— la locomotive peut circuler dans les deux sens ;

— le jet des gaz brûlés ne doit pas endommager les ouvrages placés au-dessus de la voie.

L'échappement comporte un collecteur à deux sorties au droit desquelles on réalise une dilution suffisante pour ramener les gaz à une température de 300° environ, ceci étant réalisé à l'aide de tuyères disposées au sein même du jet sur les deux sorties.

Deux conduits de sections supérieures à celles des deux sorties du collecteur et comportant un certain nombre de parois absorbantes complètent la dilution, et permettent l'évacuation des gaz brûlés dans des directions obliques par rapport au plan de symétrie de la locomotive. D'autre part, une étude aérodynamique du profil du toit doit permettre de canaliser les gaz brûlés et d'éviter dans la mesure du possible le recyclage de ces gaz dans l'aspiration.

IX. — POIDS.

1) La répartition des poids est à peu près la suivante :

Turbine et accessoires :

— turbine	10 250	
— accessoires y compris la soude à combustible	5 000	
	15 250	15 250 kg

Transmission électrique :

— alternateur ..	6 000	
— 6 moteurs de traction	21 000	
— redresseurs ..	1 000	
— accessoires, appareillages, câblage	8 400	
	36 400	36 400

Auxiliaires	2 150	
Freinage	1 950	
Bogies	30 000	
Caisse	20 000	
Poids total à vide ..	105 750	
Approvisionnements	9 250	
Poids total en ordre de marche		115 000 kg

2) La machine doit être une CC lourde d'environ 19 tonnes par essieu malgré la puissance spécifique élevée de la turbine.

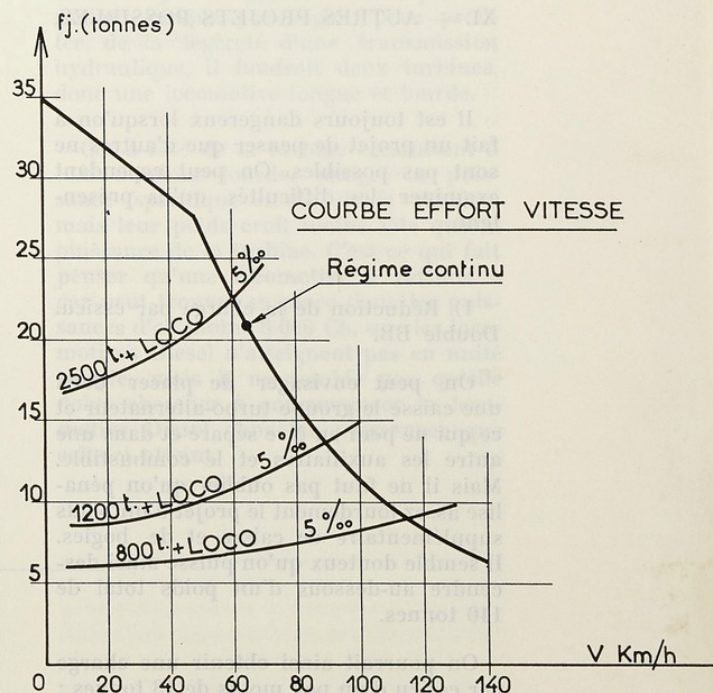
L'adoption de quatre ou deux moteurs de traction au lieu de six permettrait un allègement des moteurs mais celui-ci serait en partie compensé par un alourdissement des bogies, et pour les bogies monomoteurs par un allongement de la caisse.

En adoptant, au lieu de la turbine THM 1300, une turbine d'aéronautique de même cycle, on gagnerait peut-être 6 tonnes sur la turbine, mais rien sur les accessoires et la transmission, et la longueur restant la même, il n'y aurait rien à gagner non plus sur la caisse.

Cette turbine n'existe d'ailleurs pas en catalogue ; le turbo-propulseur Tyne, qui en est le plus voisin, est moins puissant et a deux arbres au lieu de trois.

X. — PERFORMANCES

La courbe ci-jointe donne pour de l'air ambiant à 35° C les performances d'une



telle locomotive avec six moteurs de traction et une vitesse maximale de 140 km/h.

Ces performances sont assez voisines de celles des locomotives électriques puissantes BB 16 000 et CC 7 100.

Il faut noter que dans nos pays, la température ambiante est rarement à 35° C, et que si elle est comprise entre 0 et 15° C, la turbine pourra donner un large excédent de puissance que la transmission électrique pourra absorber en régime unihoraire.

