

(625 285-842 8/44)

Les éléments automoteurs à turbine à gaz « Turbotrain » de la S. N. C. F.

La rapidité du transport est de plus en plus recherchée par les usagers quelles que soient les distances à parcourir et depuis longtemps les efforts des exploitants et des constructeurs de matériel sont orientés vers ce but aussi bien dans les transports terrestres que dans les transports maritimes et aériens.

Le transport aérien, de beaucoup le mieux placé au point de vue des très grandes vitesses, est ainsi parvenu à prendre la première place sur les grandes distances, plus particulièrement dans le cas de déplacements comportant des traversées maritimes, malgré les réels efforts accomplis par les compagnies maritimes pour offrir aux usagers le plus grand confort. Pour les déplacements ne comportant pas de traversée maritime, le transport ferroviaire se place aussitôt après le transport aérien sur les grandes distances et très sensiblement sur le même plan pour les moyennes distances, de l'ordre de 500 km, en raison des durées de transport entre les centre-villes et les aéroports.

Dans ces conditions, les réseaux ferroviaires devaient plus particulièrement porter leurs efforts sur les services à distance de 300 à 1 000 km environ, et c'est sur ce programme que fut constitué le Groupement Trans-Europ-Express (T.E.E.) (1) dont les services ont été très appréciés des usagers dès leur création en mai 1957. Ce succès, qui s'est constamment affirmé depuis (2), a conduit les réseaux ferroviaires à poursuivre la création de relations à vitesse commerciale élevée et offrant un grand confort et des horaires particulièrement étudiés pour les déplacements d'affaires. Ces services, dont certains atteignent des coefficients d'occupation de l'ordre de 75 %, sont assurés dans les conditions de vitesse maximale actuellement en usage sur les lignes qu'ils empruntent, soit 150 ou 160 km/h.

L'accroissement de la vitesse maximale permettant un accroissement de la vitesse commerciale et, par conséquent, un élargissement du domaine des distances pour lesquelles le transport ferroviaire peut assurer une vitesse commerciale du même ordre que le transport aérien (compte tenu des temps de transport entre aéroport et centre-ville), les réseaux

ferroviaires ont été conduits à rechercher les moyens d'accroître la vitesse maximale.

La traction électrique a apporté une solution par les fortes puissances massiques de ses engins moteurs. Les essais de la Société Nationale des Chemins de fer Français sur la section Lamothe-Morcenx de la ligne Bordeaux-Hendaye (Région Sud-Ouest) effectués il y a maintenant quinze ans ont montré la possibilité de dépasser 300 km/h avec des locomotives prévues pour les services normaux et n'ayant subi aucune autre modification que celle du rapport d'engrenages (3). La vitesse de 331 km/h réalisée au cours de ces essais avait essentiellement le caractère d'un record, la puissance développée par les locomotives étant nettement supérieure à celles qu'elles peuvent développer en service régulier même au régime unihoraire, mais elle a montré qu'on disposait d'une large marge au-dessus de la vitesse maximale autorisée à cette époque (150 km/h).

Les très nombreux essais à des vitesses de l'ordre de 200-220 km/h effectués par la Société Nationale des Chemins de fer Français sur la section de ligne Les Aubrais-Vierzon, en courant continu 1,5 kV, et sur la section de ligne Strasbourg-Mulhouse en courant alternatif 25 kV-50 Hz, l'exploitation de la nouvelle ligne du Tokaido par les Chemins de fer Nationaux Japonais (4), le train *Capitole* Paris-Toulouse de la Société Nationale des Chemins de fer Français et certains services Hambourg-Munich du Chemin de fer Fédéral Allemand, ainsi qu'aux Etats-Unis les services « Metroliners » du New York-Washington ont nettement établi les possibilités de la traction électrique dans le domaine de l'exploitation aux très grandes vitesses (200 km/h), quelle que soit la nature du courant : alternatif 25 kV - 60 Hz pour la ligne du Tokaido, 15 kV - 16 2/3 Hz pour le Chemin de fer Fédéral Allemand, 11 kV - 25 Hz aux Etats-Unis; continu 1,5 kV sur la ligne Paris-Toulouse.

Dans le cas de lignes dont l'importance du trafic ne justifie pas l'électrification, la réalisation des très grandes vitesses se heurtait à la faible puissance massique des engins moteurs malgré les progrès réalisés dans la construction des moteurs Diesel, et l'allègement bien connu des autorails.

(1) La constitution de ce groupement a été exposée et les matériels mis en service par les réseaux adhérents ont été décrits dans *Le Génie Civil* des 15 septembre et 1^{er} novembre 1959.

(2) Sur la plupart des relations T.E.E., l'accroissement de la fréquentation a conduit à remplacer les trains automoteurs par des rames de plus grande capacité tractées par locomotives. En raison du développement de l'électrification en Europe, la plupart des relations T.E.E. sont maintenant assurées en traction électrique.

(3) Les conditions de réalisation de ces essais à très grande vitesse ont été exposées dans *Le Génie Civil* du 15 octobre 1955.

(4) Les caractéristiques de cette nouvelle ligne spécialement construite pour les grandes vitesses et la description du matériel roulant ont été données dans *Le Génie Civil* de janvier et mars 1967.

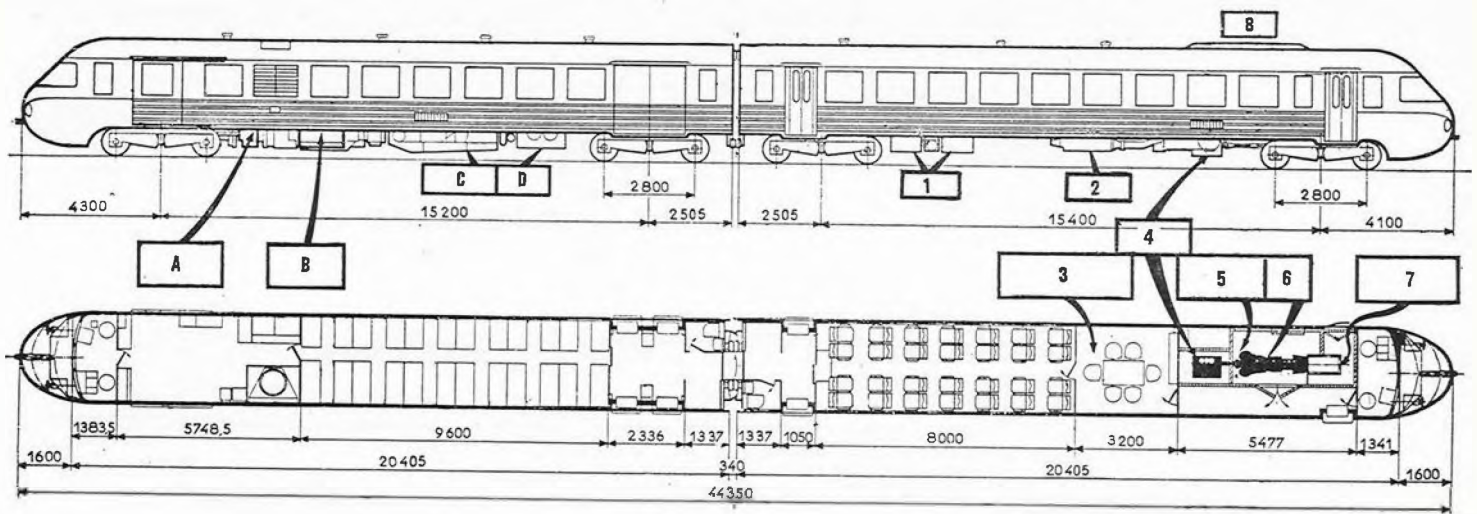


FIG. 1. — Diagramme de l'élément automoteur expérimental à turbine à gaz.

(Document S.N.C.F.)

Motrice de l'élément automoteur 330 kW.

A : boîte de vitesse; B : moteur Diesel; C : réservoir; D : équipement de chauffage.

Remorque transformée en motrice à turbine à gaz.

1. Réservoirs de combustibles (gas-oil et P.S.P.); 2. Équipement de chauffage; 3. Compartiment laboratoire; 4. Réducteur-inverseur; 5. Compartiment insonorisant; 6. Turbine; 7. Aspiration; 8. Echappement.

Dans ces conditions, les réseaux étaient conduits à rechercher un moteur thermique de plus forte puissance massique et s'orientèrent naturellement vers la turbine à gaz dont les applications se sont constamment développées en aéronautique depuis la Seconde Guerre mondiale et qui a maintenant supplanté quasi-totalement le moteur à piston dans ce domaine, en raison de sa puissance massique très élevée, de son maître-couple réduit, de son entretien plus simple et d'autres avantages tels que l'absence quasi-totale de vibrations.

L'adaptation à la traction ferroviaire de la turbine à gaz d'aviation était d'autant plus intéressante que ces turbines sont maintenant construites en série à des prix au cheval devenant compétitifs avec ceux des moteurs Diesel de puissance du même ordre et que les consommations spécifiques ont été fortement réduites.

Cette adaptation a été particulièrement étudiée et essayée par quatre réseaux : les Chemins de fer Nationaux du Canada (5); la Société Nationale des Chemins de fer Français; le Penn-Central; les Chemins de fer Russes. Plus récemment,

(5) Les caractéristiques et dispositions générales des rames à turbine à gaz mises en service par les Chemins de fer Nationaux du Canada ont été données dans *Le Génie Civil* de février 1967.

le Chemin de fer Fédéral Allemand (6), les Chemins de fer Britanniques (7) et les Chemins de fer Nationaux du Japon (8) se sont intéressés à de telles réalisations.

La Société Nationale des Chemins de fer Français entreprit son étude dans le courant de l'année 1965 et réalisa un élément automoteur expérimental à turbine à gaz (fig. 1) en partant d'un élément automoteur de 330 kW (450 ch) dans des conditions qui ont été exposées dans *Le Génie Civil* de décembre 1967.

Les résultats des essais effectués au cours des années 1967 à 1969 ayant été très satisfaisants au double point de vue

(6) Les rames T.E.E. Diesel-hydrauliques du Chemin de fer Fédéral Allemand, décrites dans *Le Génie Civil* du 15 septembre 1959, ont été transférées au service intérieur « Inter-City » et, dans le courant de l'année, cinq de leurs motrices seront transformées pour être équipées de turbines à gaz K.H.D. — type Lycoming TF 35, de 2 500 ch, en remplacement du moteur Diesel de 1 000 ch, afin de constituer des rames automotrices rapides turbo-Diesel (série VT 602) à vitesse maximale de 200 km/h, pour les services rapides sur les lignes non électrifiées.

(7) Les Chemins de fer Britanniques ont choisi des turbines multiples de type Leyland, d'une puissance de 350 ch, qui seront montées sous un turbo-train.

(8) Les Chemins de fer Nationaux du Japon, après expérimentation sur autorail, envisagent de faire construire des automotrices triples à turbines de type américain General Electric de 1 000 à 1 500 ch.

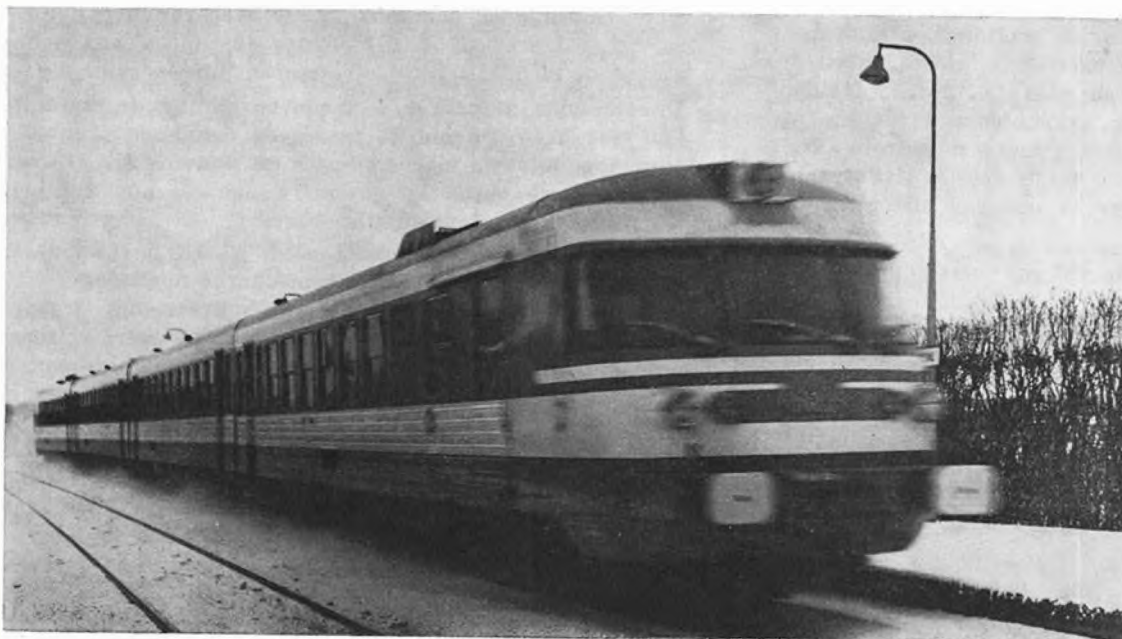


FIG. 2. — Un des éléments automoteurs à turbine à gaz E.T.G. « Turbo-train ».

