
LOCOMOTIVE A CHAUDIÈRE VELOX

DE LA S. N. C. F.

par M. CHAN,

Ingénieur en Chef, Chef de la Division
des Études de Locomotives à la S. N. C. F. (Région du Sud-Est).

INTRODUCTION

On a souvent observé que la chaudière classique de locomotive, qui existe sur la presque totalité de nos machines, avait très peu varié depuis l'origine. Cette permanence, elle la doit à l'emploi des tubes à fumée et du tirage induit par la vapeur d'échappement qui en a fait, dès le début, un engin susceptible d'un taux de combustion très élevé et d'un grand rendement. Le taux de combustion de nos machines atteint normalement 400 à 500 kg par m² de grille (et par moment 800 et même 1 000 kg) avec un rendement remarquable, puisqu'une chaudière de Pacific à grille de 4,25 m² arrive à brûler 2 100 kg de charbon à l'heure avec un rendement de 70 % — rapport des calories contenues dans la vapeur aux calories du charbon brûlé — et qu'on peut

même atteindre avec du mazout un rendement de 80 %.

Est-ce à dire que la chaudière classique est sans défauts ? Nous ne saurions le prétendre et on peut faire à ce sujet diverses observations :

— Tout d'abord, si élevé que soit son rendement, il y aurait un gain sensible à l'accroître, surtout aux régimes très poussés, où il tombe, avec le charbon, à 60 %.

— D'autre part, la chaudière classique, qui a vu sa pression s'accroître sans cesse en passant par 15 kg/cm² vers 1890, 16 kg/cm² vers 1904, 20 kg/cm² en 1925, rencontre aujourd'hui, du fait des dépenses d'entretien et des difficultés d'établissement, une sorte de plafond qui paraît

être aux environs de 25 kg/cm^2 . Or, il y aurait intérêt, pour le rendement de l'appareil moteur, à dépasser ce chiffre.

Par ailleurs, la masse d'eau d'une chaudière classique est considérable, soit environ 8 t, et il faut pour l'échauffer à l'allumage environ 4 heures à partir de la machine froide. Des pertes de calories se produisent aux périodes d'arrêts.

Enfin, la conduite de la chaudière requiert du personnel chauffeur une connaissance professionnelle assez longue à acquérir.

Ces considérations expliquent que les réseaux français aient accueilli avec intérêt en 1935 une proposition de la Compagnie Electro-Mécanique en vue d'essayer sur une locomotive la chaudière Velox, dont des applications avaient été réalisées dans des installations fixes et marines.

Nous rappelons brièvement les avantages de cette chaudière, qui a été déjà décrite dans les périodiques ⁽¹⁾.

La chaudière Velox brûle son combustible — qui est du mazout — dans une enceinte **sous pression** ($1,5 \text{ kg/cm}^2$ effectif) d'où les gaz chauds s'échappent à travers les éléments vaporisateurs avec une grande vitesse, qui atteint 200 m/sec ; grâce à cette vitesse et sans doute aussi à la compression des gaz, les échanges de calories avec la paroi s'effectuent très rapidement et très complètement. **Le rendement atteint 90 %.**

Cette chaudière est à **tubes d'eau** et à **circulation forcée** remplaçant la circulation naturelle très lente de nos chaudières; sa construction permet de réaliser aisément un générateur capable de supporter de hautes pressions. On construit des chaudières Velox timbrées à 56 Hpz et on peut aller plus loin.

La chaudière Velox — et c'est là une de ses dispositions les plus intéressantes — utilise un très faible volume d'eau. Pour une production de 12 t de vapeur à l'heure, il n'y a à chaque instant, dans la chaudière que 1 500 litres d'eau, dont 600 seulement à échauffer pour la mise en pression. Grâce à cette faible capacité calorifique, la chaudière est à **combustion instantanée**;

elle peut être mise en marche à partir de l'état froid, en 15 mn environ, puis arrêtée et remise en marche quand on le désire.

Enfin, cette chaudière, qui utilise, comme nous l'avons dit, le mazout, permet un réglage complètement automatique des arrivées de combustible et d'air; l'alimentation en eau est également automatique, de sorte que la chaudière ne demande pas d'intervention du personnel de conduite.

Comme on le voit, ce générateur de vapeur répond aux desiderata que nous exprimions au début pour la chaudière de locomotive.

En 1935 toutefois, la chaudière Velox n'avait fait l'objet d'aucune application sur les locomotives. Son fonctionnement soulevait différentes questions :

— Comment fonctionneraient ses nombreux appareils auxiliaires à bord d'une locomotive, avec les trépidations dues à la marche ?

— Une locomotive n'est pas, comme une station fixe ou un navire, soumise à une allure de marche constante. La chaudière Velox suivrait-elle aisément tous les changements d'allure ?

— Enfin, l'alimentation des locomotives, qui s'effectue avec de l'eau brute au lieu de l'eau distillée employée dans les stations fixes ou marines serait-elle compatible avec l'emploi d'une chaudière à si petits tubes, susceptible de s'entartrer ?

Avant toute question d'économie ou de rendement, on voit que l'application d'une chaudière Velox à une locomotive soulevait celle même de savoir si ce type de générateur pourrait ou non fonctionner à bord d'une locomotive.

L'objet de la présente note est de rendre compte de l'essai qui a été entrepris à ce sujet sur une locomotive 230-B de la S. N. C. F. (Région Sud-Est) transformée en 1936-1937.

Nous diviserons ainsi notre exposé :

— Description de la locomotive 230 à chaudière Velox.

— Résultats des parcours en ligne.

— Résultats des essais à poste fixe, effectués au Banc d'essais de Vitry.

— Conclusions permises par les premiers essais effectués.

⁽¹⁾ Voir « Génie Civil » des 4 Août 1934 et 14 Septembre 1935 et « Technique Moderne » du 15 Avril 1937.

A) DESCRIPTION DE LA LOCOMOTIVE 230 A CHAUDIÈRE VELOX

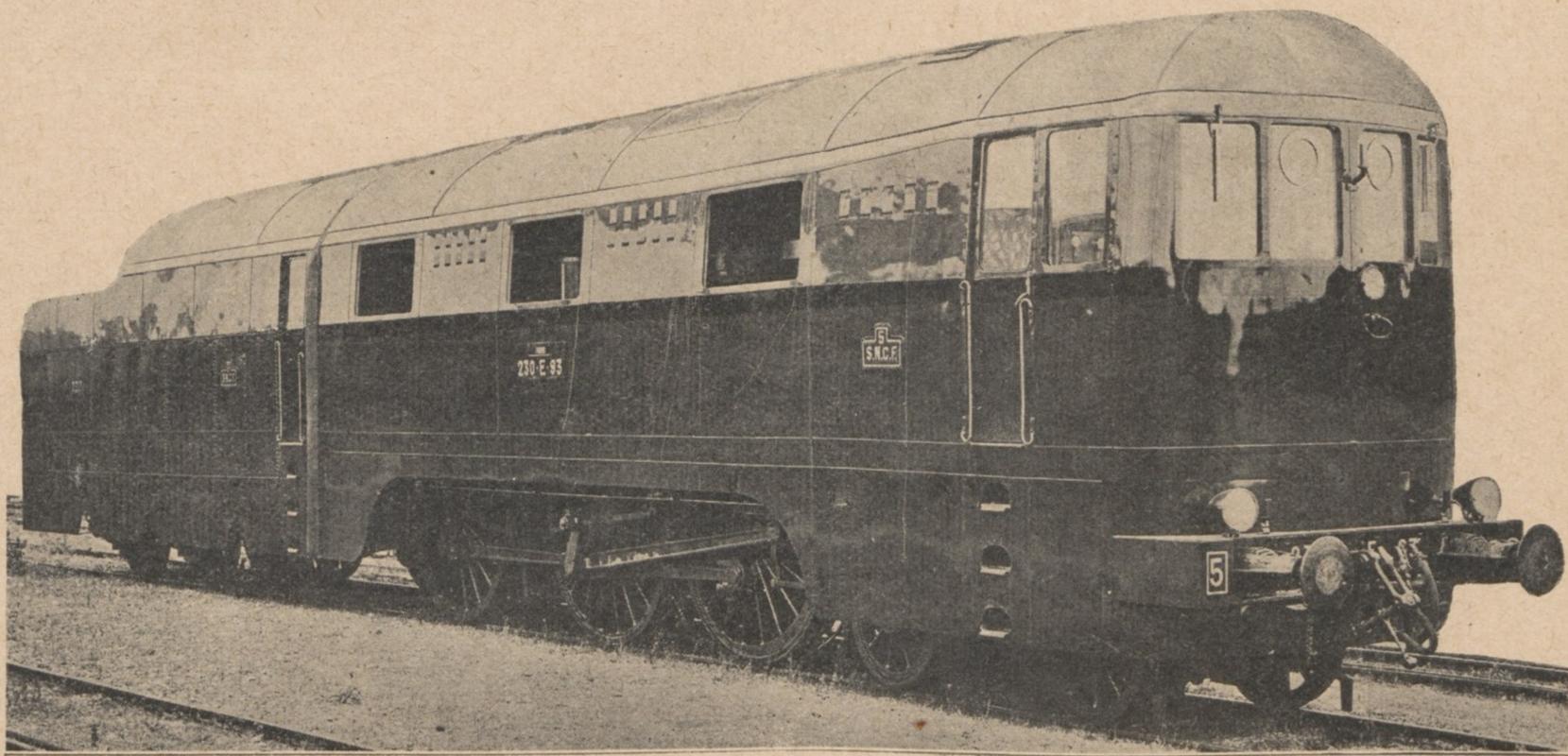
Comme il s'agissait d'éprouver seulement un type de chaudière, les réseaux français ont choisi une locomotive existante, dont on a utilisé, sans aucun changement, le châssis et l'appareil moteur, en l'espèce une locomotive 230-B, à roues de 2 m, susceptible de rouler à 120 km/h, et dont la puissance était d'environ 1500 ch indiqués (la surface de grille était de 3^{m2}). On s'est contenté de porter le timbre de 16 à 20 Hpz, sans changer les cylindres (1) ; la chaudière Velox pouvant

donner aussi aisément une plus haute pression, il n'était pas essentiel pour l'essai d'adopter un timbre plus élevé.

Les caractéristiques principales imposées au constructeur étaient les suivantes :

Capacité de vaporisation maximum en régime continu	12 t de vapeur à l'heure
Quantité de vapeur disponible aux cylindres, compte tenu de la va- peur utilisée aux auxiliaires	11 t de vapeur à l'heure
Pression de la vapeur	20 Hpz
Température de surchauffe	380°

Fig. 1.