La locomotive à turbine pourra alors, comme une locomotive électrique, donner « un coup de collier » momentané pour franchir un passage difficile.

XI. — AUTRES PROJETS POSSIBLES.

Il est toujours dangereux lorsqu'on a fait un projet de penser que d'autres ne sont pas possibles. On peut cependant examiner les difficultés qu'ils présentent.

1) Réduction de la charge par essieu. Double BB.

On peut envisager de placer dans une caisse le groupe turbo-alternateur et ce qui ne peut en être séparé et dans une autre les auxiliaires et le combustible. Mais il ne faut pas oublier qu'on pénalise assez lourdement le projet d'un poids supplémentaire de caisse et de bogies. Il semble douteux qu'on puisse ainsi descendre au-dessous d'un poids total de 140 tonnes.

On pourrait ainsi obtenir une charge par essieu d'un peu moins de 18 tonnes ;

ceci peut être intéressant pour certaines lignes ; l'accroissement de poids permettrait aussi un accroissement de l'effort en régime continu ; mais ces deux avantages auraient en contrepartie un accroissement sensible du prix de la machine.

2) Locomotive de 3 000 Ch.

Dans cette puissance, qui est accessible aux locomotives Diesel, il faut trouver sur celles-ci un avantage sensible.

La turbine serait réduite en diamètre, assez peu en longueur ; on peut admettre pour elle un poids d'environ huit tonnes dans la même construction industrielle robuste, deux tonnes en construction aéronautique. Les accessoires et les auxiliaires diminueront aussi, mais assez peu. Il faudra toujours un Diesel auxiliaire, un réfrigérant et un groupe de freinage.

Il semble donc difficile de descendre aux 72 tonnes qui rendraient la locomotive intéressante. Si une BB est possible, il semble qu'elle doive peser environ 80 tonnes, et elle n'aurait pas alors de supériorité sur une BB Diesel hydraulique.

3) Locomotive de 6 000 Ch à deux turbines.

Cette division de la puissance donnerait des avantages de consommation pour les puissances inférieures à 3 000 Ch ; elle donnerait aussi un service plus dur aux turbines.

Chacun des deux groupes de turbo-alternateurs serait un peu moins long qu'un groupe de 6 000 Ch ; mais les auxiliaires seraient sensiblement les mêmes ; or sur une caisse de 19,300 m entre traverses, le groupe de 6 000 Ch avec ses silencieux et filtres indispensables occupe à peu près 8 mètres, et les auxiliaires en occupent environ 4,75.

Ces longueurs varient peu avec la puissance, et on peut penser que la longueur de caisse serait proche de 25 m, ce qui est excessif, et que le poids serait aussi fortement augmenté.

4) Il faut citer aussi un projet américain récent sur lequel nous n'avons que peu d'informations. Il s'agirait d'une transmission mécanique entre une turbine de 3 750 Ch et un bogie D, conception de transmission qui rappelle les locomotives Renault CAFL à pistons libres. Il y aurait ainsi en projet une DD de 7 500 Ch, ou une double DD, soit 16 essieux de 15 000 Ch.

Vraisemblablement, il s'agit, comme toujours en Amérique, de machines plus lourdes et plus volumineuses que celles que nous pouvons envisager.

XII. — CONCLUSIONS.

De ces quelques réflexions, il semble qu'on puisse tirer les conclusions suivantes :

Il apparaît possible d'envisager une locomotive autonome à turbine à gaz de 6 000 Ch qui aurait à peu près les performances des locomotives électriques puissantes ; un cycle élevé en température et en pression est nécessaire pour réduire la quantité d'air à aspirer ; mais il reste à vérifier par des essais sur maquette et en vraie grandeur qu'une telle locomotive peut bien circuler dans les deux sens sans réaspirer une partie des gaz d'échappement.

Malgré la puissance spécifique élevée de la turbine une telle locomotive est une machine lourde selon nos normes d'Europe occidentale ; elle est légère par rapport aux locomotives américaines ou russes, et, pour ces pays, il faudrait sans doute l'alourdir pour lui faire donner un effort de traction plus élevé.