(Photo S.N.C.F.)

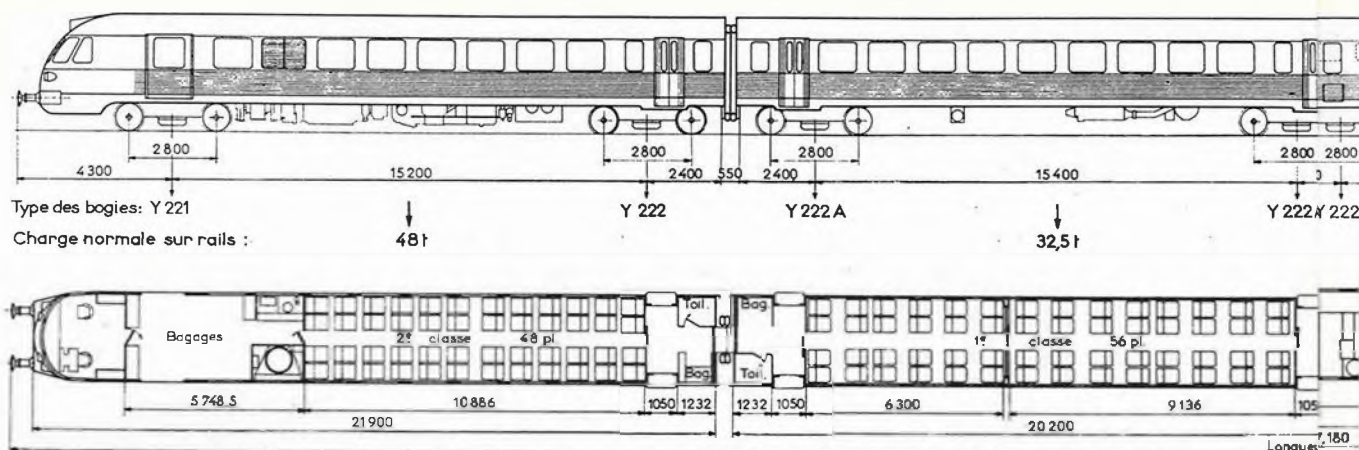
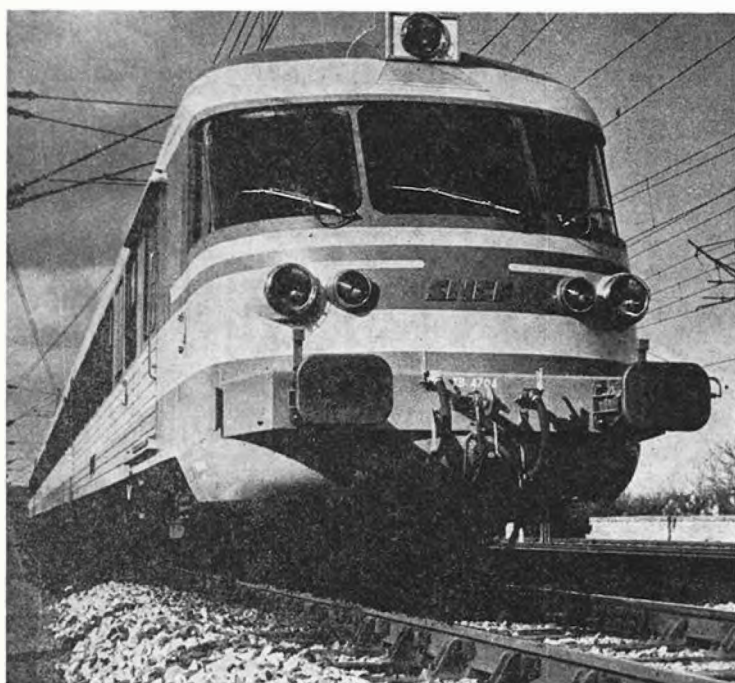


FIG. 3. — Diagramme des éléments automoteurs à turbine à gaz. E.T.G. « TurboSé d

FIG. 4. — Extrémité de caisse profilée des motrices.



des performances et de l'endurance, la vitesse de 239 km/h a été atteinte le 18 avril 1968 sur la section Les Aubrais-Vierzon et 200 000 km ont été parcourus à des vitesses comprises entre 130 et 200 km/h ou plus, la S.N.C.F. décida la construction de dix éléments automoteurs à turbine à gaz (fig. 2 à 4) (E.T.G.), également dénommés « turbotrain » (9) et directement dérivés de cet élément automoteur expérimental.

Nous nous proposons de décrire ce nouveau matériel qui

(9) Le terme « Turbotrain » est d'un caractère très général, comme celui d'« Autorail » et englobera diverses séries de matériels de la S.N.C.F. et autres administrations ferroviaires, ayant comme point commun l'utilisation de la turbine à gaz comme appareil moteur. Essentiellement destiné à la grande diffusion, ce terme a été adopté par la S.N.C.F. et par les Chemins de fer Nationaux du Canada.

En ce qui concerne les matériels de la S.N.C.F., à la série E.T.G. décrite ici, s'ajoutera la série R.T.G. Rames à Turbines à Gaz, éléments multiples à deux turbines et transmission hydraulique destinée à remplacer les Rames Grand Parcours R.G.P. dont les premières unités ont été mises en service en 1954 pour les grandes relations transversales. Ces dernières rames ont été décrites dans *Le Génie Civil* du 15 novembre 1957.

L'élément automoteur expérimental à turbine à gaz décrit dans *Le Génie Civil* de décembre 1967 a reçu la désignation TGS.

a été étudié par la Division des Etudes de Traction à Moteurs Thermiques (D.E.T.M.T.) de la S.N.C.F., plus particulièrement en vue d'assurer les services de la ligne Paris-Caen-Cherbourg (371 km) et d'exposer son exploitation sur cette ligne, qui a été essentiellement conçue en vue de la multiplication des dessertes et d'une importante réduction des temps de parcours (29 mn sur le trajet Paris-Caen, 1 h 49 mn au lieu de 2 h 18 mn). Après les caractéristiques et dispositions générales, nous examinerons successivement les châssis-caisses, les bogies, le freinage, le moteur Diesel, la turbine, les transmissions, les équipements électrique et pneumatique, le chauffage, la protection contre l'incendie et les aménagements intérieurs.

CARACTÉRISTIQUES ET DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Ainsi que nous l'avons indiqué ci-dessus, les éléments automoteurs E.T.G. dérivent directement de l'élément automoteur expérimental à turbine à gaz et, par conséquent, des éléments automoteurs de 330 kW. Ils sont indéformables et leur composition est la suivante :

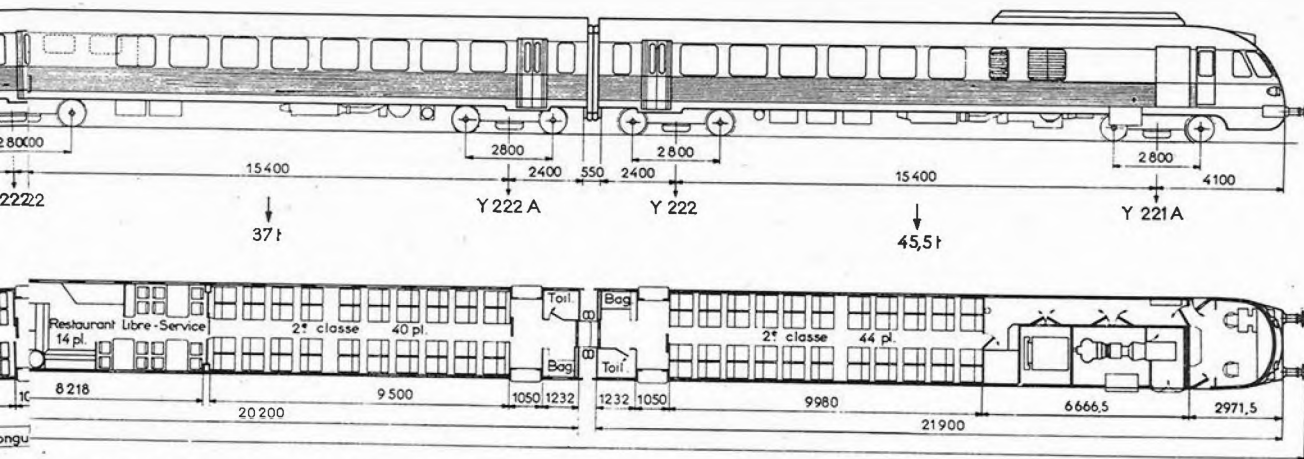
- Une motrice à moteur Diesel avec cabine de conduite (XBD 4701 à 10) offrant 48 places de deuxième classe et comportant un compartiment pour bagages.
- Une remorque de première classe (XRAz 8701 à 10) offrant 56 places.
- Une remorque de deuxième classe avec restaurant libre-service (XBRz 8801 à 10) offrant 40 places, auxquelles s'ajoutent 14 places pour le restaurant libre-service.
- Une motrice à turbine à gaz avec cabine de conduite (XB 4801 à 10) offrant 44 places de deuxième classe.

Le nombre total de places offertes est donc de 188 (132 en deuxième classe et 56 en première classe), non compris les 14 places du restaurant libre-service.

La longueur totale de l'élément est de 87, 180 m et sa masse totale est de 144 t à vide et 163 t en charge normale.

Les extrémités des motrices sont équipées des organes classiques de choc et de traction; les attelages entre voitures d'un même élément sont constitués par de simples barres d'accouplement. Les éléments ne sont pas équipés pour la marche en couplage.

La traction mixte turbine à gaz et moteur Diesel a été adoptée par la Division des Etudes de Traction à Moteurs Thermiques pour cette première réalisation de série, non pas en raison d'un manque de confiance dans la fiabilité de la turbine, mais seulement pour la nécessaire rapidité d'exécution de rames dont la composition est pour l'instant limitée à quatre voitures.



rb d'une motrice à moteur Diesel, de deux remorques et d'une motrice à turbine à gaz.

(Document S.N.C.F.)

Les motrices à moteur Diesel ne diffèrent que très peu de celles des éléments automoteurs de 330 kW. Elles sont équipées du moteur Diesel S.F.A.C. Saurer plat monté sous caisse, d'un coupleur hydraulique Ferodo, d'une boîte de vitesses mécanique De Diétrich à huit vitesses et d'une transmission par arbres à cardans et ponts moteurs entraînant les deux essieux du bogie extrême côté cabine. La puissance d'utilisation est de 330 kW (450 ch), l'effort à la jante au démarrage de 2 450 da N et l'effort à la jante à 160 km/h de 580 da N.

Les motrices à turbine à gaz sont équipées d'une turbine Turboméca IIIIF1, d'une transmission hydraulique Voith L411rU à coupleur et convertisseur de couple, suivie d'une transmission par arbres à cardans et ponts moteurs entraînant les deux essieux du bogie extrême côté cabine. La puissance d'utilisation est de 820 kW (1 112 ch), l'effort à la jante au démarrage de 6 750 da N et l'effort à la jante à 160 km/h de 1 620 da N.

Le moteur Diesel et la turbine sont commandés indépendamment de chacune des cabines et le démarrage peut s'effectuer en utilisant seulement le moteur Diesel ou la turbine, ou les deux simultanément.

La vitesse maximale est de 180 km/h.

CHASSIS-CAISSES

Les châssis-caisses sont de même conception générale que ceux des éléments automoteurs de 330 kW, mais la spécialisation de ces rames aux services rapides a conduit à prévoir pour les motrices des extrémités de caisse profilées analogues à celles de l'élément automoteur expérimental et d'un dessin très voisin de celles des Rames à Grands Parcours (R.G.P.) ou Trans-Europ-Express (T.E.E.) de la S.N.C.F. (10), et à supprimer sur chacune des faces des motrices, une des deux portes contiguës d'accès, ce qui a permis de réduire de

(10) Ces matériels ont été décrits dans *Le Génie Civil* des 15 novembre 1957 et 15 septembre 1959.

2,336 m à 1,050 m la largeur de la plate-forme correspondante et d'allonger de 1,286 m le compartiment de deuxième classe. Le décor extérieur des caisses est traité en deux teintes : chaudron et blanc cassé.

De construction entièrement soudée à partir d'éléments emboutis ou laminés et pliés, avec revêtement extérieur au-dessous de la ceinture constitué de tôles raidies par des nervures longitudinales, les châssis-caisses forment des ensembles de très grande rigidité qui résistent sans déformation permanente ni contraintes excessives à un effort de compression de 150 t appliqué au niveau des organes de tamponnement. Les planchers sont calculés pour une charge de 265 kg/m².

Les cabines de conduite sont constituées d'une coque en polyester reposant sur une ossature en acier, soudée à l'ossature et renforcée à sa partie inférieure par un caisson métallique largement dimensionné, destiné à assurer la protection du personnel de conduite. Les trois glaces frontales de cabine sont en verre semi-trempe de 12 mm d'épaisseur. La glace médiane et la glace face au conducteur sont du type « à résistance chauffante » et sont équipées chacune d'un essuie-glace entraîné par moteur électrique et d'un lave-glace.

La construction et l'habillage des caisses ont été confiées, ainsi que le montage général, aux Ateliers de Construction du Nord de la France.