Les figures 2 et 3, montrent comment la Compagnie Électro-Mécanique a résolu le problème de l'adaptation de son générateur à la machine en question et les figures 4, 5, et 6 donnent l'aspect de l'installation. On remarquera que l'espace occupé par l'ancienne chaudière a été entièrement rempli, ce qui donne une idée de l'importance des divers appareils.

Nous décrirons successivement les appareils qui composent la chaudière Velox. Nous dirons ensuite un mot des particularités dues au problème même de l'installation sur la locomotive.

Les numéros donnés dans le texte sont ceux des figures.

Chaudière proprement dite

La chaudière proprement dite (1) est constituée par une enveloppe cylindrique en tôle d'acier, à

(1) La machine du type Compound a des cylindres HP de 370 mm de diamètre et des cylindres BP de 540 mm, les courses étant de 650 mm.

Fig. 2.

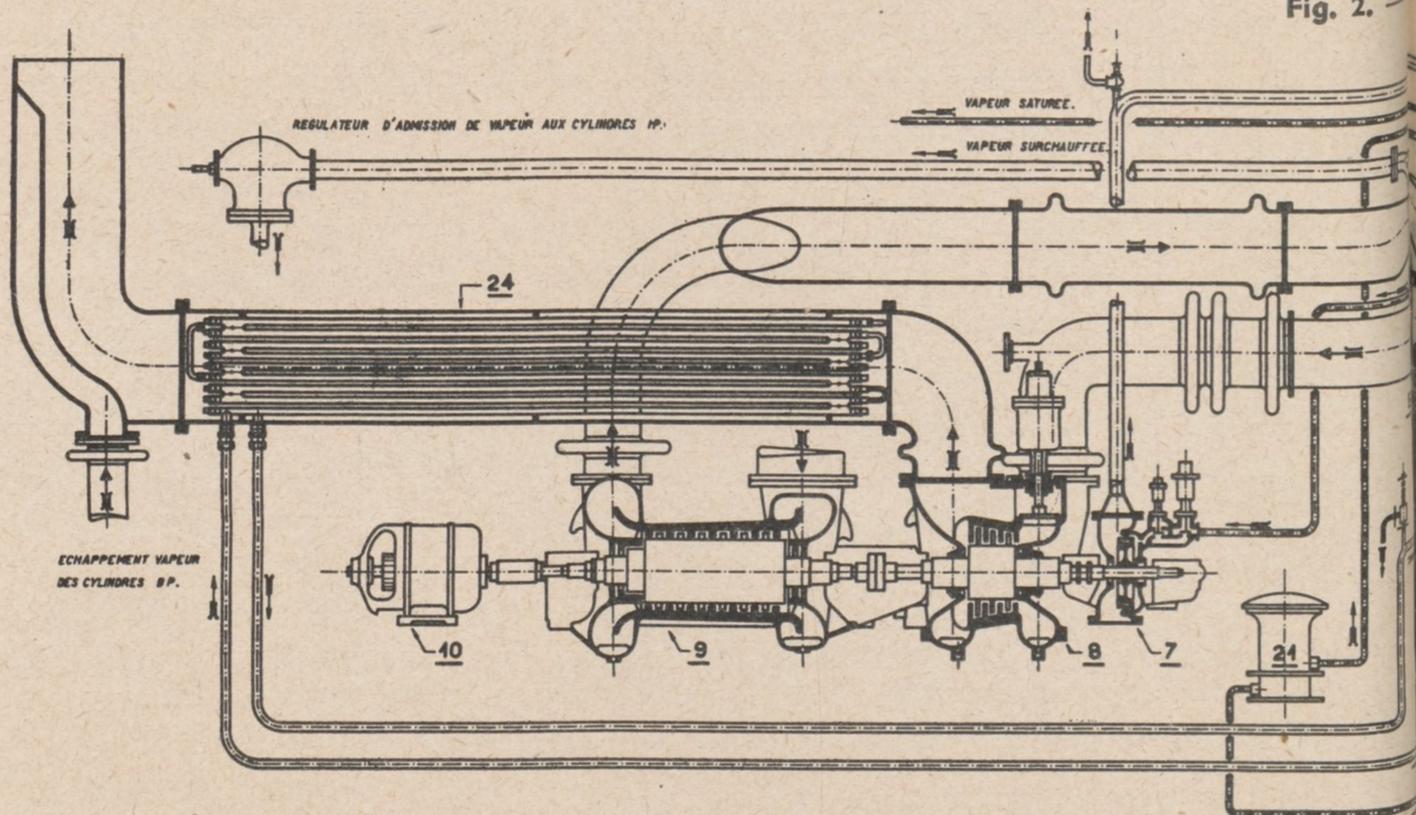
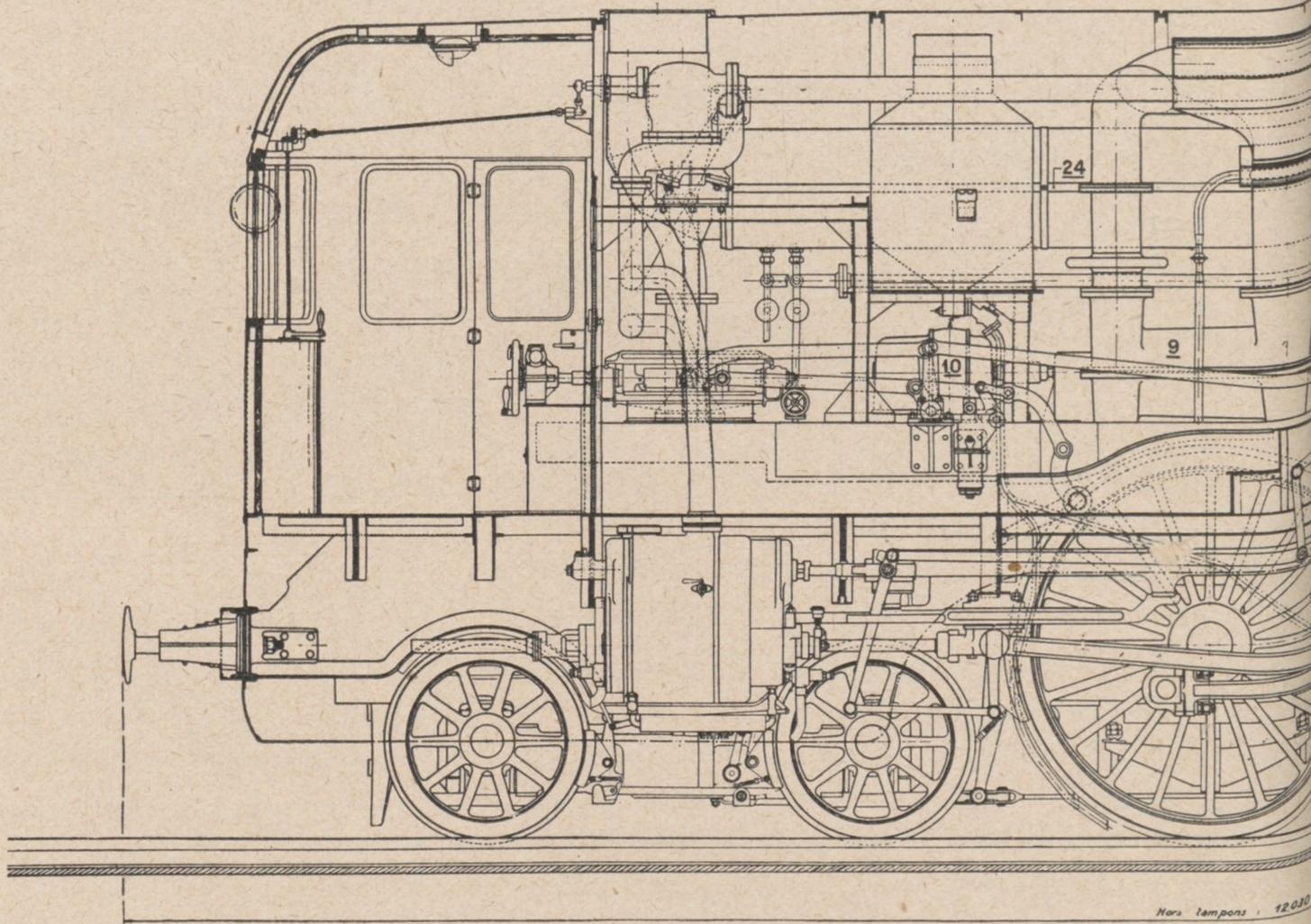


Fig. 3. — Vue long.



Nous lampons 12030

GÉNÉRATEUR DE VAPEUR

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 1. Chambre de Combustion. | 4. Tubes surchauffeurs. |
| 2. Tubes évaporateurs. | 5. Collecteur vapeur surchauffée. |
| 3. Séparateur. | 6. Brûleur à mazout. |