De façon plus générale, il semble bien qu'on puisse dire qu'une locomotive à turbine à gaz doit être une machine lourde, à cause de tout ce qui accompagne la turbine ; accessoires d'aspiration et d'échappement, qui, s'ils ne sont pas trop lourds, sont volumineux et exigent du poids de caisse ; groupe auxiliaire indispensable pour le démarrage ; combustible, car on s'est refusé l'expédient du tender utilisé par les Américains ; transmission électrique, sur laquelle on n'a pas cherché une très forte économie de poids, à la fois pour obtenir une grande longueur d'équipuissance et pour éviter l'encombrement de la caisse, et donc du poids supplémentaire, par un moteur unique par bogie ; pour profiter de la légèreté d'une transmission hydraulique, il faudrait deux turbines, donc une locomotive longue et lourde.

Ces à-côté de la turbine conduisent à une machine lourde, malgré la puissance spécifique élevée de la turbine, mais leur poids croît moins vite que la puissance de la turbine. C'est ce qui fait penser qu'une locomotive à turbine à gaz peut trouver sa place dans les puissances d'au moins 6 000 Ch, que les locomotives Diesel n'atteignent pas en unité simple, mais il ne semble pas qu'elle doive chercher à concurrencer la locomotive Diesel dans les puissances que celle-ci atteint.

Intervention de M. Maurice BARTHALON

Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers
et à l'Ecole Centrale Lyonnaise

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,
MESSIEURS,

Nous avons entendu parler de « machines à feu » ; il ne faut pas s'étonner si les exposés de M. Chaffiotte et de M. Labbens sont pleins de chaleur, mais, dans les moteurs thermiques, cette chaleur appelle étincelles et explosions.

Cependant, tel n'est pas le propos de mon intervention, car MM. Chaffiotte et Labbens sont d'excellents amis avec lesquels les moteurs à pistons libres ont travaillé dans le passé, et comptent bien travailler dans l'avenir. J'enseigne de plus au Conservatoire les turbines à gaz dont je sais l'intérêt. Mais j'en sais surtout, comme l'indiquait à plusieurs reprises mon Maître, le Professeur Maurice Roy, qu'elles sont en fait, non pas rivales, mais complémentaires, ou partenaires des autres machines thermiques.

Nul ne peut se flatter aujourd'hui de prévoir la place exacte qu'occuperont un jour les divers moteurs en développement aujourd'hui, mais le bon sens enseigne que chacune des machines s'emparera des utilisations correspondant à ses qualités propres. Il est évident en particulier que la turbine à gaz sera bien placée chaque fois que le produit : nombre d'heures d'utilisation $\times$ poids $\times$ prix du combustible, sera faible. Dans le domaine des chemins de fer, l'utilisation annuelle, la géographie ou les tonnages transportés donneront à la turbine à gaz ou au moteur à pistons libres des domaines d'ores et déjà bien délimités, mais l'on peut cependant penser que la formule la plus universelle sera peut-

être celle qui les associera dans le cycle à surchauffe. Le mélange des gaz d'échappement et de l'air de balayage contient encore à la sortie du générateur à pistons libres 80 % d'air, ce qui permet d'y brûler une quantité de combustible supplémentaire pour faire passer sa température de 450° à la température maxima possible actuellement en turbine à gaz, (850°/1 000° C). En somme, cette solution ressemble dans son principe : combinaison d'un piston et d'une turbine, à l'association d'un Diesel pour les faibles charges que vient secourir une turbine à gaz pour la pleine charge, telle que M. Labbens la décrivait, tout en regrettant que les problèmes d'encombrement et de transmission la rendent peu viable à bord d'une locomotive. Mais cette solution essaye de marier deux arbres dissemblables : celui d'une turbine à gaz qui tourne sans à-coups à 9 000 t/mn pour 6 000 CV, et celui d'un Diesel qui tourne à 1 500 t/mn pour 1 000 CV, avec une irrégularité de couple non négligeable. La solution pistons libres avec surchauffe associée, elle aussi, un piston Diesel et une turbine à gaz, mais elle le fait au début du cycle dès la phase thermodynamique de la transformation au lieu d'attendre la fin de la phase mécanique de la transformation ; elle est réalisée au sein des gaz en cours d'évolution, sans apporter de modification à la veine des gaz, ni au réducteur, ni à la transmission.