BOGIES

L'élément automoteur expérimental était équipé des bogies du type Y 214, dérivé du type Y 207 et spécialement étudié pour les très grandes vitesses. Le coût assez élevé des bogies de ce type et la vitesse maximale prévue de 180 km/h ont conduit à adopter des bogies des types Y 221 et 221 A pour les bogies moteurs, des types Y 222 et 222 A pour les bogies porteurs. Ces types de bogies (fig. 5) sont de même conception générale que ceux des éléments automoteurs de 330 kW, mais

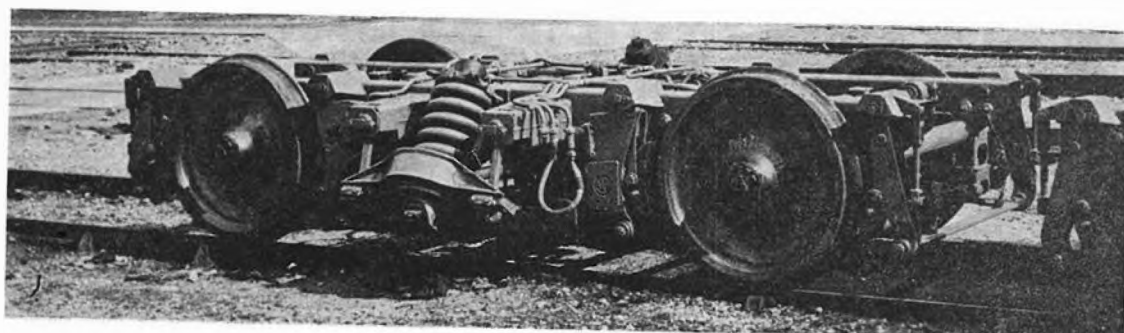


FIG. 5. — Bogie porteur.

leur empattement est sensiblement plus grand, 2,800 m au lieu de 2,500 m, en raison de l'emplacement nécessaire pour les systèmes de freinage. Ils sont équipés de roues monobloc de diamètre 900 mm et se composent (fig. 6) :

- d'un châssis en tôle soudée avec longerons en caisson A;
- des boîtes d'essieux B à roulements à rouleaux SKF liées aux châssis de bogie par deux lames élastiques C;
- une suspension primaire assurée par des ressorts hélicoïdaux D et complétée par quatre amortisseurs verticaux de galop, un par boîte;
- une suspension secondaire du type pendulaire à ressorts hélicoïdaux E, guidés par l'amortisseur hydraulique vertical F, disposé suivant leur axe;
- une liaison caisse-bogie assurée par deux bielles G reliant le châssis de bogie à une broche verticale formant pivot et fixée à la caisse.

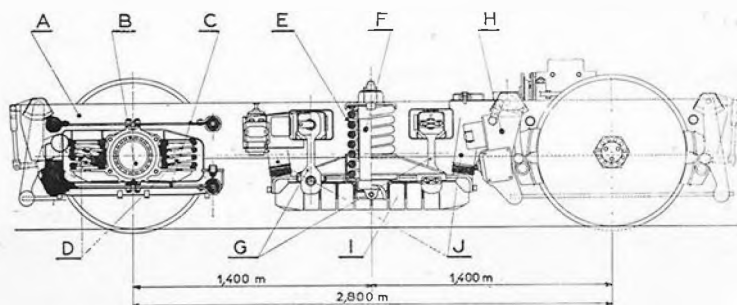


FIG. 6. — Elévation - coupe schématique d'un bogie moteur.

A : châssis de bogie ; B : boîte d'essieu à rouleaux ; C : bras de ressort ; D : suspension primaire ; E : suspension secondaire ; F : amortisseur hydraulique de suspension secondaire ; G : bielles de liaison du balancier de suspension secondaire ; H : bloc frein à air ; I : frein à patin électromagnétique ; J : suspension du frein à patin électromagnétique. (Document S.N.C.F.)

La charge par essieu moteur étant plus grande que sur les éléments automoteurs de 330 kW, le diamètre des fusées de ces essieux a été porté à 170 mm au lieu de 150 mm.

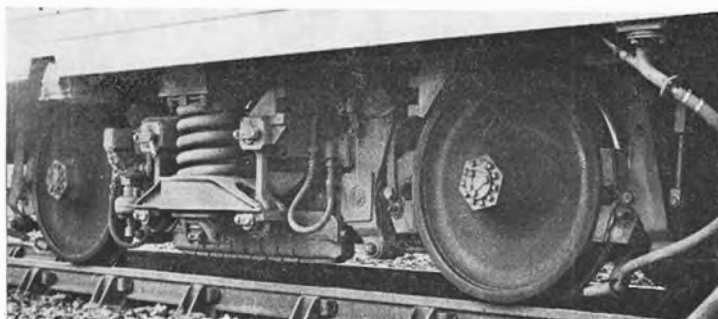
En raison de la vitesse maximale de 180 km/h, tous les essieux sont équipés d'un détecteur de vitesse COTEP pour la commande du dispositif d'anti-enrayage. En outre, les essieux moteurs entraînés par la turbine sont également équipés d'un détecteur de vitesse COTEP pour déceler les patinages.

Les bogies porteurs et moteurs ont été construits par les Ateliers de Construction du Nord de la France.

FREINAGE

Les éléments sont équipés du frein pneumatique du type JMR modérable au serrage et au desserrage, utilisé sur de nombreux types d'autorails et éléments automoteurs thermiques ou électriques. L'effort de freinage est appliqué sur chaque roue par deux sabots à double semelle en matière composite commandé par un bloc-frein Westinghouse P 80 qui comporte un dispositif permettant de maintenir constant le jeu des semelles. En outre, la circulation à vitesse dépassant

FIG. 7. — Frein à patin électromagnétique avec relevage électropneumatique Knorr.



160 km/h a conduit à compléter le freinage pneumatique par un ensemble de freinage à patins électromagnétiques du type Knorr avec un système de relevage électropneumatique (fig. 7). C'est l'adoption de deux dispositifs de freinage qui a imposé l'augmentation d'empattement des bogies de 300 mm.

Les deux systèmes sont mis en action par dépression dans la conduite générale. Le freinage à patins électromagnétiques est déclenché automatiquement par une dépression de 2,5 bars, mais seulement si la vitesse est supérieure ou égale à 50 km/h; il n'est pas réglable après déclenchement, et reste un frein d'urgence, non de service.

Les dépressions dans la conduite générale s'obtiennent par action sur :

- le manipulateur du robinet de mécanicien à commande électrique;
- la commande de secours, en cas de défaillance du robinet de mécanicien à commande électrique;
- la valve d'urgence;
- les robinets de secours;
- le dispositif VACMA (Veille Automatique à Contrôle de Maintien d'Appui).

Le manipulateur du robinet de mécanicien à commande électrique, la commande de secours et la valve d'urgence sont à la disposition du conducteur; un des robinets de secours est à la disposition de l'agent d'accompagnement et les autres robinets de secours sont répartis dans les compartiments, à la disposition des voyageurs.

Les deux bogies moteurs sont équipés chacun de quatre sablières, avec dispositif de sablage à deux régimes :

- faible débit pour les vitesses inférieures à 50 km/h;
- fort débit pour les vitesses égales ou supérieures à 50 km/h.

Les distances de freinage sont de 800 m à 160 km/h et de 1 100 m à 180 km/h.

MOTEUR DIESEL

Les motrices à moteur Diesel sont équipées du moteur S.F.A.C. Saurer à suralimentation par turbo-compresseur Brown Boveri VTR 160, à six cylindres (175 × 200) en ligne horizontale, dont la puissance nominale est de 330 kW (450 ch) au régime de 1 500 tr/mn.

Disposé sous la caisse et suspendu au châssis en trois points par l'intermédiaire de supports élastiques avec butées longitudinales, le moteur porte : le coupleur hydraulique Ferodo; le générateur électrique du compte-tours; le servomoteur électropneumatique de la commande à distance de l'injection; l'électro-aimant d'arrêt; la pompe d'alimentation en gas-oil à partir du réservoir.

Le lancement du moteur s'effectue au moyen d'un démarreur électrique Bosch du type TB développant une puissance de 18 ch et alimenté sous la tension de 72 V par une batterie d'accumulateurs alcalins S.A.F.T. du type 13GN22 installée dans la caisse.

La régulation est assurée par un régulateur du type « maxi-mini » qui agit sur l'injection de telle sorte que la vitesse de rotation ne dépasse jamais 1 500 tr/mn, quel que soit le couple résistant. Ce régulateur fixe également l'injection résiduelle minimale pour maintenir le moteur au ralenti. L'injection est d'autre part réglée en huit crans à partir du manipulateur de chaque cabine de conduite par l'intermédiaire d'un servomoteur électropneumatique qui commande la pompe d'injection au moyen d'un jeu de leviers et de renvois.

L'aspiration d'air s'effectue sur une des faces par une baie latérale à persienne, au travers de filtres garnis de crin. Néoprène. La tubulure des gaz d'échappement débouche sur la toiture par l'intermédiaire d'un silencieux Boët.

Le refroidissement est assuré par un groupe Chausson disposé dans la caisse et se composant d'un radiateur à deux éléments, d'un ventilateur à hélice Boirault et d'une buse d'aspiration. Les éléments de radiateur sont disposés à

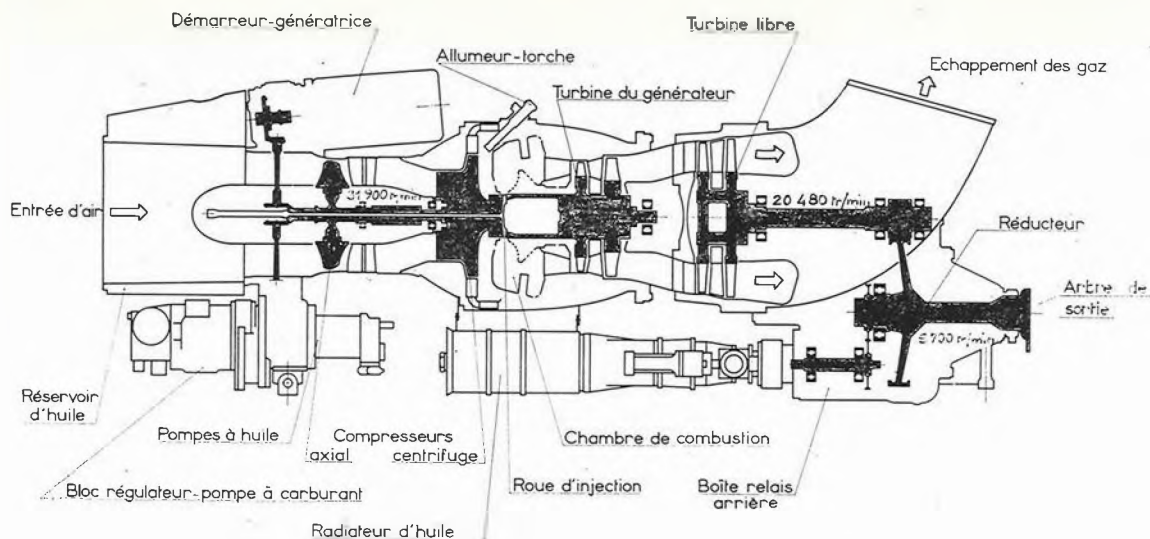


FIG. 8. — Coupe longitudinale schématique du turbomoteur III F1 de la Société Turboméca.

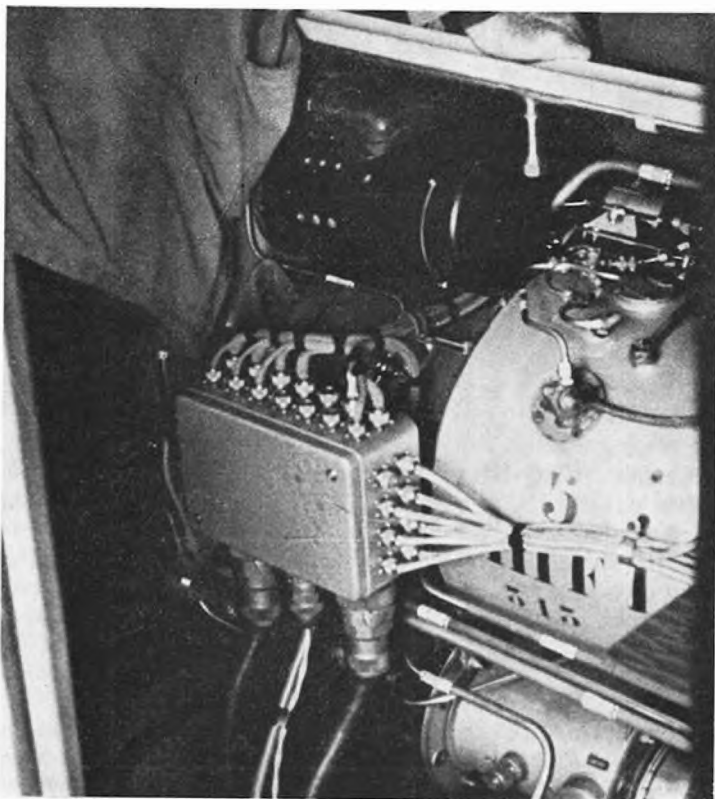
proximité d'une face au niveau des baies du compartiment voyageurs. Le ventilateur est entraîné par un moteur hydraulique alimenté par une pompe entraînée par le moteur Diesel. La circulation de l'eau dans les radiateurs est réglée par une vanne à action progressive SART. Le circuit de refroidissement assure le réchauffage du réservoir de gas-oil et comporte un échangeur installé sous la caisse en vue de réchauffer l'air destiné au chauffage des compartiments voyageurs.