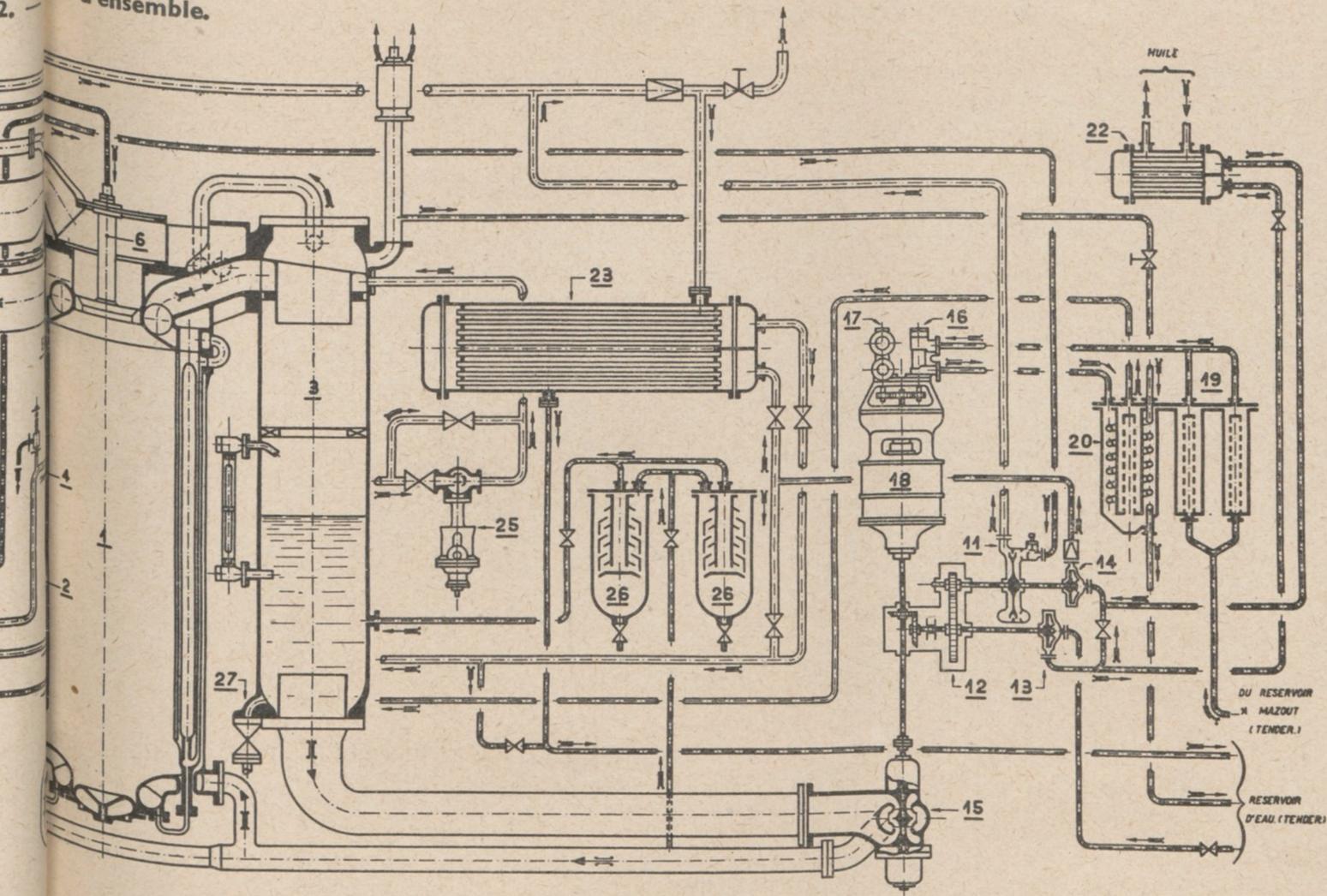
GRUPE AUXILIAIRE N° 1

- | |
|--------------------------|
| 7. Turbine à vapeur. |
| 8. Turbine à gaz. |
| 9. Compresseur d'air. |
| 10. Moteur de démarrage. |

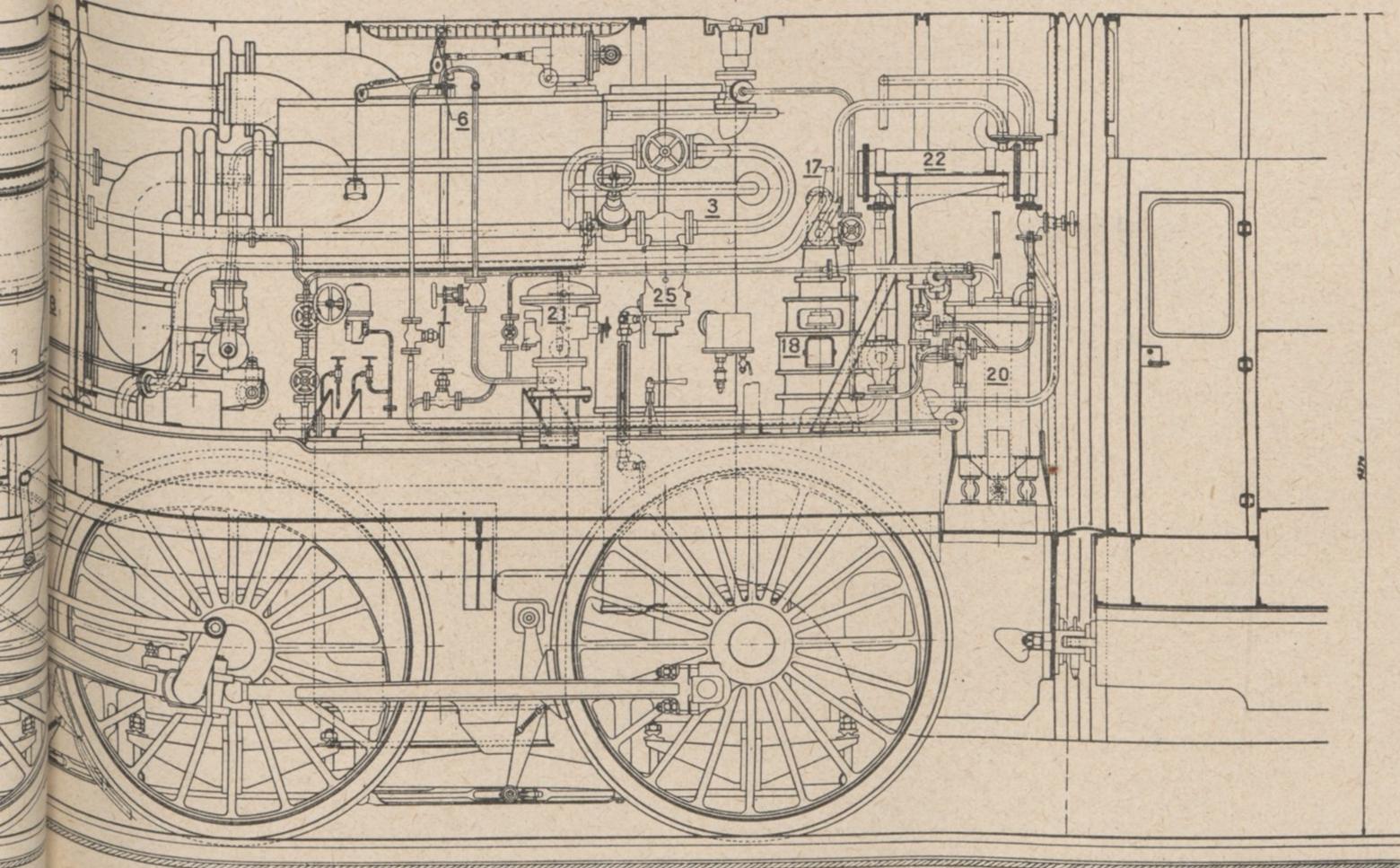
GRUPE

- | |
|--|
| 11. Turbine à vapeur. |
| 12. Engrenages. |
| 13. Pompe alimentaire 1 ^{er} étage. |
| 14. Pompe alimentaire 2 ^e étage. |

2. — ma d'ensemble.



long. — Côté gauche.



Hors tampons tender 8870

ACCESSOIRES SUR :

CIRCUIT MAZOUT

- 19. Filtres primaires.
- 20. Réchauffeur et filtre secondaire
- 21. Régulateur du mélange air-mazout.

CIRCUIT EAU D'ALIMENTATION

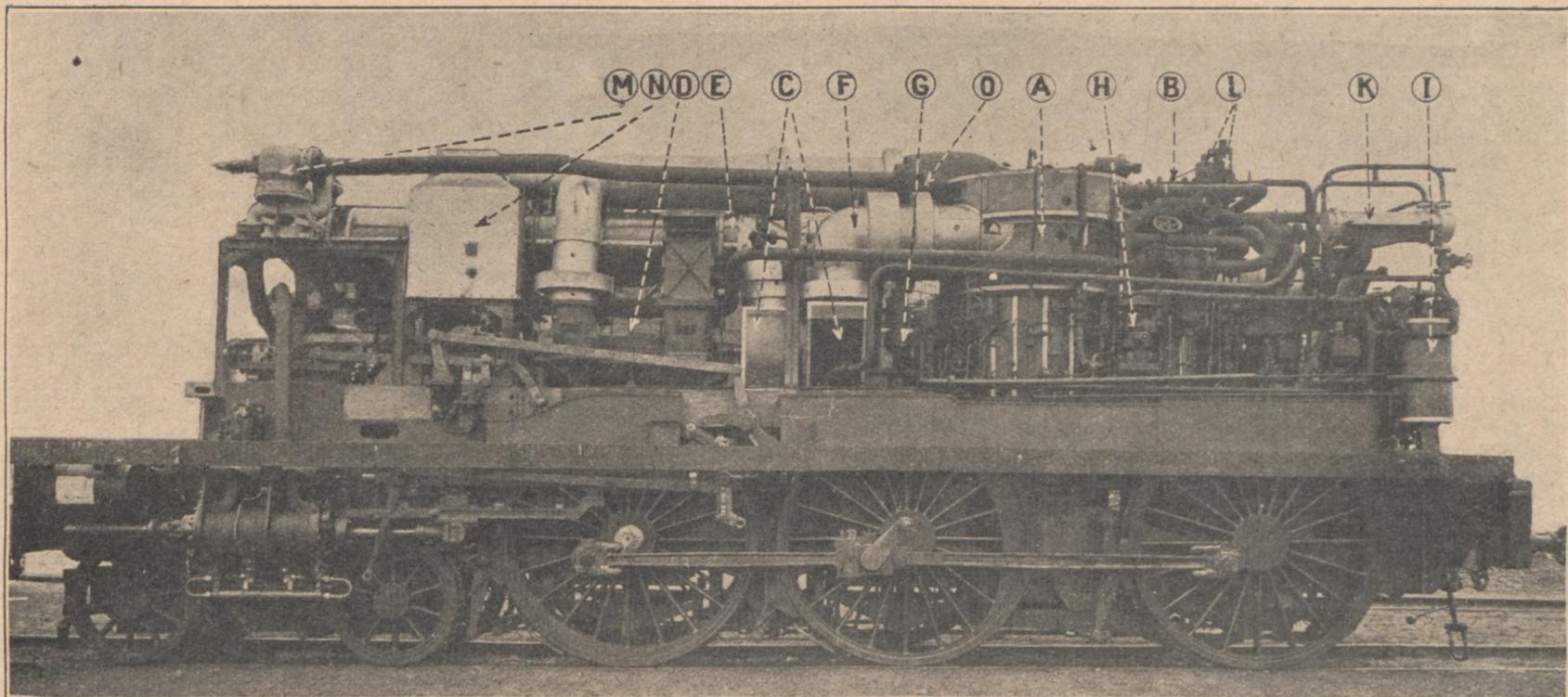
- 22. Réfrigérant d'huile.
- 23. Condenseur des groupes auxiliaires.
- 24. Réchauffeur d'eau.
- 25. Soupape de réglage.

CIRCUIT EAU CIRCULATION

- 26. Décanteurs.
- 27. Vanne de purge.