Si l'on admet dans cette solution une température de surchauffe de 850° C, raisonnable aujourd'hui, le générateur bicylindre GS.2.34 permettrait d'obtenir

une puissance de 3 300 kW aux bornes de l'alternateur à 6 000 t/mn. Si l'on va plus loin et si l'on admet la valeur de 1 000° C dont, par un raisonnement extrêmement séduisant, M. Chaffiotte nous a démontré l'intérêt, la puissance passera alors à 3 800 kW pour une locomotive dont le poids total ne dépassera pas 90 t.

L'intérêt supplémentaire de la surchauffe est d'obtenir une amélioration très importante de la consommation aux charges partielles qui ont été jusqu'à présent le point faible des moteurs à pistons libres dans le domaine ferroviaire. Cette consommation aux charges partielles devient alors tout à fait analogue à celle d'un moteur Diesel. De plus, le rapport couple-démarrage sur couple à pleine vitesse peut largement dépasser les valeurs obtenues jusqu'à présent avec les moteurs à pistons libres.

Le générateur bi-cylindre GS.2.34 dont je viens de parler a fait l'objet de nombreuses recherches de la S.I.G.M.A. et aussi de ses licenciés au cours des cinq dernières années. Quinze machines dont trois prototypes totalisant 6 000 h de marche ont été construites ; elles utilisent très exactement toutes les pièces du GS.34 dont l'endurance, nous le verrons plus loin, est largement établie. L'originalité du GS.2.34 vient simplement de ce que les diverses capacités de la machine (aspiration, carter de balayage, échappement) sont reliées par des communications de grande section et que ses équipages mobiles sont déphasés de 180°. Les pulsations dans ces capacités deviennent beaucoup plus faibles, car tous les harmoniques impairs disparaissent. Il est alors possible de diminuer les volumes tout en réduisant considérablement le bruit à l'aspiration (37 décibels en moins) et d'introduire entre les deux carters de balayage un refroidissement intermédiaire qui diminue considérablement le niveau des températures moteur et permet une large augmentation de puissance. Douze des quinze bi-cylindres construits sont en cours d'installation par l'Electricité de France pour

constituer une centrale de 26 000 kW à Chartres, dont la mise en route est prévue pour septembre 1964.

La combinaison de la surchauffe et de nos générateurs GS.2.34 nous a permis d'étudier d'une façon très complète en compagnie de l'Institut Battelle, avec l'aide d'Hispano-Suiza et en tenant compte des exigences S.N.C.F., une locomotive qui pèse entre 85 et 100 t et dont la puissance pourrait être comprise entre 4 000 et 5 500 CV suivant la température de surchauffe et le type de GS.2.34 choisis. Les deux versions prévues comportent, d'une part, une transmission électrique par alternateur grande vitesse, redresseur et bogie mono-moteur à courant continu, et, d'autre part, une version à attaque mécanique directe où les deux moteurs de traction sont remplacés par un ensemble turbine de détente/engrenage.

Je ne désire pas entrer dans les détails de cette locomotive dont l'intérêt justifierait largement un exposé dans le cadre de votre Société. Je voudrais simplement montrer que ce projet est solidement appuyé sur les résultats obtenus par les moteurs à pistons libres industriels et par les trois premières locomotives qu'ils ont équipées.

Lorsque nous avons tracé les générateurs et les trois locomotives à pistons libres RNUR/CAFL, le total du nombre d'heures de fonctionnement était de 100 000. Il est aujourd'hui de 3 500 000. Le prix d'entretien au kWh était de 0,04 F. Il est aujourd'hui de 0,0018. Le nombre d'installations en service industriel était de 11. Il est aujourd'hui de 120 dont : 63 centrales électriques, 42 navires, soit au total 60 groupes de propulsion, 13 ensembles d'entraînement de compresseurs. Parallèlement, la S.I.G.M.A. a dépensé plus de 12 millions de francs de frais d'études et de recherches dans les cinq dernières années. Ces chiffres montrent d'une part que l'on ne peut pas juger les générateurs à pistons libres par les performances obtenues sur les machines fabriquées avant 1959 et, d'autre part, que l'expérience accumu-

lée aujourd'hui justifie très largement de nouvelles réalisations dans le domaine des chemins de fer.

Dans ce domaine, quelles ont été les leçons de l'expérience passée ?