Pour faciliter le démarrage du moteur Diesel par temps froid, la motrice est équipée d'un groupe Avialex de 30 000 kcal/h qui permet de réchauffer l'eau avant le lancement.

La protection du moteur Diesel est assurée par :

- un thermostat température eau qui provoque la mise au ralenti dès que la température dépasse 94 °C;
- un niveau d'eau qui provoque l'arrêt en cas de manque d'eau;

FIG. 9. — Vue partielle du turbomoteur Turmo III F1 installé dans l'automatrice.



- un manostat pression d'huile qui provoque l'arrêt en cas de pression inférieure à 1,1 bar;
- un thermostat incendie qui provoque l'arrêt en cas de température supérieure à 225 °C à proximité du moteur.

TURBINE A GAZ

Dispositions générales

L'élément automoteur expérimental était équipé d'une turbine à gaz à deux arbres du type Turmo III C de la Société Turboméca, équipant les hélicoptères *Super Frelon* et leur version civile SA321F, et développant sur l'arbre de la turbine libre une puissance de 1 100 kW (1 500 ch) en régime de décollage et de 960 kW (1 300 ch) en régime de croisière. Sa puissance en service ferroviaire a été limitée à 820 kW (1 100 ch) en service continu afin d'accroître sa longévité et son endurance. L'expérience acquise au cours des essais a conduit à la mise au point d'un type dérivé de turbomoteur, le Turmo III F1 qui diffère du Turmo III C essentiellement par le renforcement du réducteur et des arbres de sortie de la turbine motrice permettant un couple maximal sur l'arbre de sortie de 250 m da N, et un dispositif de limitation automatique du couple et de la puissance développés.

Comme le Turmo III C, le Turmo III F1 se compose (fig. 8) :

- d'un compresseur à un étage axial et un étage centrifuge avec leurs diffuseurs;
- d'une chambre de combustion annulaire avec injection rotative du combustible et allumage initial par deux allumeurs-torches auxiliaires à ignition électrique;
- d'une première turbine à deux étages axiaux entraînant le compresseur à une vitesse de 31 900 tr/mn au régime nominal;
- d'une seconde turbine, dénommée turbine motrice, turbine libre ou de travail, également à deux étages axiaux, dont l'arbre est accouplé à un réducteur à pignons droits de rapport 3,59. Au régime nominal, la vitesse sur l'arbre de cette turbine est de 20 480 tr/mn, soit 5 700 tr/mn sur l'arbre de sortie du réducteur.

L'ensemble du compresseur, de la chambre de combustion et de la première turbine constitue le générateur de gaz qui alimente la seconde turbine.

La puissance au régime nominal dans les conditions ambiantes de référence (température 15 °C et pression de 1 013 mbar) est de 820 kW (1 100 ch). La consommation spécifique à puissance et vitesse nominales est de 402 g/kWh (295 g/ch.h). La masse (moteur sec) est de 353 kg soit 0,430 kg/kW et 0,320 kg/ch.

Les dimensions hors tout sont : longueur 1,996 m; largeur 0,679 m; hauteur 0,699 m. La figure 9 donne une vue partielle

du turbomoteur Turmo III F1 installé dans le compartiment de l'automotrice.

L'aspiration d'air s'effectue à travers une batterie de douze filtres Lautrette à une couche de crin Néoprène, disposés sur un bâti placé dans un caisson où l'air pénètre à travers un abat-son, par une écope placée sur la partie de la face correspondant au compartiment de la turbine.

L'échappement des gaz s'effectue à travers un silencieux à absorption Boët ou Aman monté sur la toiture (fig. 10) et raccordé à la turbine par une cheminée, laquelle utilise l'énergie cinétique résiduelle des gaz d'échappement pour assurer, par effet de venturi, la ventilation du compartiment de la turbine.

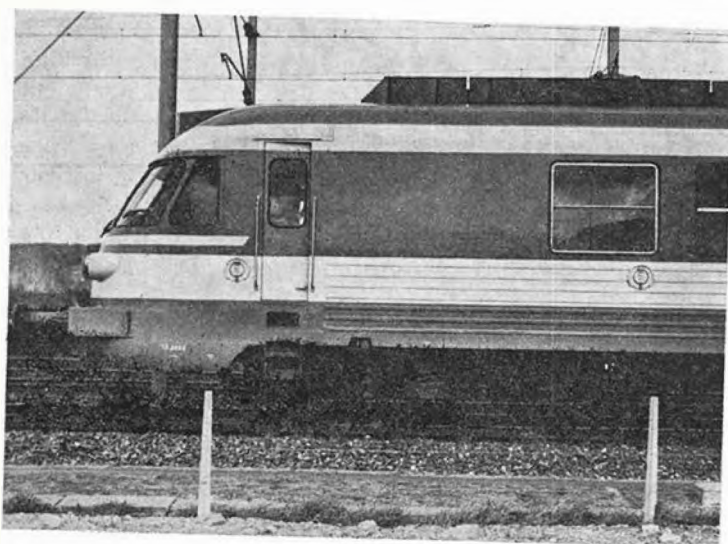
Alimentation en combustible

L'économie d'exploitation imposant d'alimenter la turbine en gas-oil, au lieu du kérosène couramment utilisé en aéronautique, et le gas-oil ne permettant que difficilement l'allumage initial des chambres de combustion, on a dû prévoir, comme sur l'élément automoteur expérimental, une double alimentation en combustible : d'une part, pour le démarrage, l'emploi d'un combustible plus léger que le gas-oil, le pétrole sans paraffine (P.S.P.) couramment approvisionné à la S.N.C.F. pour le chauffage des éléments automoteurs thermiques; d'autre part, après la mise en régime, le gas-oil. La consommation de P.S.P. est d'ailleurs très faible, 2 à 3 l seulement par démarrage. La consommation de gas-oil est d'environ 1,8 l/km pour une vitesse moyenne de 120 km/h.

On a ainsi été conduit au schéma d'alimentation en combustible représenté sur la figure 11. A partir des réservoirs de gas-oil (trois réservoirs de capacité unitaire 800 l) et de P.S.P. (un réservoir de capacité 120 l) tous disposés sous le châssis de l'automotrice, les circuits de gas-oil et de P.S.P. comportent chacun un préfiltre métallique et un groupe électropompe de relevage, alimenté en courant continu sous tension de 72 V, portant à 1 bar la pression dans chacun des circuits; le débit du groupe gas-oil est de 450 l/h et celui du groupe P.S.P. de 150 l/h. Les deux ensembles groupes et filtres sont installés sous le châssis. Les deux circuits comportent ensuite :

- pour le circuit de gas-oil :
 - deux filtres Winslow à éléments interchangeables montés en parallèle avec dégazage permanent à leur partie supérieure;
 - une électrovanne d'arrêt (vanne coupe-feu);
 - les régulateurs de vitesse et débit;

FIG. 10. — Silencieux à absorption monté sur la toiture.



- pour le circuit de P.S.P. :
 - une nourrice d'une capacité de 2 l avec dégazage à sa partie supérieure;
 - un filtre Winslow dont l'élément interchangeable est identique à ceux du circuit de gas-oil;
 - une électrovanne d'arrêt (vanne coupe-feu);
 - un groupe électropompe Ragonot-Magg de débit 130 l/h, alimenté en courant continu sous tension de 72 V, qui élève la pression du pétrole alimentant la roue d'injection pendant les périodes de lancement et d'arrêt;
 - une micropompe d'allumage relevant la pression jusqu'à 4 ou 5 bars pour l'alimentation des allumeurs-torches de la chambre de combustion;
 - un dispositif de démarrage qui dose la quantité de P.S.P. dirigée vers la roue d'injection au cours des phases de lancement et d'arrêt.

Chacun des circuits d'alimentation en combustible est muni de prises auto-obturantes Staubli permettant le branchement rapide d'un manomètre de contrôle.

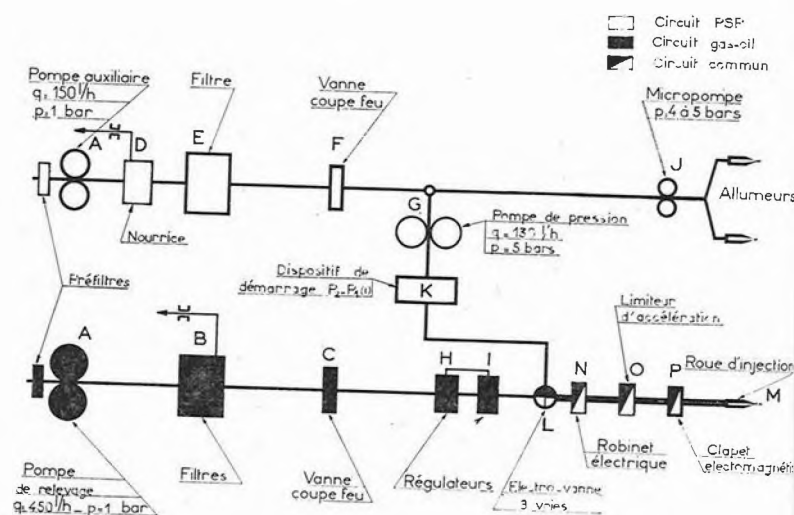


FIG. 11. — Schéma d'alimentation en combustible, gas oil et pétrole sans paraffine (P.S.P.).

(Document S.N.C.F.)

Les deux circuits aboutissent à une électrovanne à trois voies permettant l'alimentation de la roue d'injection en gas-oil ou en P.S.P. La partie de circuit comprise entre cette vanne et la roue d'injection est donc commune au gas-oil et au P.S.P.; elle comporte :

- un robinet électrique;
- un limiteur d'accélération;
- un clapet électromagnétique.

L'électrovanne à trois voies, le robinet électrique et le clapet électromagnétique sont alimentés en courant continu sous tension de 24 V.

Lancement

Le lancement du générateur de gaz s'effectue au moyen d'une dynamo-démarrreur S.E.V. du type 8051 FR, alimenté par une batterie d'accumulateurs alcalins S.A.F.T., du type 700 MH de tension 24 V et capacité 140 Ah. Les deux allumeurs-torches sont alimentés en courant haute tension par une bobine d'allumage. Le fonctionnement du démarreur et des allumeurs-torches est limité automatiquement à l'obtention de la vitesse d'autonomie du générateur de gaz. La mise en action des pompes du système d'alimentation en combustible et le passage de l'alimentation en P.S.P. à l'alimentation en gas-oil sont également automatiques, de telle sorte que la mise en marche de la turbine s'effectue sans aucune intervention

manuelle après l'ordre de lancement donné par le conducteur à partir d'une des cabines de conduite de l'élément.

Régulation

Les variations de régime et la régulation s'effectuent sur le générateur de gaz au moyen d'un ensemble comprenant (fig. 12) : une pompe à combustible, un robinet de débit sur lequel agit la commande d'accélération et le régulateur de vitesse dont le but est de maintenir pour une position choisie de la commande d'accélération, une vitesse sensiblement constante du générateur de gaz, quel que soit le cas de fonctionnement.

Ce régulateur est du type centrifuge à masselottes et la correction s'effectue par un doseur agissant sur le débit du combustible. A l'extérieur du régulateur, des butées mécaniques limitent le déplacement du levier d'accélération et fixent la vitesse de ralenti du générateur de gaz entre 19 000 et 20 000 tr/mn, et sa vitesse maximale à 32 100 tr/mn. Un régulateur de débit entraîné par la turbine motrice agit sur la quantité de carburant délivrée par le régulateur de vitesse et la limite en fonction de la vitesse de cette turbine, assurant ainsi, jusqu'à une vitesse de l'arbre de sortie de 4 000 tr/mn, une limitation de puissance en fonction de la vitesse, par conséquent une limitation automatique du couple. Aux vitesses supérieures, le régulateur de débit n'autorise qu'une consommation maximale de 340 kg/h et assure alors une limitation de puissance. Ce régulateur de débit assure également la détection de survitesse de la turbine motrice.

Lubrification

La lubrification d'une turbine à gaz ne présente aucune difficulté particulière, elle est même plus simple que celle d'un moteur à piston car le nombre de points à lubrifier est beaucoup plus réduit. Le circuit de lubrification est classique avec pompe refoulant l'huile vers les points à lubrifier et la récupérant dans les carters, filtration par filtre métallique nettoyable avec by-pass de sécurité et détection de la pression, refroidissement par aéro-réfrigérant avec ventilateur aspirant entraîné par la turbine. La capacité totale du circuit de lubrification est d'environ 20 l et celle du réservoir est de 13 l. Le lubrifiant utilisé est l'huile synthétique Turbo Nycoil 13 B conforme à la spécification AIR 3513 A. La consommation maximale de lubrifiant est de 0,2 kg/h, très nettement inférieure à celle d'un moteur à piston de même puissance, pour ne pas dire négligeable.