...IRE N° 2
 ...Pompe de circulation.
 ...Pompe à mazout.
 ...Pompe à huile (Graissage et régulation).
 ...Moteur de démarrage.

Fig. 4. — Vue de la locomotive, côté gauche.

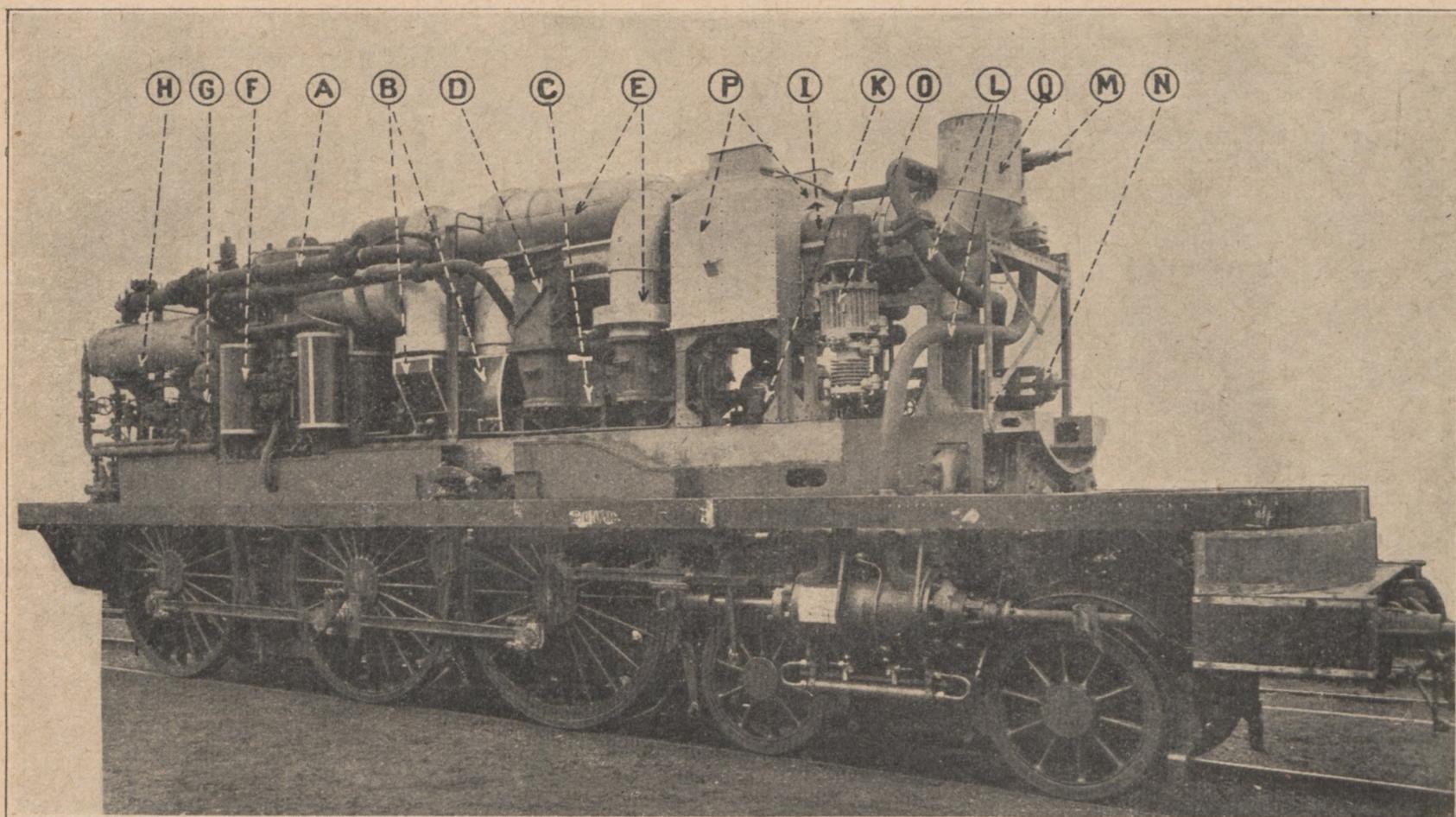


LÉGENDE

- A. Chaudière (chambre de combustion).
- B. Séparateur.
- C. Turbine à gaz.
- D. Compresseur d'air.
- E. Économiseur (réchauffeur d'eau).
- F. Sortie des gaz chauds de la chaudière.
- G. Turbine d'appoint à vapeur.

- H. Régulateur de mélange air-mazout.
- I. Réchauffeur et filtre secondaire de mazout.
- K. Réfrigérant de l'huile du circuit de régulation.
- L. Soupapes de sûreté.
- M. Régulateur d'admission.
- N. Réservoir à sable.
- O. Collecteur de vapeur d'admission.

Fig. 5. — Vue de la locomotive, côté droit.



LÉGENDE

- A. Chaudière.
- B. Turbine à gaz.
- C. Compresseur d'air.
- D. Aspiration du compresseur.
- E. Refoulement du compresseur vers la chambre de combustion.

- F. Décanteurs de boues.
- G. Doseur de phosphate.
- H. Réchauffeur (condenseur des auxiliaires).
- I. Économiseur (réchauffeur d'eau)
- K. Moteur de démarrage du compresseur.

- L. Tuyaux d'admission.
- M. Commande du régulateur.
- N. Chevalet du changement de marche.
- O. Pompe à air du frein.
- P. Réservoirs à sable.
- Q. Cheminée.

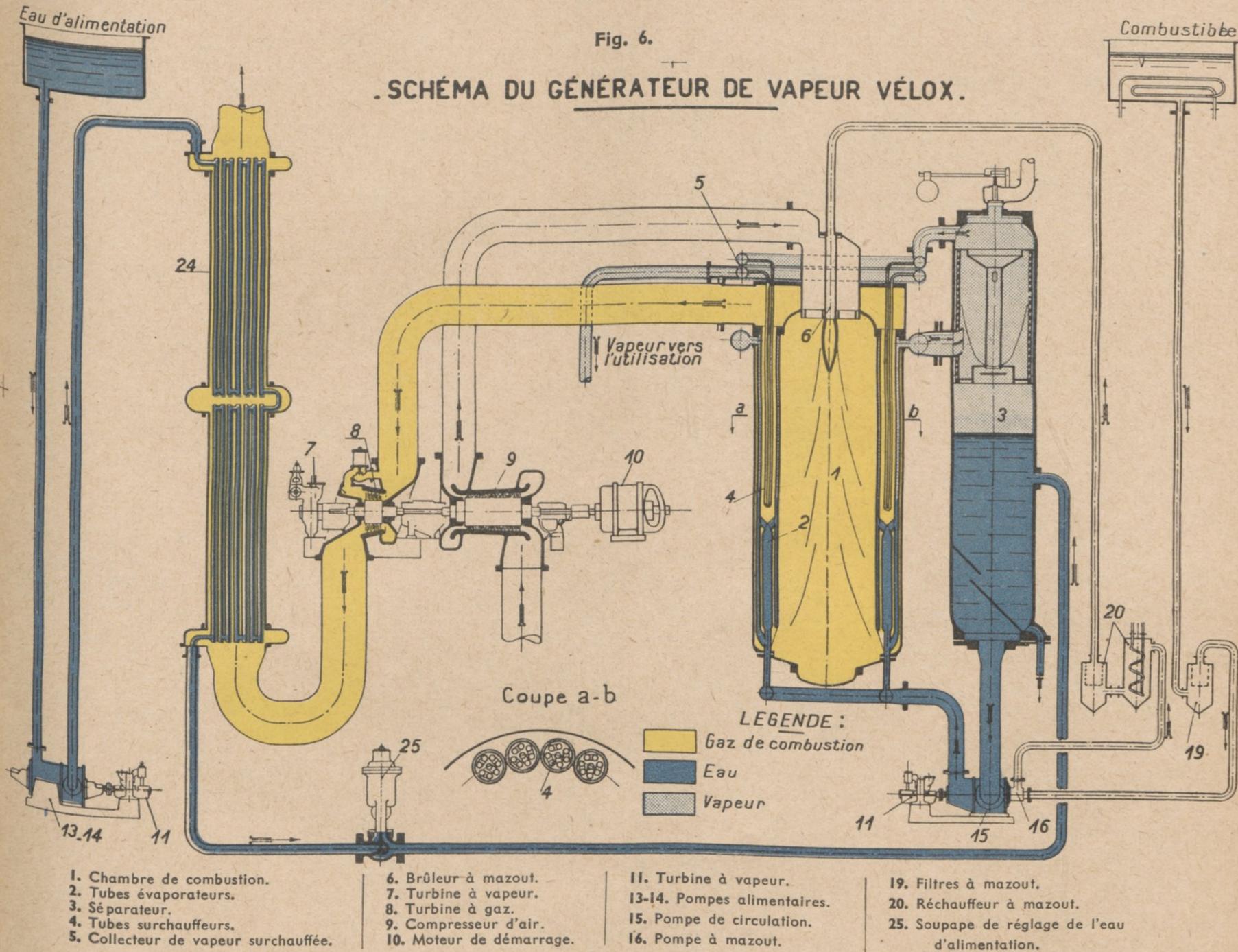
l'intérieur de laquelle sont disposés les éléments vaporisateurs (2), constitués par des tubes concentriques en acier, parcourus de bas en haut par les gaz chauds provenant de la combustion. Le

peu plus du double de ce qui est réalisé dans le foyer même de la locomotive normale.

Pour donner une idée de la rapidité de circulation, notons que la pompe « 15 » a un débit dix fois supérieur à la production

Fig. 6.

SCHÉMA DU GÉNÉRATEUR DE VAPEUR VÉLOX.



détail d'un élément est représenté sur les figures 7 et 8.

Le brûleur à mazout (6) se trouve placé à la partie supérieure de la chambre de combustion et l'injection de mazout se fait verticalement.

La pulvérisation est mécanique; une série d'aubes inclinées donne à l'air de combustion un violent mouvement de rotation et une turbulence qui accélère la combustion.

On notera le volume très réduit de la chambre de combustion (1) qui n'est que de 1,3 m² alors que le volume du foyer de la chaudière classique est de l'ordre de 6 m².

A leur partie inférieure, les éléments vaporisateurs sont reliés à une chambre circulaire qui reçoit l'arrivée d'eau refoulée par la pompe de circulation (15).