Les trois locomotives réalisées par RNUR/CAFL ont effectué chacune entre 200 000 et 400 000 km de service. En dépit de la nouveauté du tracé des GS.34 qui les équipait, ces générateurs n'ont contribué que pour 35 % au total des arrêts pour entretien. Par contre, les auxiliaires ou les circuits électriques, les roues et la transmission ont en quasi permanence gêné l'exploitation des locomotives. Il s'agit donc là entièrement de problèmes de conception de locomotives n'ayant qu'un rapport lointain avec les pistons libres. Ces difficultés ne sont guère surprenantes : ces locomotives ouvraient des voies nouvelles et un nouveau moteur n'est valable que dans la mesure où une bonne technique d'installation l'adapte correctement au service exigé. On a largement tenu compte de ces facteurs dans l'avant-projet de locomotive S.I.G.M.A./Battelle que je viens de mentionner.

Enfin, je ferai une remarque d'ordre plus général : la turbine à gaz, jusqu'à présent, a bénéficié des recherches effectuées dans le domaine aéronautique, dont le montant dépasse 10 milliards de francs. La turbine à gaz terrestre a elle-même bénéficié de recherches dont le coût total est compris entre un à deux milliards de francs.

Par comparaison avec ces derniers chiffres, les sommes engagées pour la mise au point des moteurs à pistons libres sont infimes, de l'ordre de 1 % du 2^e chiffre. Cependant, nous venons de le voir, les résultats obtenus permettraient de réaliser aujourd'hui des locomotives aux caractéristiques assez exceptionnelles. Nous sommes sûrs que, si l'ingéniosité et l'enthousiasme dont MM. Labbens et Chaffiotte ont fait preuve dans le projet des locomotives et turbines à gaz qu'ils viennent de nous présenter étaient appliquées au projet de Battelle/S.I.G.M.A., à surchauffe, la France disposerait d'un atout considérable pour l'exportation de ses matériels ferroviaires. Il viendrait très heureusement appuyer celui que cette séance avait pour but de vous présenter.

Éditions du
CENTRE NATIONAL de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Compte rendu bibliographique

MAYER, Charles-Léopold : *L'Homme face à son destin*. 1 volume, 251 pages, Editions Marcel Rivière et C^{ie}.

L'ouvrage de M. Charles-Léopold Mayer, dont le fond est constitué par le groupement et l'harmonisation de diverses études publiées au cours d'un quart de siècle sur des sujets extrêmement variés, n'en est pas moins d'une remarquable unité.

Cette unité tient sans doute à l'esprit dans lequel M. Charles-Léopold Mayer aborde les problèmes de tous les domaines qu'il passe en revue, esprit qu'on pourrait peut-être définir : une objectivité constructive.

Qu'il s'agisse du problème des origines de la vie, que l'auteur, rompu aux disciplines de la chimie biologique, a longuement étudié, ou des questions économiques et sociales, M. Charles-Léopold Mayer ne craint pas de s'avancer sur les terrains les plus controversés avec la tranquillité d'un observateur im-

partial. Il ne s'en tient pas là, et loin de se dérober devant la tâche de conclure, il propose chaque fois des vues personnelles.

Pour cette raison, et aussi grâce à la clarté des exposés, le lecteur trouve dans ce livre à la fois une source de renseignements précieux et une synthèse des plus attachantes. Il n'est pas jusqu'aux problèmes de la récession et du « gold exchange standard » particulièrement à l'ordre du jour depuis ces derniers mois, qui ne soient expliqués dans une forme simple et précise et accompagnés de judicieuses réflexions.

Il est impossible de résumer un tel ouvrage. On ne peut, ici, qu'en signaler l'intérêt et aussi accueillir avec faveur la thèse centrale du livre, à savoir que « l'homme ne vaut que par le progrès » puisque ce fut la raison même de la fondation il y a un siècle et demi de la Société d'Encouragement et que ce pourrait être toujours sa devise.

— Théories généralisant directement les variétés feuilletées.
— Systèmes différentiels associés aux connexions (d'ordre supérieur).

Ouvrage de 280 pages, 1935, 35 F.