Sécurités

Les dispositifs de sécurité suivants ont été prévus pour éviter toute détérioration grave de la turbine :

- interdiction de lancement de la turbine si le levier de commande d'accélération n'est pas en position de ralenti;
- limitation, lors du lancement du générateur de gaz, du temps de fonctionnement possible du démarreur, de la micropompe et de la bobine d'allumage des allumeurs-torches;
- surveillance de la température des gaz à l'admission de la turbine motrice en vue de s'assurer :
 - lors du lancement, du bon allumage de la chambre de combustion (120 °C) et de la température maximale admissible au cours de l'allumage (750 °C);
 - en ligne, du non-dépassement de la température maximale admissible (730 °C) entre générateur de gaz et turbine libre;
- pression d'huile supérieure à la valeur minimale de sécurité; cette sécurité est neutralisée au début du lancement;
- limitation de la vitesse de la turbine libre en cas de suppression du couple résistant, au moyen d'un dispositif « compte-dents » sur l'arbre de la turbine libre et d'un dispositif centrifuge sur l'arbre de sortie, agissant l'un

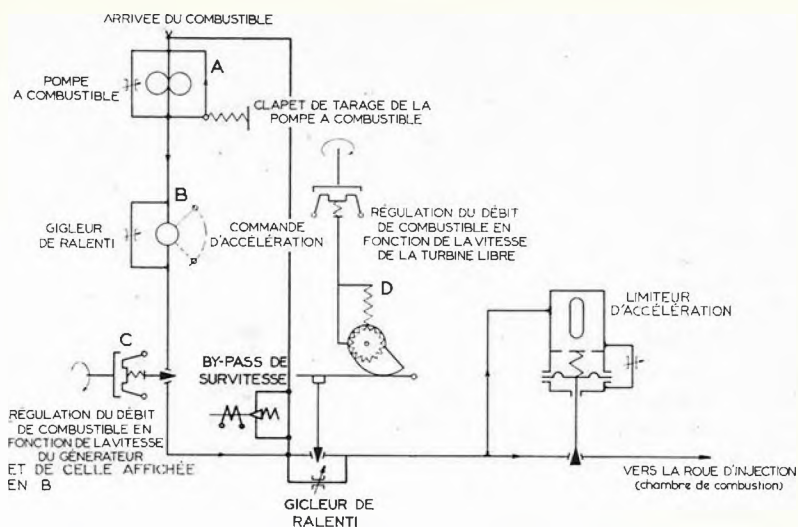


FIG. 12. — Schéma de principe de la régulation du circuit de gas oil.
(Document S.N.C.F.)

et l'autre sur un by-pass incorporé au régulateur de débit et provoquant la mise au ralenti du générateur de gaz, ainsi que sur un clapet électromagnétique provoquant l'arrêt de la turbine.

Enfin, un « arbre à casser » muni d'un détecteur de bris est placé dans l'entraînement du réducteur pour éviter l'emballement de la turbine libre en arrêtant le turbomoteur.

Le fonctionnement des sécurités suivantes est mis en mémoire par sortie de poussoir de cinq disjoncteurs :

- allumage de la chambre au moment du lancement et bon fonctionnement en ligne de la détection de température entre générateur de gaz et turbine libre;
- températures maximales entre générateur de gaz et turbine libre au lancement et en utilisation;
- pression d'huile du turbomoteur;
- rupture de « l'arbre à casser » ou survitesse détectée par un dispositif centrifuge;
- survitesse détectée par le dispositif compte-dents.

Ces disjoncteurs sont disposés dans l'armoire d'appareillage du poste de conduite.

La figure 13 donne le plan d'installation de la turbine dans son compartiment.

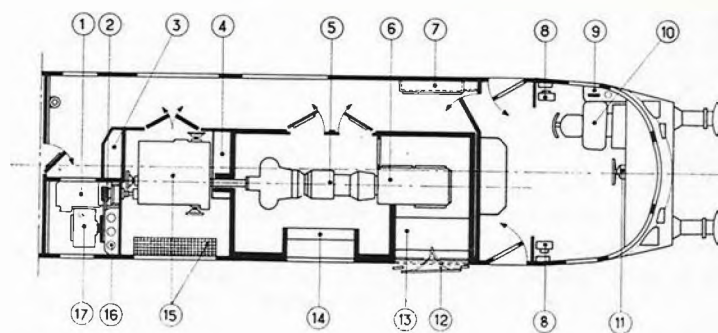


FIG. 13. — Plan d'installation de la turbine à gaz et disposition de la cabine de conduite.

- 1 : alternateur triphasé Statodyne; 2 : armoire d'appareillage électrique; 3 : armoire d'appareillage pneumatique; 4 : armoire à combustible; 5 : turbine à gaz; 6 : coffres à filtres d'aspiration; 7 : batterie d'accumulateurs 24 V; 8 : aérothermes; 9 : pupitre pneumatique; 10 : pupitre de conduite; 11 : frein à main; 12 : écope d'aspiration; 13 : abat-son d'aspiration; 14 : abat-son de ventilation; 15 : transmission hydrocinétique Voith; 16 : extincteurs; 17 : compresseur.

(Document S.N.C.F.)

TRANSMISSIONS

Motrice Diesel

La transmission de la motrice Diesel (fig. 14 et 15) est celle des éléments automoteurs de 330 kW, qui a été décrite dans *Le Génie Civil* du 1^{er} décembre 1964 (p. 447), et se compose :

- d'un coupleur hydrocinétique Ferodo directement accouplé sur l'arbre du moteur Diesel et fixé sur son bâti; il assure la progressivité du démarrage et absorbe les variations brusques de régime éventuelles;
- d'une boîte de vitesses entièrement mécanique et à commande automatique de la Société De Diétrich;
- d'un pont moteur principal sur l'essieu extrême du bogie (rapports 32/37 et 32/43) et d'un pont moteur auxiliaire sur l'autre essieu (rapport 32/43).

La boîte de vitesses De Diétrich est à huit rapports dans les deux sens de marche et engrenages toujours en prise. Les combinaisons d'engrenages réalisant les huit rapports sont obtenues au moyen de quatre embrayages à disques fonctionnant à sec et deux roues libres, qui sont disposés pour réaliser trois paires de dispositifs d'accouplement; pour chacune des vitesses un seul dispositif de chaque paire est en action; les roues libres interdisent, pour la plupart des rapports de vitesses, l'entraînement du moteur par les essieux.

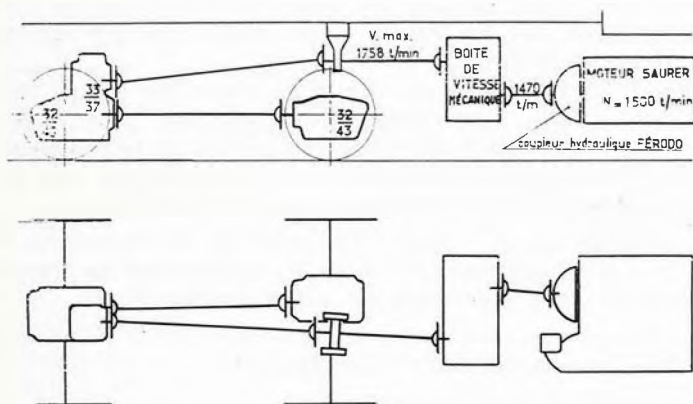


FIG. 14 et 15. — Elévation et plan schématiques de la transmission de la motrice à moteur Diesel. (Document S.N.C.F.)

La commande automatique de cette boîte s'effectue par quatorze contacteurs centrifuges (sept pour les passages à des vitesses croissantes et sept pour les passages à des vitesses décroissantes) entraînés par l'arbre de sortie. Chacun de ces contacteurs est réglé pour établir un contact qui provoque, par l'intermédiaire d'une électro-valve et d'une commande pneumatique, le changement de rapport dès que la vitesse atteint la valeur optimale pour laquelle ce rapport doit être modifié et remplacé par le rapport suivant en croissance ou décroissance.

La commande de la boîte est combinée avec le dispositif de régulation du moteur Diesel pour ramener celui-ci au ralenti lors de chaque passage de vitesse.

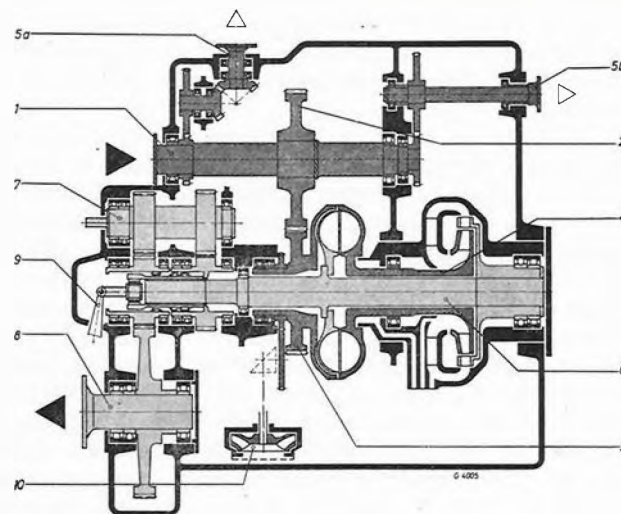
L'arbre d'entrée de la boîte est accouplé au moteur par l'intermédiaire d'un arbre à cardan Glaenzer Spicer-Gelenkwellenbau. Les arbres à cardans entre la sortie de la boîte et le pont moteur principal et entre les deux ponts moteurs sont également de fabrication Glaenzer Spicer-Gelenkwellenbau.

Motrice à turbine à gaz

La motrice à turbine à gaz de l'élément automoteur expérimental était équipée d'une transmission entièrement mécanique très simple mais volumineuse se composant seulement d'un réducteur-inverseur de rapport 2,7, lié à la turbine par une roue libre et un arbre d'accouplement à flectors, et entraînant les essieux par arbres à cardans et deux ponts moteurs.

FIG. 16. — Coupe schématique de la transmission hydrocinétique Voith L 411 rU.

1 : Arbre d'entrée; 2 et 3 : couple d'engrenages droit entraînant l'arbre primaire 4; 5 a : arbre pour l'entraînement du ventilateur de l'aéroréfrigérant; 5 b : arbre pour l'entraînement de l'alternateur et du compresseur; 6 : arbre secondaire; 7 : arbre intermédiaire de l'inverseur de sens de marche; 8 : arbre de sortie; 9 : levier de manœuvre de l'inverseur du sens de marche; 10 : pompe primaire de remplissage pour la lubrification. (Document Voith)



Cette transmission, bien appropriée à un engin expérimental qui disposait d'un double équipement moteur lui assurant une puissance massique de 19 kW/t, le moteur Diesel constituant l'équipement moteur normal des éléments automoteurs de 330 kW à partir desquels l'engin a été réalisé, aurait été inadaptée pour les éléments automoteurs ETG qui disposent pratiquement de la même puissance pour une tare légèrement supérieure au double, correspondant à une puissance massique de 7,98 kW/t à vide et de 7,05 kW/t en charge normale. Malgré l'allure de la caractéristique couple-vitesse de la turbine, beaucoup plus favorable que celle d'un moteur Diesel, il était nécessaire de prévoir, comme sur les autres engins à moteur thermique, un dispositif d'adaptation du couple résistant au couple moteur, soit purement mécanique, soit électrique ou hydraulique.

La solution hydraulique a été retenue sous la forme d'une transmission hydrocinétique Voith du type L 411 rU qui se compose d'un démultiplicateur, d'un convertisseur de couple et d'un coupleur hydrocinétiques vidangeables et d'un inver-

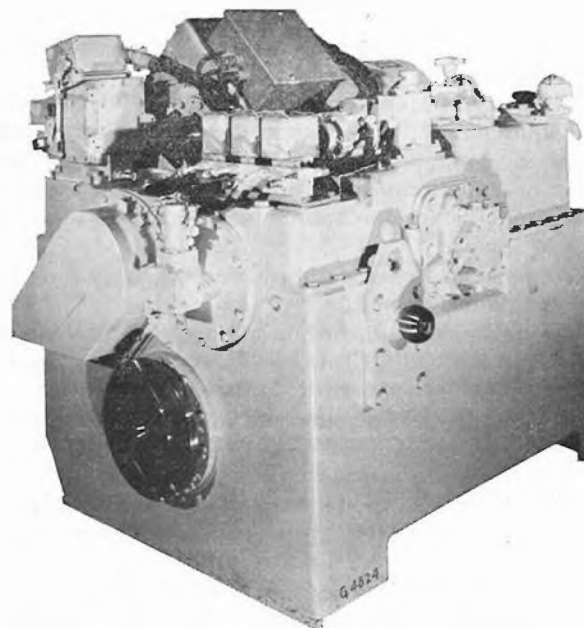


FIG. 17. — Transmission hydrocinétique Voith L 411 rU. (Document S.N.C.F.)

seur (fig. 16 et 17). Le démultiplicateur entraîne simultanément, par un arbre creux, la roue-pompe du convertisseur et celle du coupleur, dont l'ensemble constitue le primaire de la transmission hydrocinétique. Les roues réceptrices du convertisseur et du coupleur qui constituent le secondaire de la transmission hydrocinétique sont solidaires et calées sur un arbre passant à l'intérieur de l'arbre creux et attaquant à son extrémité l'inverseur.