La circulation de l'eau, très active, permet un **taux de vaporisation de 450 kg de vapeur par m² de surface de chauffe**, chiffre qui est un

du générateur, c'est-à-dire qu'un volume d'eau déterminé repasse dix fois dans la chaudière avant d'être complètement vaporisé.

A la partie supérieure des éléments vaporisateurs le mélange d'eau et de vapeur produit est chassé tangentiellement, à grande vitesse dans un réservoir cylindrique (3) formant **séparateur centrifuge** de l'eau et de la vapeur. On obtient ainsi une séparation mécanique des gouttelettes d'eau en suspension dans la vapeur.

Ce séparateur est un des organes importants de la chaudière Velox, car il s'agit de séparer 9 poids d'eau d'un poids 1 de vapeur; or un entraînement d'eau dans le surchauffeur pourrait amener un entartrage de ce dernier.

La vapeur saturée sortant du séparateur arrive, par un collecteur circulaire entourant le haut

de la chambre de combustion, aux tubes surchauffeurs (4) qui sont placés à la partie supérieure des éléments vaporisateurs (Fig. 7 et 9). Puis, à

où s'établit ce qui correspond au niveau de l'eau dans une chaudière ordinaire; c'est par ce niveau qu'est réglée l'introduction automatique de l'eau d'alimentation.

Fig. 7. — Coupe du tube vaporisateur.

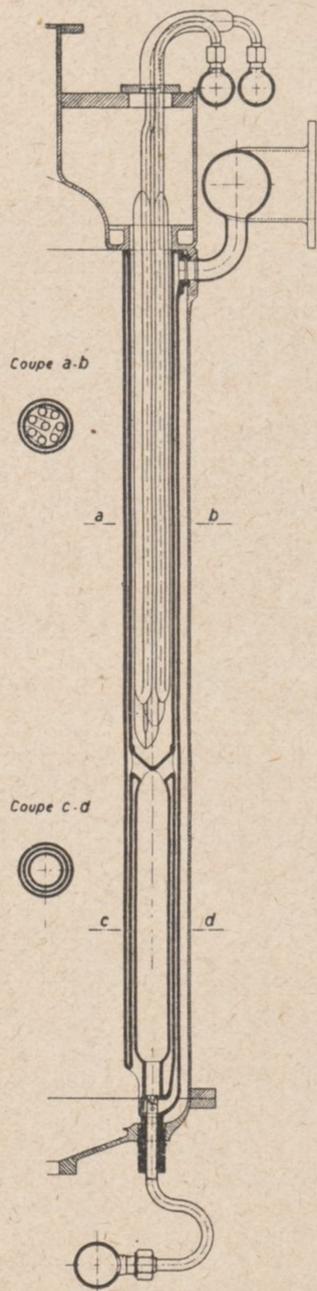


Fig. 8. — Tube vaporisateur.

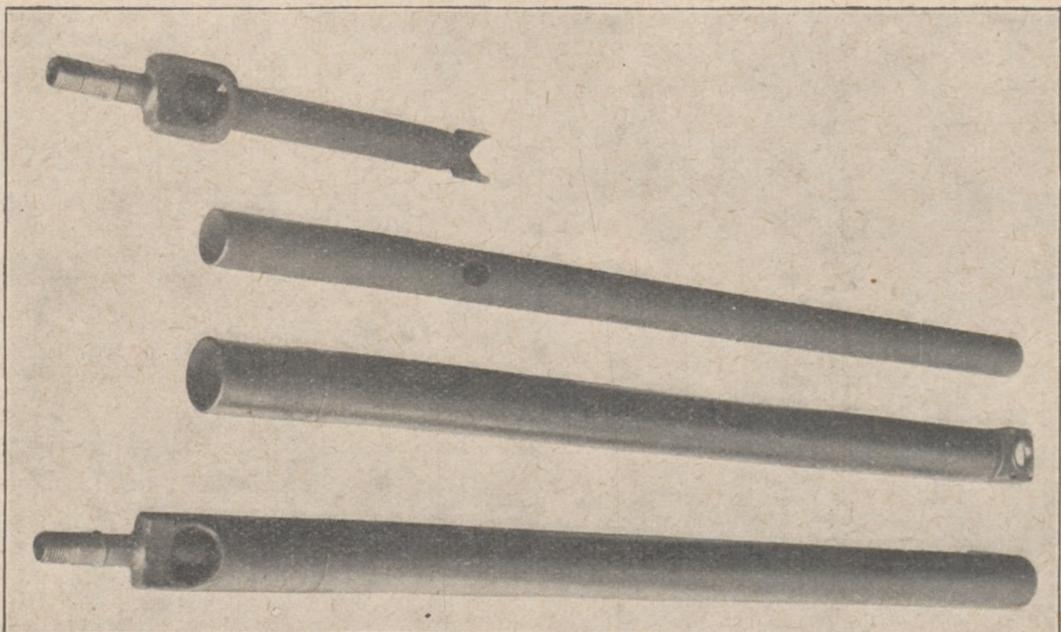
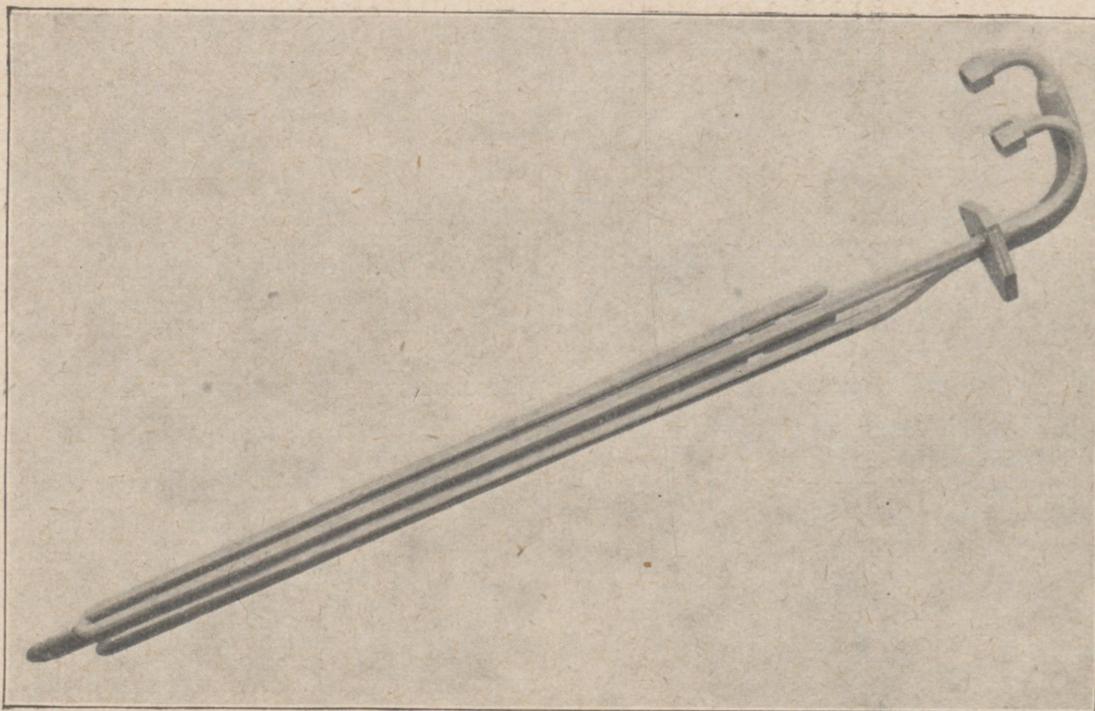


Fig. 9. — Élément surchauffeur.



sa sortie des tubes surchauffeurs, où elle acquiert la température de 380°, la vapeur suit le trajet normal vers le régulateur d'admission et les cylindres HP.

Circulation forcée

L'eau séparée de la vapeur se rassemble à la partie inférieure du séparateur (3) et est envoyée à la chaudière par la pompe de circulation (15).

Il n'y a pas évidemment de niveau d'eau dans la chaudière proprement dite (1), mais il y en a un dans le séparateur (3)

Air de combustion

Pour alimenter le foyer en air sous pression, ce qui est le facteur essentiel du système Velox, il existe un compresseur (9) entraîné par une turbine à gaz (8), qui récupère l'énergie contenue dans les gaz chauds sortant du générateur.

Le compresseur est du type à flux axial (Fig. 10). La turbine à gaz est à réaction, à plusieurs étages (Fig. 11). Grâce à sa construction très robuste, qui permet de la faire fonctionner à des températures supérieures à 550°, elle a pu être placée

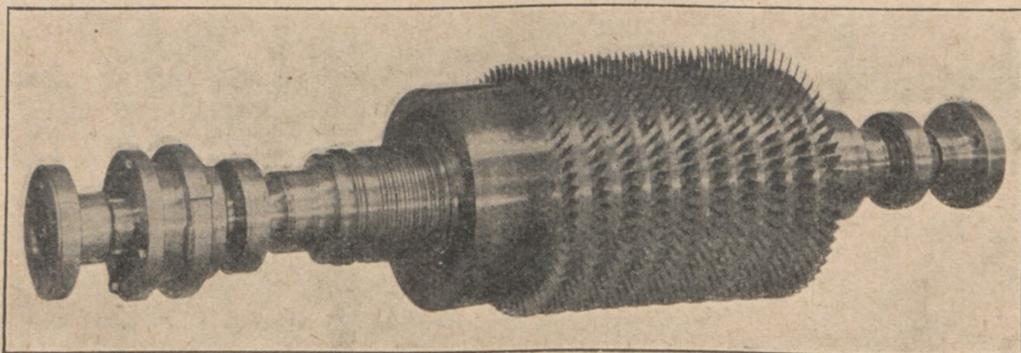
sur le circuit des gaz brûlés, immédiatement après les éléments vaporisateurs.

Cette turbine à gaz développe presque entièrement la puissance nécessaire à l'entraînement du compresseur (9). Une turbine à vapeur (7) permet toutefois d'apporter un appoint permettant

Circuit de l'eau d'alimentation

L'eau d'alimentation, également stockée sur le tender, est aspirée par la pompe à deux étages (13)

Fig. 10. — Rotor du compresseur axial.