Le Président de la Société, Directeur de la publication : J. LECOMTE. D.P. n° 1080

**Éditions du
CENTRE NATIONAL de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

15, quai Anatole-France, PARIS-7°

C.C.P. PARIS 9061-11

Tél. 705-93-39

Colloque International

N° 125

STRUCTURES FEUILLETÉES

Grenoble 25-30 juillet 1963

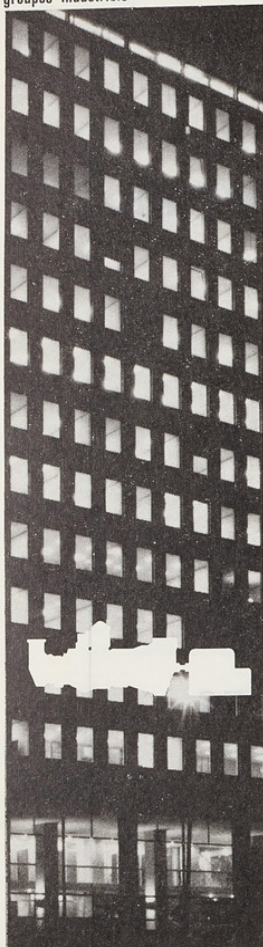
Ce colloque a été consacré aux « propriétés globales des systèmes de Pfaff complètement intégrables ».

Sujets traités au cours des conférences :

- Systèmes différentiels ordinaires.
- Equations aux dérivées partielles (systèmes linéaires, systèmes liés au calcul des variations et équations de conservation).
- Variétés feuilletées classiques, étudiées à divers points de vue.
- Théories généralisant directement les variétés feuilletées.
- Systèmes différentiels associés aux connexions (d'ordre supérieur).

Ouvrage de 276 pages, in-8° raisin, relié 35 F

groupes électrogènes
groupes industriels

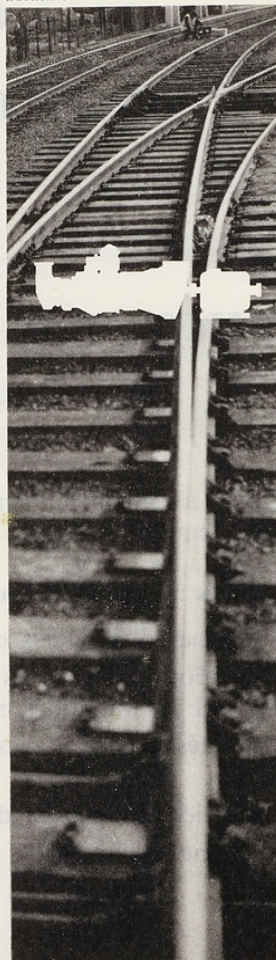


6823

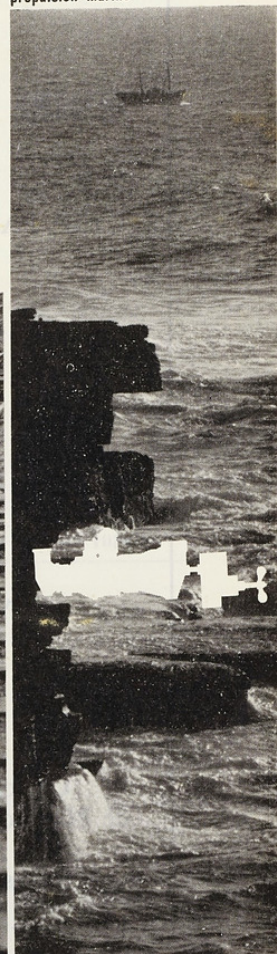


groupes de pompage
groupes de compression

traction ferroviaire



propulsion marine



turbines à gaz industrielles de 2 500 à 4 500 kW

- caractéristiques essentielles ● faible coût d'entretien ● pas de source extérieure d'électricité
● groupe léger et compact ● frais d'installation réduits ● consommation d'huile négligeable
● télécommande possible ● pas de consommation d'eau ● coefficient élevé de disponibilité

SOCIÉTÉ DES TURBINES HISPANO-SUIZA ET S.N. MAREP 12 RUE JEAN NICOT, PARIS (7^e) TÉLÉPHONE 705-89-89 TÉLEX 20 757



A. D. A. M. E. L.

4, Passage Louis-Philippe - PARIS-XI^e

construit tous
les appareils

CHEVENARD

- pour l'analyse physico-thermique :
dilatomètres, thermo-magnétomètre, analyseur thermique différentiel.
- pour les essais thermogravimétriques : thermobalances.
- pour les essais mécaniques des métaux à froid et à chaud :
machines de fluage, de rupture, de traction.
- appareils pour les mines et l'industrie du gaz.
- fours électriques de laboratoire.
- balance analytique uniplateau "TALENTA 164"

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ENTREPRISES

Société Anonyme au Capital de 36.160.000 F

56, rue du Faubourg Saint-Honoré - PARIS (8^e)