Le fonctionnement est le suivant :

A l'arrêt, le convertisseur et le coupleur sont complètement vidangés, la turbine à gaz peut être lancée et peut tourner à son régime de ralenti, sans qu'un couple soit appliqué sur l'arbre intérieur. Par remplissage du convertisseur de couple, l'arbre intérieur reçoit un couple et le transmet à l'inverseur dont l'arbre de sortie attaque les ponts moteurs. En accélérant la turbine, la rame démarre et sa vitesse s'accroît jusqu'à la vitesse correspondant à l'équilibre entre le couple résistant et le couple moteur sur l'arbre de sortie de la boîte. La transmission est entièrement assurée par le convertisseur de couple tant que la vitesse de la rame ne dépasse pas une certaine valeur à partir de laquelle la transmission s'effectue par le coupleur, le passage du convertisseur au coupleur s'effectuant par vidange du premier et remplissage simultané du second, opération qui s'effectue en 4 s environ. Inversement, si la vitesse s'abaisse en dessous de la vitesse limite la transmission passe du coupleur au convertisseur de couple, par opération inverse de vidange du coupleur et remplissage simultané du convertisseur de couple.

La vitesse à laquelle s'effectue la substitution de la transmission par coupleur à la transmission par convertisseur ou

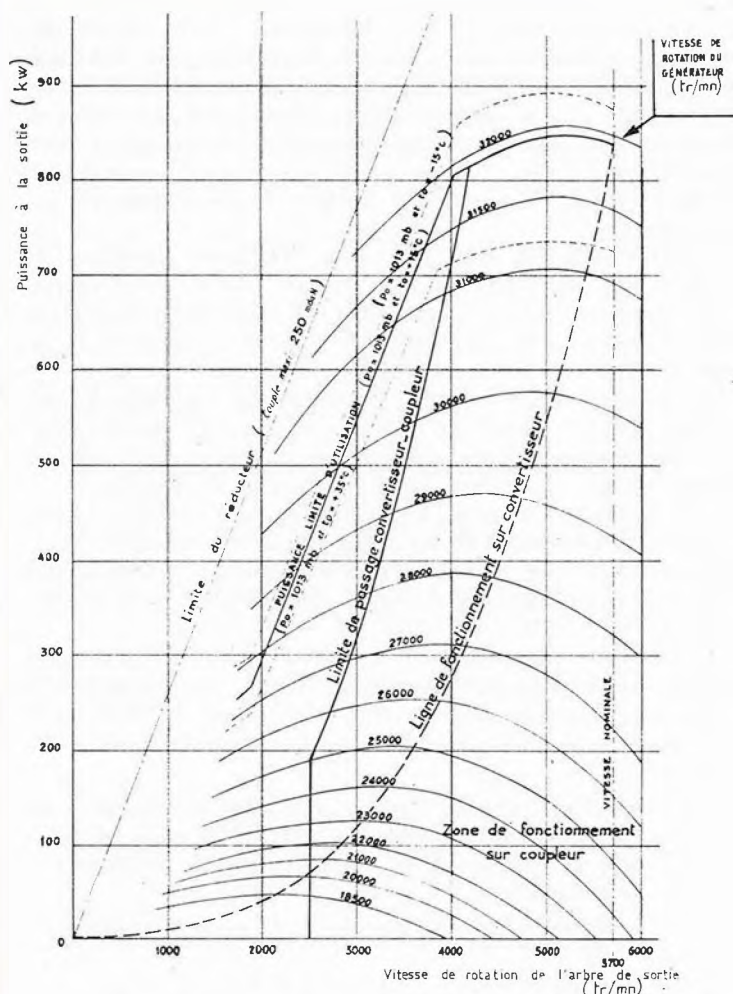


FIG. 18. — Caractéristiques puissance - vitesse de rotation de l'arbre de sortie de la turbine libre, avec les limites de fonctionnement sur convertisseur de couple et coupleur hydrocinétiques pour diverses vitesses de rotation du générateur de gaz.

(Document S.N.C.F.)

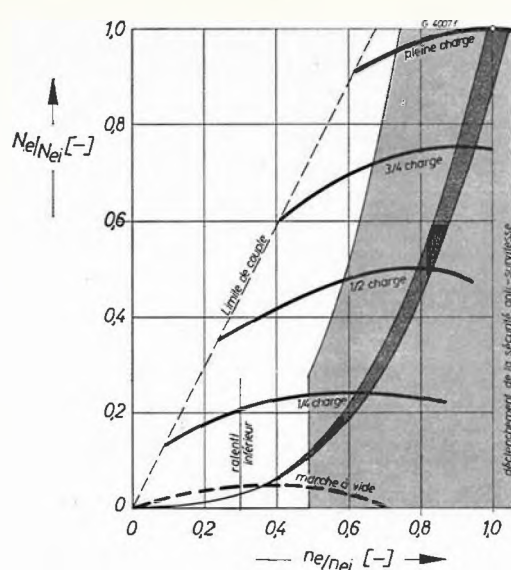


FIG. 18 bis. — Zones d'utilisation avec convertisseur de couple ou coupleur hydrocinétiques pour divers régimes du générateur de gaz (quart, demi, trois quarts et pleine charge).

La zone claire correspond au fonctionnement avec le coupleur et la zone ombrée au fonctionnement avec le convertisseur de couple. Ce diagramme est établi en valeurs relatives de puissance N/N_{ei} et de vitesse n/n_{ei} de l'arbre de sortie du turbomoteur (rapport de la puissance développée à la puissance maximale et de la vitesse à la vitesse maximale).

(Document Voith)

inversement est fonction, à la fois, de la puissance développée par la turbine, c'est-à-dire de l'injection, et de la vitesse de la rame. En pratique cette vitesse limite pourra varier, avec les réglages prévus soit, pour une vitesse maximale de 180 km/h, entre 80 et 135 km/h, suivant l'injection; entre ces valeurs, le passage du convertisseur au coupleur ou inversement s'effectue toujours pour la même valeur du rapport des vitesses primaire et secondaire du convertisseur, il est commandé par un régulateur centrifuge lié à la vitesse du train et corrigé par un dispositif pneumatique raccordé à la commande d'injection du générateur de gaz.

La figure 18 donne les caractéristiques puissance-vitesse de rotation de l'arbre de sortie de la turbine libre, avec les limites de fonctionnement sur convertisseur de couple et coupleur hydrocinétiques, pour diverses vitesses de rotation du générateur de gaz.

La figure 18 bis donne en valeurs relatives de puissance développée et de vitesse de l'arbre de sortie du turbomoteur les zones d'utilisation avec convertisseur de couple au coupleur hydrocinétique pour divers régimes du générateur de gaz (quart, demi, trois quarts et pleine charge). La zone claire correspond au fonctionnement avec le coupleur et la zone ombrée au fonctionnement avec le convertisseur de couple. Comme sur la figure 18, on retrouve la droite correspondant à la limite du couple maximal (250 m daN) admissible sur l'arbre de sortie du réducteur du turbomoteur.

La figure 19 donne les courbes Effort-Vitesse pour la traction par la turbine seule et par l'ensemble turbine et moteur Diesel. La figure 19 bis donne l'allure de la variation de l'effort de traction et du rendement de la transmission hydrocinétique Voith L 411 rU en fonction du rapport de la vitesse à la vitesse maximale; l'effort de traction étant rapporté à l'effort de traction à la vitesse maximale pour une transmission sans perte ($\eta = 100\%$).

Deux sécurités sont prévues pour l'huile de cette transmission :

- un thermostat qui commande la coupure de traction et la mise au ralenti de la turbine, si la température de l'huile s'élève au-dessus d'une certaine valeur;
- deux manostats dont les capteurs surveillent respectivement la distribution et le remplissage, et qui commandent l'arrêt de la turbine en cas d'insuffisance de pression.

Le refroidissement de l'huile s'effectue dans des échangeurs huile-air refroidis par un ventilateur (aéroréfrigérant) entraîné par l'intermédiaire d'un coupleur hydrocinétique à remplissage variable dont le primaire est entraîné par une prise de force liée à l'arbre d'entrée de la transmission.

La transmission hydrocinétique Voith L 411 rU est conçue pour transmettre une puissance maximale de 1 100 kW (1 500 ch); sa masse totale est de 2 150 kg à laquelle s'ajoutent 550 kg

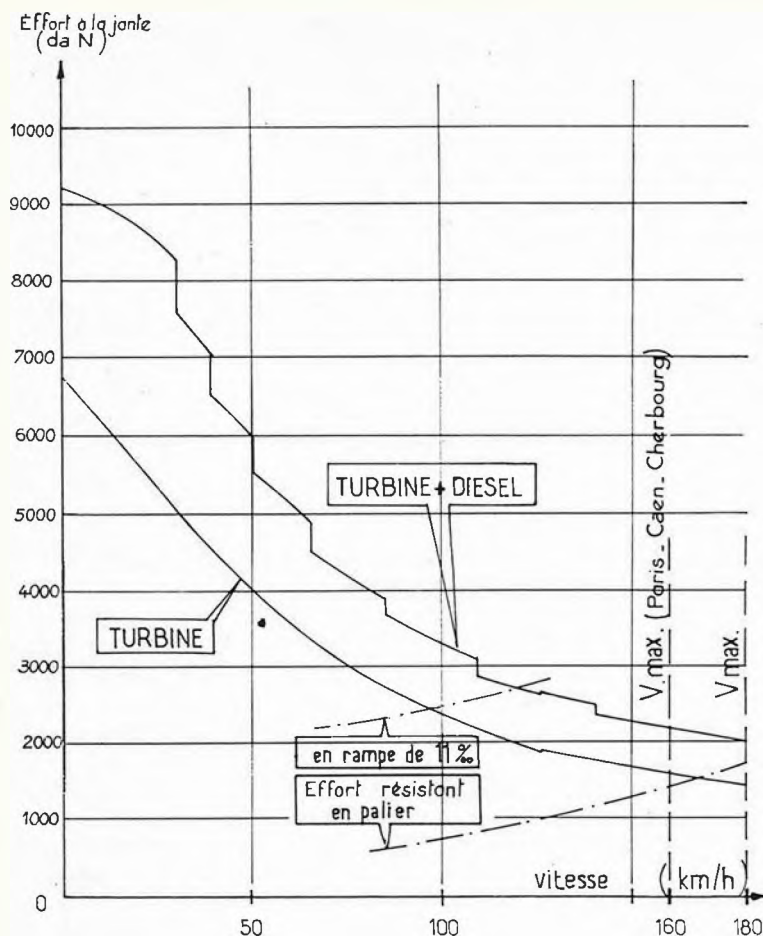


FIG. 19. — Caractéristiques Effort-Vitesse.
(Document S.N.C.F.)

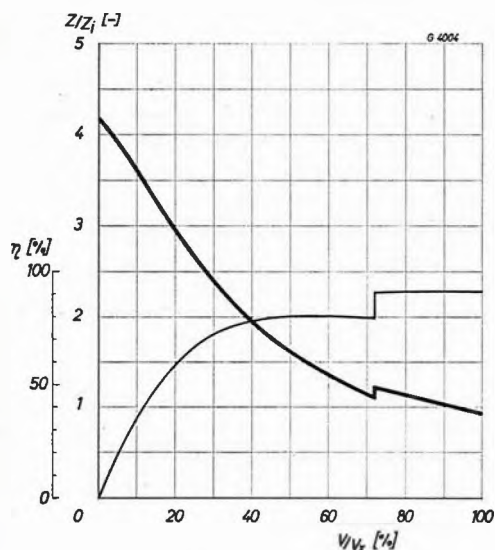
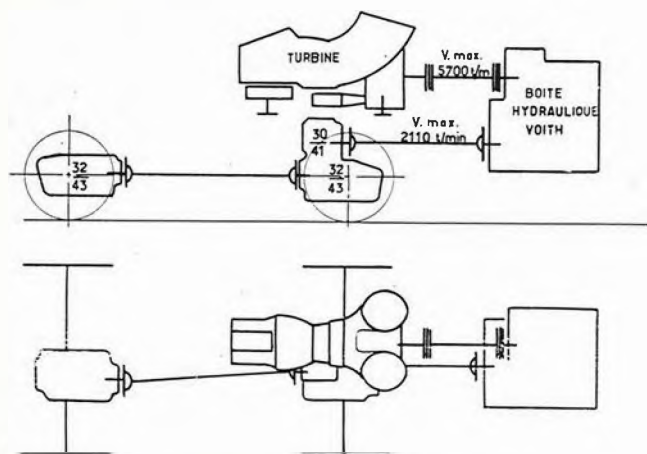


FIG. 19 bis. — Allure de variation de l'effort de traction et du rendement de la transmission hydrocinétique Voith L411 rU en fonction du rapport de la vitesse à la vitesse maximale.
(Document Voith)



pour l'aéroréfrigérant d'huile. Elle est liée à l'arbre de sortie de la turbine libre par un arbre à flectors et au pont moteur principal par un arbre à cardan Glaenzer Spicer-Gellenkwellenbau; l'arbre à cardan entre les deux ponts moteurs est de même fabrication (fig. 20 et 21). Comme la figure 17 le montre, la transmission assure aussi l'entraînement de l'alternateur de l'équipement électrique et du compresseur d'air du type 222 VBr de l'équipement pneumatique, également par arbres à cardan Glaenzer Spicer-Gelenkwellenbau. L'arbre d'entrée et celui de sortie sont sur la même face du carter.