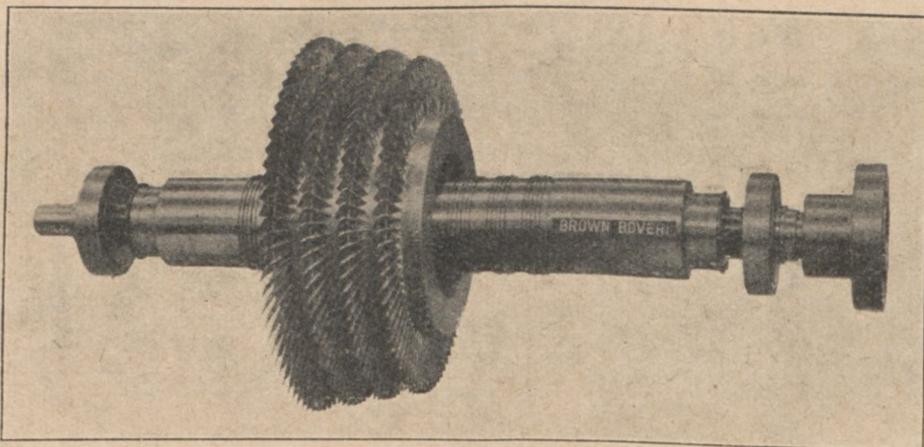


de régler la vitesse du groupe en fonction de la quantité de mazout arrivant au brûleur.

Lorsque, au départ, la turbine à gaz d'échappement ne fonctionne pas encore, un moteur à courant continu (10) fait tourner le compresseur et est ensuite automatiquement débrayé. Ce moteur est alimenté par un groupe électrogène Diesel.

et (14) et refoulée à travers un réchauffeur par surface (23) qui reçoit la vapeur d'échappement des deux turbines auxiliaires, puis à travers l'économiseur (24) dont les tubes sont traversés par les gaz chauds s'échappant de la turbine à gaz,

Fig. 11. — Rotor de la turbine à gaz.



Groupe des pompes auxiliaires

Un autre groupe auxiliaire, actionnant les pompes, est placé à l'arrière de la locomotive.

Il comporte une turbine à vapeur (11) qui entraîne par engrenage la pompe de circulation (15), les pompes d'alimentation à 2 étages (13) et (14), la pompe à mazout (16) et la pompe à huile (17) pour le graissage et la régulation.

Comme pour le groupe précédent, cet ensemble de pompes est actionné au départ par un moteur électrique alimenté par le moteur Diesel.

Circuit du mazout

Le mazout est stocké dans un réservoir placé sur le tender. Aspiré par la pompe (16) à travers des filtres (19) il est refoulé dans un réchauffeur (20), où un dispositif thermostat règle la température de réchauffage aux environs de 80° C, et de cet appareil est envoyé au brûleur, en passant par le régulateur de mélange air-mazout (21).

pour arriver finalement dans le séparateur en passant par la soupape d'alimentation (25), qui règle la quantité d'eau introduite en fonction du niveau dans le séparateur.

Régulation Automatique de la Combustion et de l'Alimentation

Nous n'entrerons pas dans le détail des trois dispositifs de réglage assez complexes, qui règlent automatiquement le fonctionnement de la chaudière et qui sont les suivants :

a) un régulateur de pression qui maintient sensiblement constante la pression de la vapeur, quelle que soit la consommation des cylindres, en agissant sur le débit de mazout au brûleur.

b) un régulateur de mélange, qui proportionne la quantité d'air de combustion au débit de mazout en agissant sur la vitesse du groupe turbo-compresseur.

c) un régulateur de niveau d'eau, qui commande une soupape d'alimentation en fonction de la hauteur de l'eau dans le séparateur.

Leur ensemble est représenté schématiquement par la figure 12.

Divers appareils de sécurité, en cas de manque ou d'excès d'eau, complètent cette régulation.

Ainsi, en cas de baisse du niveau de l'eau dans le séparateur

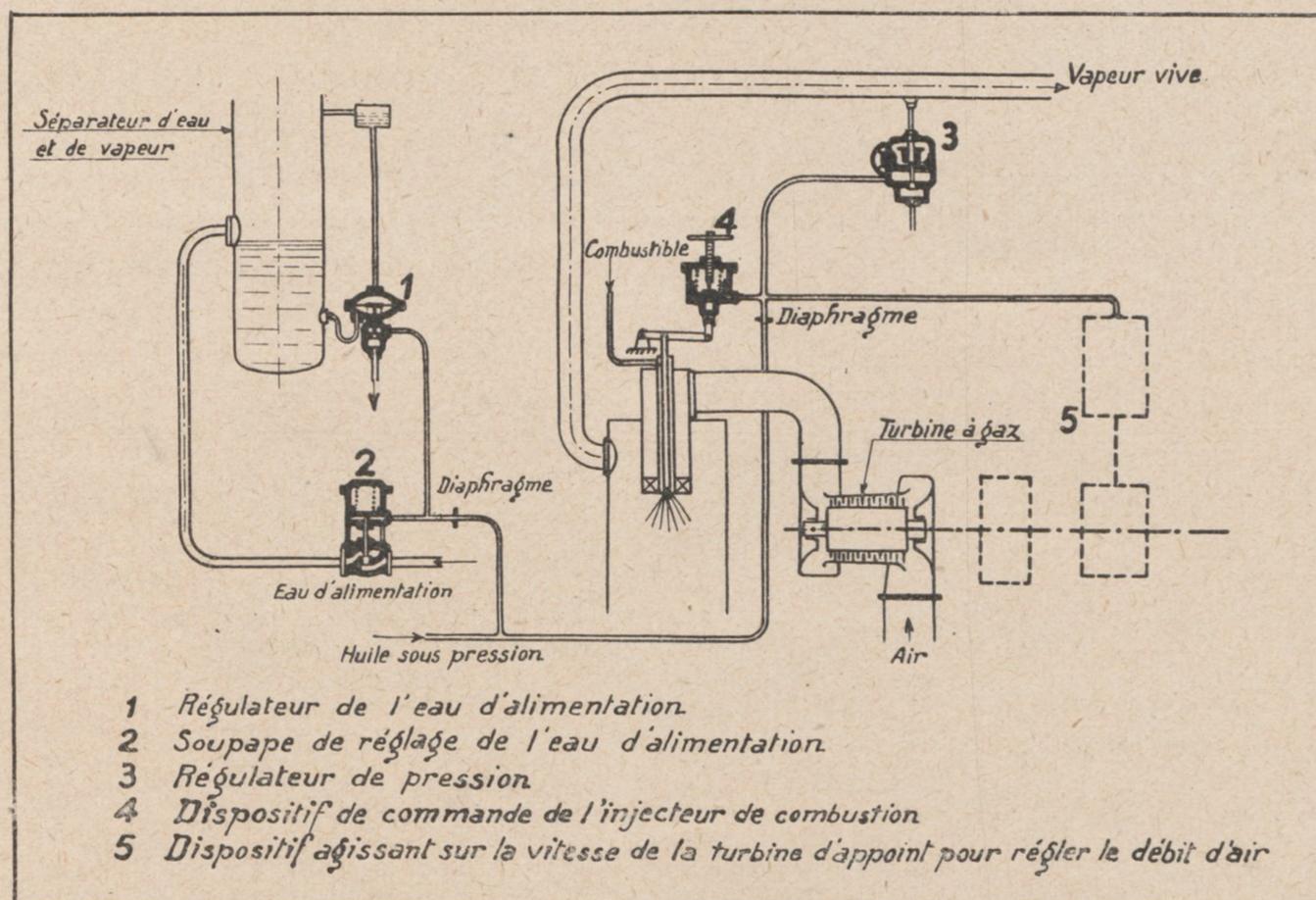
Eau d'alimentation

L'alimentation a été prévue en eau brute. L'emploi d'eau distillée aurait entraîné des complications considérables, car il aurait fallu prévoir un condenseur de grandes dimensions sur la machine, ainsi que la possibilité de la réapprovisionner en eau distillée.

La question de l'eau d'alimentation exigée par les chaudières à haute pression étant importante, nous insisterons quelque peu sur ce point.

L'eau dont on dispose en général pour l'alli-

Fig. 12. — Schéma des dispositifs de régulation.



au-dessous du niveau minimum, ou en cas de trouble dans la circulation d'eau se traduisant par une variation de la surpression donnée par la pompe de circulation, le générateur serait automatiquement arrêté par suite de la variation de pression dans la canalisation d'huile de réglage.

Il existe encore un appareil de déclenchement automatique du groupe turbo-compresseur : en cas d'emballement de ce groupe, une soupape automatique relierait directement l'admission des gaz brûlés à l'échappement de la turbine, et, du fait du freinage réalisé par la compression de l'air, la vitesse du groupe turbo-compresseur serait abaissée très rapidement.

Combustible utilisé

On peut employer comme combustible, soit le fuel-oil domestique, soit le fuel-oil moyen.

Au cas où on emploie ce dernier combustible, qui est très visqueux, l'allumage, qui se fait au moyen d'une canne électrique, est prévu au gas-oil, afin d'éviter d'être obligé de réchauffer préalablement le fuel-oil.

mentation des chaudières contient en dissolution des sels constitués en majeure partie par des bicarbonates de calcium et de magnésium, et en plus faible proportion par des sulfates de calcium et de magnésium. Dans la région parisienne, elle titre environ 17 degrés hydrotimétriques.

Après réchauffage aux environs de 100°, ce qui est le cas du générateur « Velox », l'eau ne contient plus que des carbonates précipités et, à l'état dissous, des carbonates plus solubles et des sulfates. Mais, lorsque l'eau se sursature en sels, une partie de ces sels est précipitée sous forme de cristaux et ces cristaux restent en suspension dans l'eau, formant ce qu'on appelle communément des boues, ou bien se fixent sur les parois qui se recouvrent ainsi de tartre.

Le dépôt de tartre est, comme on le sait, bien plus à craindre dans les chaudières aquatubulaires que dans les chaudières à tubes de fumée et c'est pourquoi la chaudière normale de locomotive a présenté jusqu'ici de grands avantages sur les chaudières spéciales à tubes d'eau.

Dans le cas de la chaudière Velox, le constructeur a estimé que les conditions étaient plus favorables que dans la plupart des chaudières à petits tubes d'eau et il a jugé l'emploi d'eau brute possible. La circulation d'eau très rapide qui se produit dans les tubes y entretient en effet, avec le dégagement de vapeur, une turbulence violente, qui s'oppose à la sursaturation le long des parois et diminue par suite l'entartrement.

Par ailleurs, l'eau d'alimentation est traitée chimiquement, avant son entrée dans le réchauffeur, au moyen d'un doseur à solution de phosphate trisodique (1).

Enfin, sur la conduite de refoulement de la pompe de circulation (15) vers les éléments vaporisateurs est montée, en dérivation une conduite aboutissant au séparateur centrifuge (3) qui passe par deux décanteurs en parallèle (26) qui retiennent une grande partie des impuretés solides.