ENTREPRISES GÉNÉRALES TRAVAUX PUBLICS ET BATIMENT ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

Barrages - Usines hydro-électrique et thermiques - Usines - Ateliers
et bâtiments industriels - Travaux maritimes et fluviaux - Aéroports -
Ouvrages d'art - Routes - Chemins de fer - Cités ouvrières -
Edifices publics et particuliers - Assainissement des villes -
Adductions d'eau - Bureaux d'études

Grands postes de transformation
Centrales électriques
Lignes de transport de force

Électrification de voies ferrées
Électrifications rurales
Équipements électriques industriels

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE LA GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

Société Anonyme au capital de 19.595.800 F.

8, Rue Cognacq-Jay - PARIS-7° - Tél INV. 44-30

AMMONIAQUE - ALCALI-ENGRAIS AZOTÉS

**ENGINEERING-CONSTRUCTIONS D'USINES
HYDROGÈNE**

GAZ DE VILLE - GAZ DE SYNTHÈSE

AMMONIAQUE

ACIDE NITRIQUE

ENGRAIS AZOTÉS

E N T R E P R I S E S

BOUSSIRON

10, Boulevard des Batignolles, PARIS-17°

ALGER - CASABLANCA

S. E. T. A. O. à A B I D J A N (Côte-d'Ivoire)

TRAVAUX PUBLICS

BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIN

CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

LES FILTRES DURIEUX



PAPIER A FILTRER

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52 x 52

SPECIALITES :

FILTRES SANS CENDRES

N°s 111, 112 et Crêpé N° 113 extra-rapide

Filtres Durcis n° 128 & Durcis sans cendres
n° 114



Cartouches pour extracteurs de tous systèmes

PAPIER " CRÊPÉ DURIEUX "

Toutes Dimensions, pour Filtres-Presses. (Envoi d'échantillons sur demande)

Registre du Comm. de la Seine N° 722-521-2-3 Téléphone : ARChives 03-51

MEDAILLE D'OR de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale
(juillet 1918)

20, rue Malher, PARIS (4^e)

Demandez le Catalogue donnant toutes les explications sur les emplois de mes différentes sortes

SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE
D'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE
et des
ACIÉRIES ÉLECTRIQUES D'UGINE

**ACIERS
PRODUITS CHIMIQUES
ALUMINIUM
MAGNÉSIUM
FERRO-ALLIAGES
ÉTAIN**

SIEGE SOCIAL : 10, RUE DU GENERAL-FOY - PARIS (8^e)

TELEPHONE : EUROPE 31-00

ADRESSE TELEGRAPHIQUE : TROCHIM PARIS

MAISON FONDÉE EN 1895

“ LES ÉLECTRICIENS DE FRANCE ”

Ets JULES VERGER & DELPORTE

Société Anonyme, au Capital de 10.000.000 de F

ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES, ÉLECTRONIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

Siège Social, Bureau d'Etudes, Services : 141 bis, 141 ter, rue Saussure, PARIS-17^e
6 lignes « départ » groupées : MAC. 29-56 (3 lignes groupées), CAR. 07-17 (3 lignes groupées),
Usine et Départements : Réparations — Bobinage — Radio — Télévision — Electronique — Automation
53, rue Maurice-Bokanowski, ASNIERES - Tél. GRE. 39-90, 62-28

Département : ELECTRO-VAPEUR - 92, avenue des Ternes, PARIS-17^e - Tél. ETO. 42-70

Agence de VERSAILLES : 1, place Gambetta - Tél. 950-56-50 - Mag. 21, rue d'Anjou - Tél. 950-01-10

MAGASINS DE VENTE : Radio — Télévision — Electro-Ménager — Froid :

92, Avenue des Ternes, PARIS-17^e - Tél. ETO. 42-70

53, Rue Maurice-Bokanowski, ASNIERES - Tél. GRE. 39-90, 62-28.

EN AFRIQUE : SENEGAL

- DAKAR

: Bureaux-Magasins : 164, rue Blanchot - B. P. 968 - Tél. 227-26, 227-29.

Ateliers : Km 6,5, route de Rufisque, Hann - Tél. 451-39.

: B. P. 101 - Tél. 51.

: B. P. 4140 - Tél. 553-95.

: B. P. 184 - Tél. 27-76.