Des sécurités interdisent toute fausse manœuvre de l'inverseur de sens de marche.

Dans les conditions standards de l'atmosphère (température 15 °C — pression 1013 mbar), la turbine permet de développer avec cette transmission un effort à la jante de 6 750 daN au démarrage comme le montre la caractéristique effort-vitesse (fig. 19), sur laquelle on voit que l'effort total à la jante pour l'ensemble de la turbine et du moteur Diesel dépasse 9 000 daN.

L'étude de l'adaptation de la transmission hydrocinétique a été confiée à la Société Alsthom.

Le montage de l'ensemble de l'équipement de la turbine à gaz et de la transmission hydrocinétique Voith a été effectué par les ateliers du Mans de la S.N.C.F., qui a également exécuté l'habillage des compartiments de la turbine et d'appareillage.

EQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

L'énergie électrique est produite par deux alternateurs triphasés Statodyne de la Société l'Eclairage des Véhicules sur Rails (E.V.R.) d'une puissance unitaire de 25 kW, entraînés l'un par le moteur Diesel, l'autre par une prise de force sur la transmission hydraulique de la turbine comme nous l'avons indiqué ci-dessus, ainsi que par un dynamo-démarrreur S.E.V. accouplé à l'arbre du générateur de gaz (fig. 22).

La distribution le long de la rame s'effectue d'une part en courant triphasé 380 V avec neutre par deux lignes alimentées chacune par un alternateur et non interconnectées, d'autre part en courant continu 72 V et 24 V, par deux lignes sous tension de 72 V et une ligne sous 24 V.

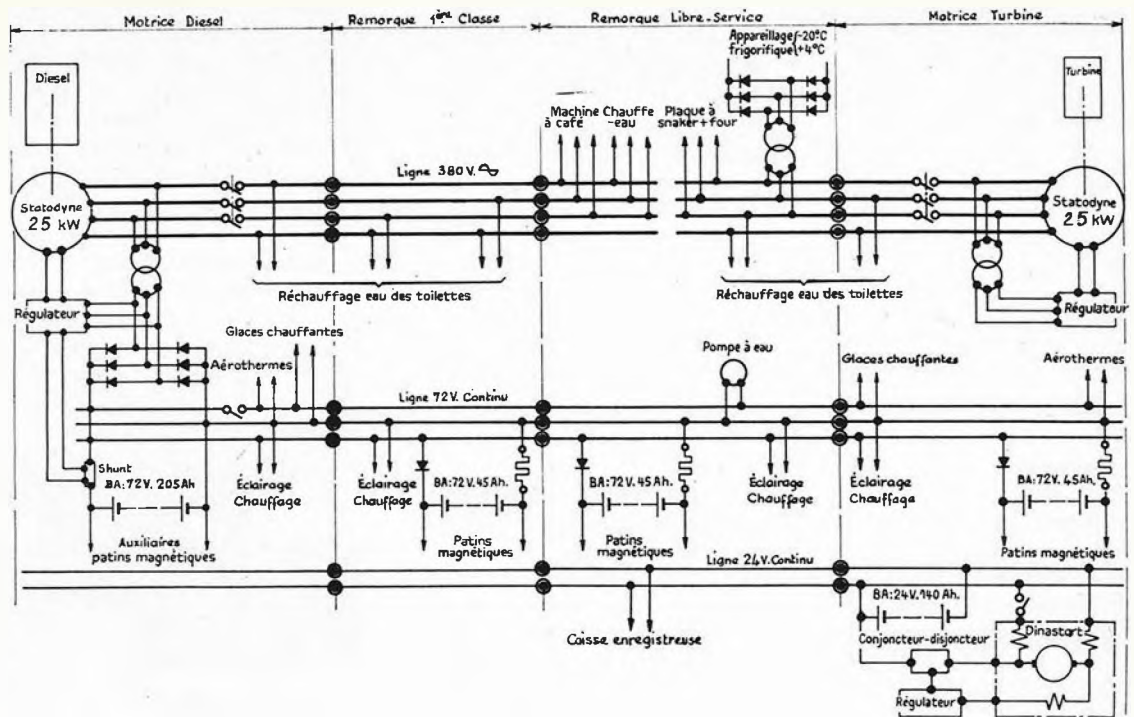
Le courant alternatif 380 V alimente les appareils à forte consommation : chauffage de l'eau et appareils de chauffage et réfrigération de la restauration libre-service, lesquels absorbent une puissance totale de l'ordre de 30 kW.

Les appareils à forte consommation sont alimentés par branchement triphasé 380 V, les appareils à consommation plus modeste, tels que les réchauffeurs d'eau des toilettes sont alimentés par branchement entre neutre et phase sous tension de 220 V.

Le courant continu 72 V est fourni, à partir de l'alternateur Statodyne entraîné par le moteur Diesel, par un ensemble transformateur-redresseur triphasé en pont de Graetz. Il alimente, par deux lignes s'étendant sur toute la longueur de la rame :

- les circuits de charge des batteries d'accumulateurs, une par voiture, qui assurent l'alimentation des patins électromagnétiques de freinage d'urgence, ainsi que celle de certains auxiliaires;
- l'ensemble des circuits de commande et de contrôle sous tension de 72 V;
- les appareils d'éclairage et de chauffage de cabine;
- les glaces chauffantes.

FIG. 20 et 21. — Elévation et plan schématiques de la transmission de la motrice à turbine à gaz. (Document S.N.C.F.)



La batterie d'accumulateurs de la motrice Diesel, d'une capacité de 250 Ah, est connectée directement aux bornes du redresseur, donc en parallèle sur les deux lignes de distribution le long de la rame et fonctionne en batterie flottante dans les conditions usuelles sur les équipements électriques du matériel roulant ferroviaire.

En vue de limiter la décharge de cette batterie dans le cas où son maintien en charge n'est pas assuré, par exemple avant la mise en marche du moteur Diesel ou à la suite d'une avarie du transformateur-redresseur ou de l'alternateur triphasé, une des lignes courant continu 72 V est dans ce cas automatiquement mise hors circuit.

Les batteries 72 V des autres voitures sont spécialisées dans l'alimentation des patins électromagnétiques du freinage d'urgence et, par raison de sécurité, sont connectés à la ligne 72 V par l'intermédiaire d'un redresseur semi-conducteur interdisant leur fonctionnement en batterie flottante sur la ligne. Par cette disposition on est assuré que ces batteries sont toujours maintenues à pleine charge et, par conséquent, toujours en mesure, d'alimenter les patins électromagnétiques sous la tension nominale, garantissant ainsi l'efficacité du freinage électromagnétique sur rails.

Le courant continu 24 V, distribué sur toute la longueur de la rame par une ligne entièrement indépendante des autres circuits de l'équipement, assure le lancement du générateur de gaz de la turbine par la dynamo-démarrreur (Dynastart S.E.V.) et alimente les essuie-glaces et lave-glaces de cabine ainsi que la caisse enregistreuse du libre-service. La batterie 24 V - 140 Ah est maintenue en charge par la dynamo-démarrreur.

ÉQUIPEMENT PNEUMATIQUE

La production d'air comprimé est assurée par deux compresseurs Chabay-Westinghouse 222 VBr, d'un débit unitaire de 700 l/mn sous pression de 8 à 9 bars, qui sont entraînés l'un par le moteur Diesel, l'autre par prise de force sur la transmission hydrocinétique Voith. La production d'air comprimé d'un seul compresseur est suffisante pour le service de la rame.

La régulation de la production d'air comprimé entre les pressions minimale et maximale de 8 et 9 bars est réalisée par action simultanée sur les deux compresseurs.

CHAUFFAGE

Le chauffage des compartiments voyageurs est assuré par air pulsé, distribué par deux gaines installées sur plancher le long des faces latérales. Pour la motrice Diesel l'air chaud est fourni par un échangeur Tunzini parcouru par l'eau de refroidissement du moteur Diesel, maintenue éventuellement à une température suffisante par un appoint calorifique fourni par un réchauffeur Avialex de 30 000 kcal/h. Pour la motrice à turbine à gaz et les remorques, l'air est chauffé par passage dans un échangeur dans lequel circulent les gaz d'un brûleur à combustible liquide Avialex.

Les cabines de conduite sont équipées chacune de deux aérothermes électriques de 1 500 W sous 72 V. Un de ces aérothermes peut être laissé en service dans la cabine inoccupée.

PROTECTION CONTRE L'INCENDIE

La capacité totale des réservoirs de combustible étant de 2520 l, la protection contre l'incendie a fait l'objet d'une étude très complète qui a conduit à prévoir trois protections :

- protection générale;
- protection particulière au compartiment de la turbine à gaz;
- protection de la motrice Diesel.

La protection générale est assurée par cinq extincteurs à eau pulvérisée de capacité unitaire de 9 l et seize extincteurs de 2 kg chacun, répartis dans les quatre voitures.

La protection du compartiment de la turbine à gaz est assurée par un circuit de détection et une installation fixe de protection commandée à distance (fig. 23). La détection s'effectue par neuf détecteurs à bi-lames disposés aux points sensibles de la turbine. Le fonctionnement de ces détecteurs entraîne l'arrêt de la turbine et une signalisation par clignotement d'une lampe apparaît simultanément sur les pupitres des deux cabines de conduite. Le produit extincteur (halogène 12 B1) est stocké dans trois bouteilles de charge unitaire 10 kg sous pression de 14 bars à + 20 °C. Une rampe de diffusion équipée de quatre ajutages est disposée à la partie supérieure et dans l'axe de la turbine avec une dérivation permettant d'obtenir une bonne saturation du compartiment. La commande à distance est réalisée par des boutons-poussoirs disposés dans les cabines de conduite et à proximité du compartiment de la turbine.

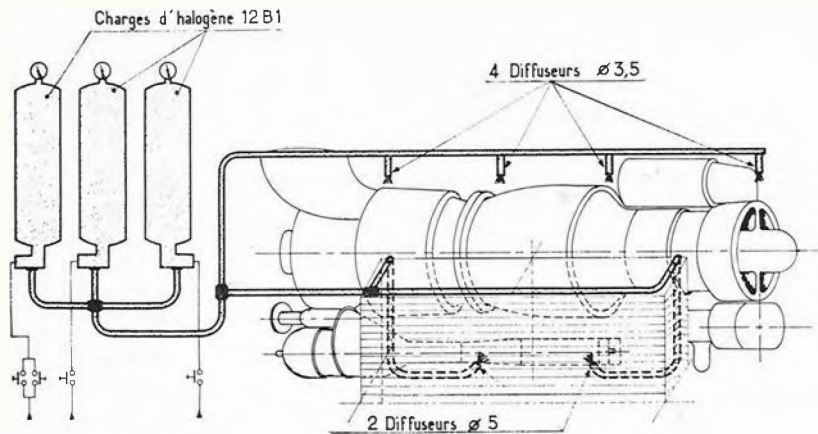


FIG. 23. — Schéma de principe du système de protection contre l'incendie de la turbine à gaz. (Document S.N.C.F.)

Le moteur Diesel est équipé de deux sondes détectives disposées aux points les plus sensibles et provoquant simultanément, dès que la température dépasse 225 °C, l'arrêt du moteur et une signalisation par clignotement d'une lampe sur les deux pupitres de conduite.

CABINE DE CONDUITE

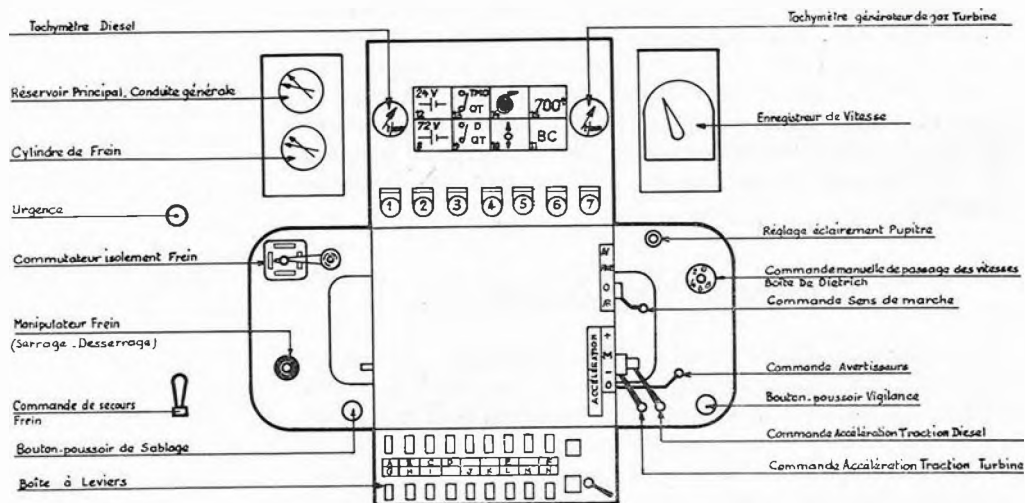
Les cabines de conduite, dont la disposition est schématisée sur la figure 13, dérivent directement de celle des cabines de l'élément automoteur expérimental à turbine à gaz. Le pupitre de commande, du type « fonctionnel », rassemble toutes les commandes comme le montrent les figures 24 et 25. Les commandes d'accélération de la turbine à gaz et du moteur Diesel sont entièrement indépendantes et s'effectuent par deux manettes coaxiales sur le côté droit du pupitre.

AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR

L'aménagement intérieur a été conçu pour offrir dans les deux classes un confort bien adapté aux relations à moyenne distance et une ambiance agréable. La climatisation n'a pas été retenue car il est apparu que pour le climat régnant sur l'ensemble de la ligne Paris-Caen-Cherbourg et, d'une manière plus générale sur toute la partie de la France au Nord de la Loire, le nombre de jours dans une année où la température extérieure s'élève à une valeur pouvant altérer le confort dans les voitures est généralement très réduit.

FIG. 25. — Disposition des commandes et des appareils de contrôle et de sécurité sur le pupitre de conduite.

1 : bouton-poussoir blocage des vitesses ; 2 : bouton-poussoir pour lancement du moteur Diesel ; 3 : bouton-poussoir pour arrêt du moteur Diesel ; 4 : interrupteur d'essai des lampes de signalisation ; 5 : bouton-poussoir pour lancement de la turbine à gaz ; 6 : bouton-poussoir pour l'arrêt de la turbine à gaz ; 7 : bouton-poussoir pour l'arrêt d'urgence du moteur Diesel et de la turbine ; 8 : lampe de signalisation charge de la batterie 72 V ; 9 : lampe de signalisation relais traction Diesel ; 10 : lampe de signalisation défaut d'inversion ; 11 : lampe de signalisation décel de boîtes chaudes ; 12 : lampe de signalisation charge de batterie 24 V ; 13 : lampe de signalisation relais traction turbine et incendie ; 14 : lampe de signalisation de patinage ; 15 : lampe de signalisation température à la sortie du générateur de gaz ; A : bouton-poussoir réarmement du relais traction Diesel ; B : bouton-poussoir réarmement relais traction turbine ; C : interrupteur marche automatique du compresseur ; D : interrupteur marche directe du compresseur ; E : interrupteur glace chauffante anti-buée ; F : interrupteur éclairage ; G : interrupteur lampes cabine ; I : interrupteur lampe pupitre ; J : interrupteur lampe fanal ; KL : bouton-poussoir pour projecteur fanal ; M : interrupteur d'essai veille automatique ; N : interrupteur maintien éclairage.



(Document S.N.C.F.)

Dans les deux classes, les compartiments sont équipés de fauteuils individuels disposés par quatre de front. Ceux de première classe (fig. 26) comportent un réglage d'inclinaison du dossier, lui-même muni, sur la face postérieure d'une tablette escamotable; ils sont recouverts de tissu « vert capitole » et munis de housses têtes. Ceux de deuxième classe sont recouverts de Texoid rouge (fig. 27). L'orientation des sièges est fixe, moitié dans le sens de la marche, moitié dans le sens inverse.

Les compartiments sont très soigneusement insonorisés par application de laine de verre dans les faces et pavillons et des panneaux insonorisants spéciaux dans le plancher.

Les planchers sont recouverts de moquette en première classe, de dalles en matière plastique en deuxième classe.

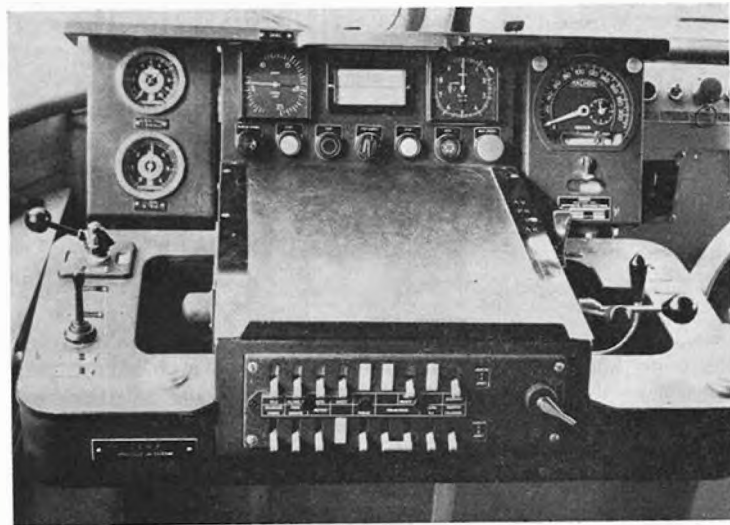


FIG. 24. — Pupitre de conduite.

L'éclairage est assuré dans les compartiments des deux classes par des tubes fluorescents disposés obliquement par rapport à l'axe longitudinal des voitures et dissimulés par un garnissage en matière plastique translucide, la rampe lumineuse ainsi constituée s'étend dans la partie centrale et sur toute la longueur du plafond des voitures assurant un très bon éclairage au niveau des sièges sans aucun éblouissement.

Les porte-bagages sont en acier inoxydable et disposés longitudinalement comme sur la plupart des autorails ou éléments automoteurs de la S.N.C.F. Ils sont complétés dans

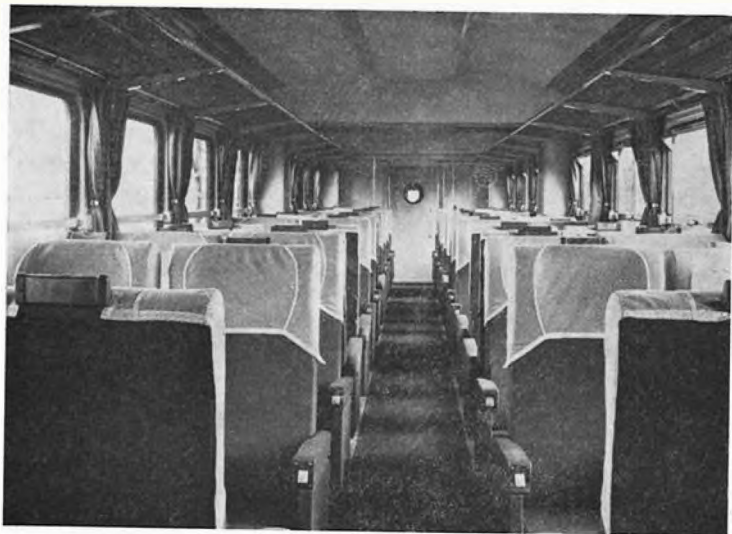


FIG. 26. — Compartiment de première classe. (Photo S.N.C.F.)

chacune des voitures par un casier à bagages aménagé à la plate-forme d'accès.

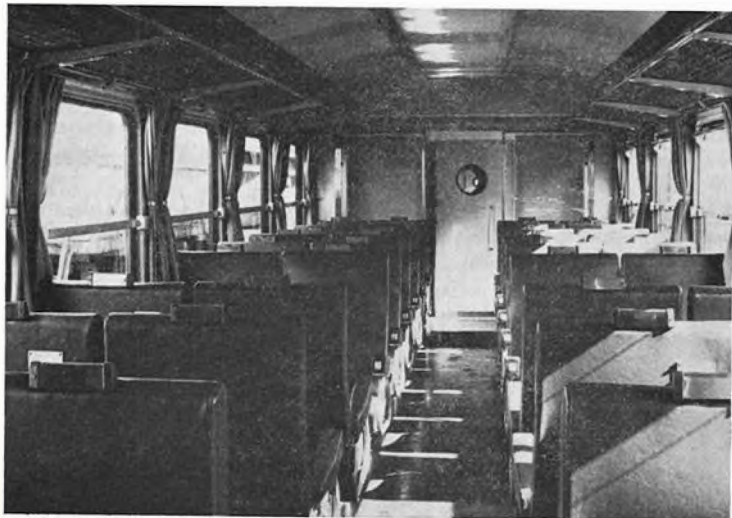
EXPLOITATION

Ainsi que nous l'avons indiqué au début de cet article, ces nouveaux éléments automoteurs ont été plus particulièrement conçus en vue d'améliorer les services de la ligne Paris-Caen-Cherbourg en accroissant la vitesse commerciale et la fréquence des dessertes pour se rapprocher d'un horaire cadencé, avec départ de Paris à une « heure ronde » permettant presque aux usagers de ne pas avoir à recourir à l'indicateur, suivant l'idée déjà exprimée par Raoul Dautry, en 1933, lors de la mise en service des premiers autorails Bugatti sur la relation Paris-Deauville.

Ce nouveau mode d'exploitation de la ligne, qui apporte un relèvement sensible de la qualité du service et ne s'accompagne d'aucun supplément tarifaire, est mis en application par étapes en raison de l'échelonnement des livraisons de matériel, des délais d'exécution des travaux entrepris sur la voie en vue d'augmenter les vitesses autorisées sur la ligne, et du complément d'expérience qu'il est nécessaire d'acquérir pour s'assurer des hypothèses sur la répartition des voyageurs entre les nouveaux horaires.

Depuis le 16 mars, deux aller-retour Paris-Caen sont assurés en deux heures à la vitesse commerciale de 119,5 km/h, et, depuis le 6 avril un troisième aller-retour Paris-Caen est assuré dans les horaires des trains automoteurs rapides de première classe. En outre, depuis le 29 juin, pendant la pleine saison d'été, est assuré également, sauf les jours de pointe, une double relation Paris-Lisieux-Trouville-Deauville en 1 h 49 mn,

FIG. 27. — Compartiment de deuxième classe. (Photo S.N.C.F.)



soit à la vitesse commerciale de 122 km/h, et Paris-Lisieux-Trouville-Dives-Cabourg.

L'achèvement des travaux de voie et la livraison des derniers éléments automoteurs au cours de l'été permettront, à partir du 27 septembre, date d'entrée en vigueur des horaires d'hiver, la mise en place du service définitif qui comportera cinq aller-retour Paris-Caen-Cherbourg, les plus rapides en 3 h 20 mn, soit à 122 km/h de vitesse commerciale, au lieu de 3 h 49 mn précédemment et huit aller-retour Paris-Caen, dont certains en 1 h 49 mn soit à 131 km/h de vitesse commerciale; au total quatorze aller-retour journaliers, seront assurés entre Paris et Caen, treize par turbotrans et un par train classique.

Ainsi une gamme étendue de relations toutes accessibles aux voyageurs des deux classes apportera à la clientèle, plus particulièrement à la clientèle d'affaires, de nouvelles possibilités de transport bien appropriées à ses besoins. Deux liaisons matinales Cherbourg-Paris permettant d'arriver en gare Saint-Lazare à 9 h 22 et 10 h 30 au lieu de 11 h 41, précédemment, et les deux premières liaisons Caen-Paris permettront d'arriver en gare Saint-Lazare à 7 h 30 et 8 h 38, au lieu de 9 h 28 précédemment. En sens inverse, le turbotrain qui partira de Paris à 7 h desservira Caen avant 9 h et arrivera à Cherbourg à 10 h 04. Par le jeu de correspondances, les relations avec les villes desservies par des embranchements, notamment Saint-Lô, Coutances et Trouville-Deauville, seront considérablement améliorées.

✱

Dès la mise en service des premiers éléments, ce nouveau matériel a été très apprécié des usagers à la fois pour la rapidité, le confort et l'ambiance agréable des aménagements intérieurs.

Cette série de dix éléments à traction mixte par turbine à gaz et moteur Diesel sera suivie d'une série de rames à traction entièrement par turbine à gaz, dites R.T.G., qui sont plus particulièrement destinées aux grandes relations transversales telles que Bordeaux-Lyon, Nantes-Lyon, Strasbourg-Lyon. Ces rames, dont seize ont été tout récemment commandées seront composées de deux motrices à turbine à gaz, d'une puissance totale de 1720 kW (2 200 ch) encadrant trois remorques. Elles sont prévues avec attelage entre voitures permettant de faire varier leur composition suivant les besoins du trafic et elles offriront un plus grand confort que les rames E.T.G. par l'aménagement à trois places de front dans les compartiments de première classe, le conditionnement d'air dans toute la rame et l'accroissement de la capacité du restaurant libre-service dont la longueur sera portée à 9,90 m. Le nombre de places offertes sera de 282. L'installation de conditionnement d'air sera alimentée par un groupe électrogène turbine à gaz — alternateur d'une puissance de 300 kVA et fréquence 50 Hz. Le coût de construction d'une telle rame est inférieur à celui d'une rame à moteurs Diesel de même capacité et de mêmes performances. D'autre part, en raison des dépenses d'entretien réduites des turbines à gaz, les dépenses totales de combustible et d'entretien sont moindres en traction par turbine à gaz et ces dépenses ne représentent qu'une partie du coût total kilométrique d'exploitation.

Enfin, deux rames expérimentales à turbines à gaz et transmission et freinage électriques sont commandées en vue de réaliser un matériel pouvant circuler aux vitesses de 250 à 300 km/h. Ces rames sont composées de deux motrices équipées chacune de deux turbines à gaz Turmo III F1 couplées et de trois remorques; elles sont articulées et tous les bogies peuvent être moteurs en vue de réaliser éventuellement l'adhérence totale. Les moteurs de traction sont prévus pour la tension nominale de 1,5 kV afin d'être adaptés à la réalisation éventuelle de rames analogues à traction électrique sur les lignes électrifiées en courant continu 1,5 kV. La livraison de ces deux prototypes est prévue dans le courant de l'année prochaine.

R. PAPAUT et Y. MACHEFERT-TASSIN.