Des vannes de purge sont prévues pour permettre d'enlever après chaque train les boues qui se sont accumulées dans le fond du séparateur et dans les décanteurs.

Quant au tartre, qui se dépose néanmoins à la longue sur les parois, il peut être enlevé avec une solution d'acide chlorhydrique et de colle, celle-ci étant destinée à empêcher l'attaque du métal par l'acide. Cette opération est au demeurant réalisable assez aisément dans le générateur Velox, étant donné que la pompe de circulation et la pompe alimentaire permettent de faire circuler rapidement la solution détartrante à travers les différents appareils à nettoyer.

Tel est l'ensemble des dispositions qui ont été prévues par le constructeur pour l'alimentation du générateur en eau brute.

Indiquons ici à titre documentaire que le générateur Velox n'est pas la première chaudière à tubes d'eau de locomotive qui soit alimentée avec une telle eau brute. Les locomotives construites par la Société « Sentinel » pour les Chemins de fer

Colombiens ont des chaudières aquatubulaires sur lesquelles cette alimentation s'est révélée à l'usage admissible (2). Citons par ailleurs, non comme une expérience faite, mais comme une tentative en cours, l'essai que la S.N.C.F. va commencer incessamment sur la locomotive à haute pression (60 Hpz) commandée par l'ex-réseau Nord et qui est alimentée également en eau brute.

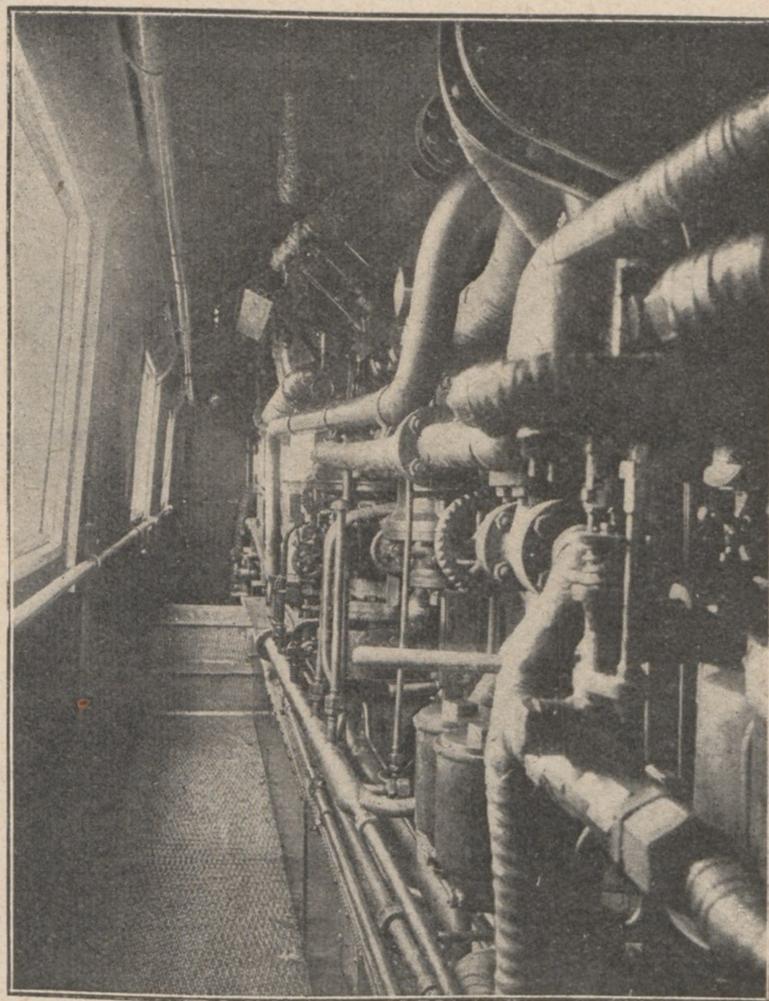
Il semble bien, comme indiqué ci-dessus, que l'essentiel, pour réduire le tartre, est d'avoir une circulation suffisamment rapide dans les tubes.

Installation du générateur Velox sur le châssis de la 230-E. 93 (Fig. 3).

Ayant décrit les dispositions principales du générateur Velox, il nous reste à dire un mot de la façon dont l'installation a été pratiquement réalisée sur la locomotive 230-B. 93.

La chambre de combustion (1) est placée verticalement entre les longerons dans l'espace

Fig. 13. — Intérieur de la locomotive. Couloir côté gauche.



disponible entre les deux essieux AR et est fixée aux longerons.

Les autres éléments sont montés sur une plaque de base de forte épaisseur. Cette plaque, qui

(1) Des raisons d'encombrement ont empêché de placer un appareil capable de traiter la totalité de l'eau. En fait, on ne traite sur la locomotive en question que 30% de l'eau.

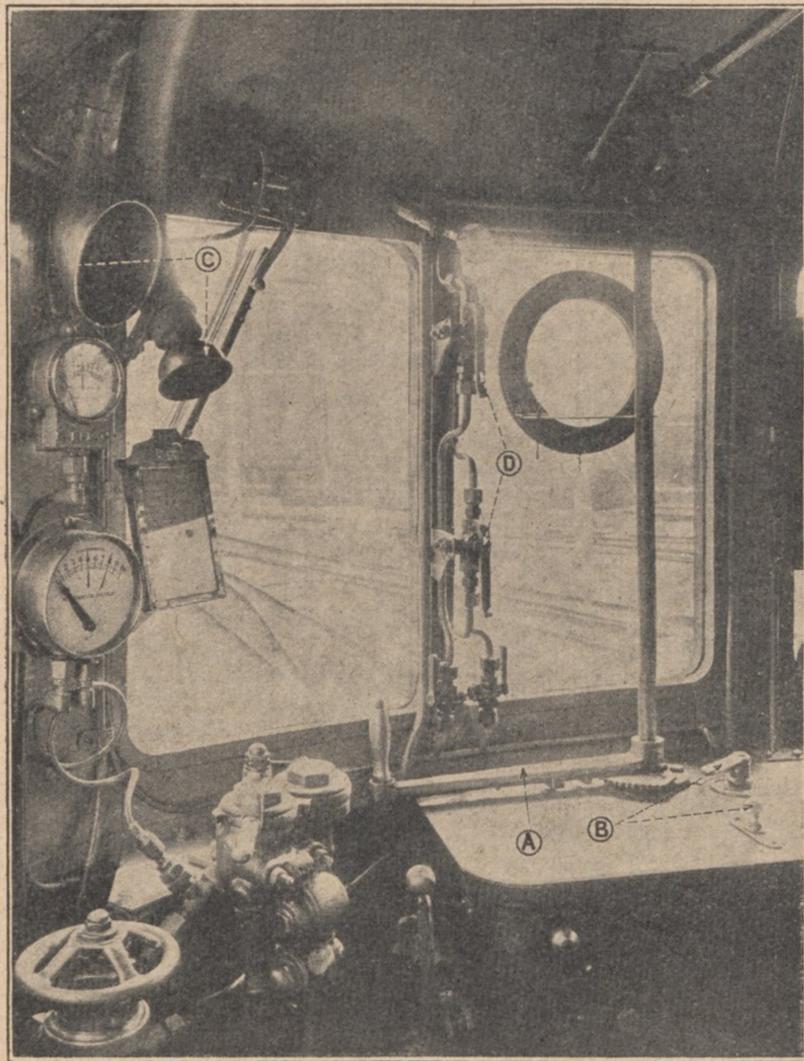
(2) Voir Bulletin de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de fer de Mai 1935.

s'étend d'un bout à l'autre du châssis, réalise une assise très rigide et pratiquement indéformable.

L'ensemble des appareils, non compris l'assise, pèse 18 t.

La locomotive est recouverte d'une carrosserie en tôle, qui ménage deux couloirs latéraux

Fig. 14. — Poste de conduite.



- A. Levier de commande du régulateur.
- B. Commande électrique du changement de marche.
- C. Porte-voix.
- D. Observation des signaux.

permettant de circuler autour des divers éléments et de surveiller en marche leur fonctionnement (Fig. 13).

Le poste de conduite est à l'avant; les différentes commandes sont disposées sensiblement dans les mêmes positions relatives que sur la locomotive d'origine (Fig. 14). Pour réaliser cette disposition, il a fallu déplacer le chevalet du changement de marche et le monter immédiatement derrière la cabine; il attaque, par des bielles que l'on peut

voir sur la figure 3, les arbres de relevage HP et BP qui n'ont pas été modifiés. Sa commande est assurée par un petit moteur électrique alimenté par la batterie d'éclairage et pouvant être mis en marche au moyen de boutons-poussoirs. Un index répétiteur indique au mécanicien le cran de marche.

Le mécanisme-moteur de la locomotive est resté celui de la machine d'origine. **Seul a été supprimé l'appareil d'échappement**, puisque le tirage de la chaudière est réalisé par pompe; la vapeur d'échappement des cylindres BP va donc directement à l'atmosphère par la cheminée.