: B. P. 68, NOUAKCHOTT : B. P. 3 - Tél. 23-06.

: B. P. 394 - Tél. 23-54 — BOBO DILOULASSO : B. P. 334 - Tél. 26.

: B. P. 11-72.

SAINT-LOUIS

Côte-d'Ivoire - ABIDJAN

Dahomey - COTONOU

Mauritanie - PORT-ETIENNE

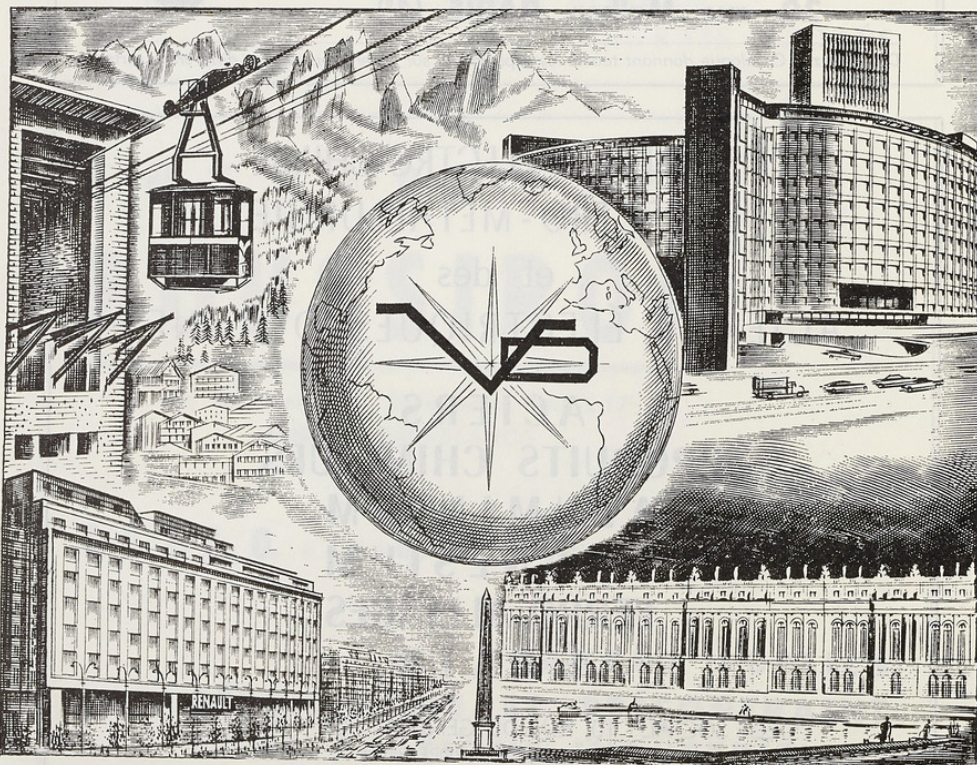
Haute-Volta - OUAGADOUGOU

Togo - LOME

quelques réalisations récentes

VAL D'ISERE - Téléphérique

MAISON DE LA RADIO



RENAULT (Champs-Élysées)

PALAIS DE VERSAILLES

« LES ELECTRICIENS DE FRANCE » SONT JOUR ET NUIT
DIMANCHE ET FETES A LA DISPOSITION DE LEUR CLIENTELE



SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES

RHÔNE POULENC

- PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES DE SYNTHÈSE
- PRODUITS MINÉRAUX PURS
- MATIÈRES PLASTIQUES

La Société des Usines Chimiques RHÔNE-POULENC fabrique environ 3.000 produits chimiques : produits organiques industriels, produits minéraux fins, produits pharmaceutiques, matières plastiques, etc... Elle fait partie du groupe Rhône-Poulenc S.A. qui comporte de nombreuses sociétés chimiques, pharmaceutiques et textiles, en France et à l'étranger. A elle seule, elle dispose de 8 usines, d'une surface totale de 500 hectares et emploie 13.000 personnes. Ses Services de Recherches sont particulièrement importants, répartis en des centres spécialisés (chimie organique pure et des hauts polymères, chimie pharmaceutique, matières plastiques, etc...) dans lesquels travaillent environ 1.600 personnes.

22 AV. MONTAIGNE
PARIS - ALM. 40-00



VENTE A CRÉDIT PAR LA **Din**



L.P.F. 0107

403

404

VOITURES DE QUALITÉ

PEUGEOT