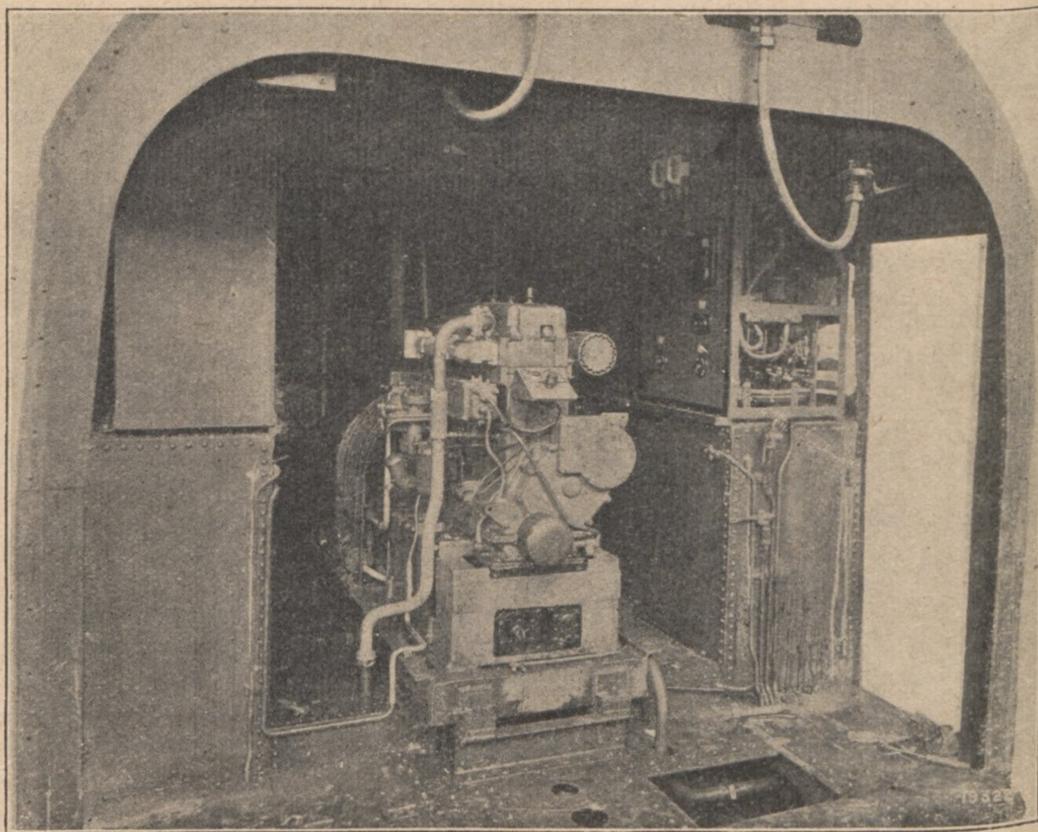
Le tender de la 230-B. 93 a été conservé; il a cependant été aménagé: un réservoir à mazout en forme de fer à cheval a été placé au-dessus des caisses à eau et le groupe électrogène Diesel, qui est utilisé pour la mise en pression, a été installé à l'emplacement du charbon (Fig. 15).

L'installation comportant de nombreux appareils assez délicats, le constructeur a tenu, au début de son étude, à connaître au préalable quelles étaient les secousses, les accélérations qu'on pouvait rencontrer à bord d'un châssis de locomotive: nous avons pu le renseigner assez exactement grâce à des mesures faites à l'aide d'accéléromètres Mauzin (1). Placés sur une plateforme de locomotive à vapeur 230-B, ces appareils ont indiqué des accélérations de l'ordre de 5 m/sec/sec.

Le montage des pièces sur la locomotive ci-dessus a été réalisé, d'après l'étude complète faite par la Compagnie-Electro-Mécanique, par les Ateliers

(1) « Revue Générale » N° du 1^{er} Janvier 1938.

Fig. 15. — Plateforme du tender avec le groupe Diesel servant à la mise en marche.



d'Hautmont des Aciéries du Nord, chargés des réparations de ce type de locomotive.

Du fait de sa transformation, la machine 230-B. 93 a pris un nouveau numéro de série, à savoir : 230-E.93.

B) RÉSULTATS DES PARCOURS EN LIGNE

Livrée en Mai 1938 à la S. N. C. F. sur les voies de la région du Sud-Est, la locomotive a été mise en service à des trains de difficultés croissantes.

Le personnel de conduite, mécanicien, chauffeur et le chef mécanicien chargés de l'engin se sont mis au courant du fonctionnement sans difficultés notables, bien que les opérations soient, au départ, assez complexes.

Pour en donner une idée, nous croyons intéressant de faire connaître ci-après le détail des manœuvres que le chauffeur a à effectuer.

Horaire approximatif des manœuvres	Détail des manœuvres effectuées par le chauffeur :
0	Démarrage du groupe électrogène Diesel. Excitation de la génératrice à courant continu.
1mn	Démarrage du groupe des pompes au moyen du moteur. Réglage de la pression d'huile au servomoteur du brûleur et du niveau de l'eau dans le séparateur.
2mn	Démarrage du groupe turbine à gaz-compresseur par le moteur.
5mn	Allumage au gas-oil au moyen de la résistance électrique.
10mn	Au début de la vaporisation, réchauffage du gas-oil ; lorsque celui-ci atteint 50° environ, passage de la marche au gas-oil à la marche au mazout.
11mn	Vers 3 kg de pression, ouverture de la vanne de purge du surchauffeur.
13mn	Vers 5 kg de pression, mise en service de la turbine entraînant le groupe des pompes. Manœuvre d'un interrupteur permettant de charger la batterie d'accumulateurs.
15mn	Mise en service de l'alimentation automatique.
18mn	Vers 12 kg de pression, mise en service du réglage automatique de la proportion air-mazout. Mise en service de la turbine à vapeur contribuant à l'entraînement du groupe turbine à gaz-compresseur. Arrêt du groupe électrogène Diesel.
19mn	Vers 18 kg, mise en service du réglage automatique de la pression.
20mn	Pression 20 kg environ. Le générateur fonctionne automatiquement en veilleuse en débitant uniquement sur les deux turbines à vapeur qui actionnent des groupes auxiliaires. Il peut produire immédiatement son plein débit, soit 12 t/h de vapeur.

En fait, et comme nous venons de le dire, le personnel s'est mis au courant de ces opérations sans grandes difficultés.

On a indiqué ci-dessus l'horaire des différentes manœuvres exécutées pour la mise en pression; on est arrivé couramment à un temps total de 15 minutes.

La locomotive, affectée d'abord à des trains omnibus sur Paris-Montargis ou Paris-Montereau, a été mise ensuite à des services d'express et de rapide sur Paris-Laroche et Paris-Dijon (315 km).

Après une mise au point par le constructeur de divers appareils de l'installation, qui a concerné plutôt les accessoires que les organes mêmes de la chaudière, les trains ont été effectués dans des conditions tout à fait satisfaisantes. Leur parcours atteignait en Mars 1939, 15000 km. On a constaté que les démarrages et les changements d'allure s'effectuaient convenablement et que la pression se maintenait régulière, l'oscillation maxima ayant été de 18,5 à 22 pour un timbre de 20 Hpz (la chaudière est éprouvée pour un timbre de 27 Hpz), la température de surchauffage restant comprise entre 355° et 380°.

On a, à titre d'expérience, fermé brusquement le régulateur à pleine puissance : la pression s'est élevée de 20 à 25 Hpz et les soupapes de sûreté ne se sont pas soulevées. Pour une variation de puissance de 1100 ch à 680 ch en 48 secondes, la pression ne varie strictement pas.

La puissance de la machine 230-E. 93 s'est révélée supérieure à celle de la 230-B initiale, pour la raison que le timbre a été porté de 16 à 20 Hpz, que le rendement de la chaudière a été très augmenté, comme nous le préciserons plus loin à propos des essais au Banc de Vitry et que la machine n'a plus de contrepression à l'échappement, puisque le tirage n'est plus effectué par la vapeur d'échappement. Sa puissance indiquée est d'environ 1800 ch.

On a pu ainsi affecter la 230-E. 93 à un service de Pacific remorquant des trains de 400 t sur profil à rampes (Laroche-Dijon) ou de 500 t sur profil facile (Paris-Laroche).

La consommation moyenne en fuel-oil domestique sur Paris-Dijon a été de 8,9 litres au Km (1).

L'alimentation en eau brute n'a pas, jusqu'à présent, donné d'ennuis; on a évité l'entartrement en prenant soin de vidanger après chaque train l'eau contenue dans le fond du séparateur et dans

(1) La machine doit être essayée ultérieurement, en service courant, avec du fuel-oil moyen.

le décanteur. Il semble que les lavages à l'acide pourront être assez espacés. Mais une expérience plus prolongée est nécessaire à ce sujet.

Un bilan complet, comparant ce type de chaudière avec la chaudière classique, ne pourra être établi qu'après un parcours suffisant pour que les frais d'entretien apparaissent; mais les parcours effectués permettent déjà de dire que la chaudière Velox est un système qui peut fonctionner régulièrement, et sans donner lieu à difficultés particulières, à bord d'une locomotive à vapeur.

C) RÉSULTATS DES ESSAIS AU BANC DE VITRY

Des essais ont été effectués au banc de Vitry pour mesurer le rendement de la chaudière à différentes allures de production allant de la 1/2 puissance à la pleine puissance, c'est-à-dire de 6 à 12 t de vapeur à l'heure.

Voici comment a été défini le rendement d'après le texte même du marché :

« Ce rendement tient compte de la vapeur absorbée par les deux turbines auxiliaires et par les dispositifs de réchauffage du mazout intercalés entre la pompe à combustible et le brûleur.

« Il s'entend :

- » — pour une température d'entrée d'eau à la pompe alimentaire de 35° C,
- » — pour une température d'entrée d'air au compresseur de 20° C,
- » — pour une température de mazout à l'entrée de la pompe à combustible de 30° C, le mazout utilisé ayant les caractéristiques suivantes :

densité à 15° C — maximum	0,98
viscosité Engler à 50° — maximum	25
soufre en % — maximum	2
pouvoir calorifique inférieur.....	— 9.600
	calories par kg.

Le rendement est établi d'après la formule suivante :

$$R = \frac{Q1 - q}{Q2}$$

« dans laquelle :

« Q1 — quantité de chaleur contenue dans la totalité de la vapeur produite par le générateur, déduction faite de celle contenue dans la vapeur absorbée par les deux turbines auxiliaires et par le réchauffage du mazout entre la pompe à combustible et le brûleur;

« q — quantité de chaleur contenue dans l'eau d'alimentation à son entrée dans la pompe alimentaire et avant le réchauffeur-condenseur des vapeurs d'échappement des turbines auxiliaires ;

« Q2 — quantité de chaleur correspondant au combustible introduit dans le générateur et basée sur son pouvoir calorifique inférieur.

La mesure du rendement ci-dessus ne présente pas de difficultés. La quantité de vapeur totale produite est mesurée comme habituellement par eau injectée dans la chaudière ; celle de mazout par pesée directe; quant à la vapeur disponible aux cylindres elle a été déduite de la quantité de vapeur totale par soustraction de la vapeur consommée aux auxiliaires, mesurée elle-même par condensation dans un appareil placé sur leur l'échappement.

Les résultats obtenus ont été les suivants.

Il a été effectué deux séries d'essais :

- 1° l'une avec le fuel-oil moyen,
- 2° l'autre avec du fuel-oil domestique.

Ci-après les caractéristiques des produits utilisés.

	Fuel-oil moyen	Fuel-oil domestique
Densité 15° C.....	0,976	0,870
Viscosité Engler.....	8,55	1,27
Soufre %.....	3,45	0,26
Pouvoir calorifique inférieur. cal/kg	9.587	10.130

Production de vapeur

La production prévue de 12 t de vapeur par heure a été atteinte.

Rendement

Les courbes de la figure 16 donnent les rendements obtenus en fonction de la vaporisation.

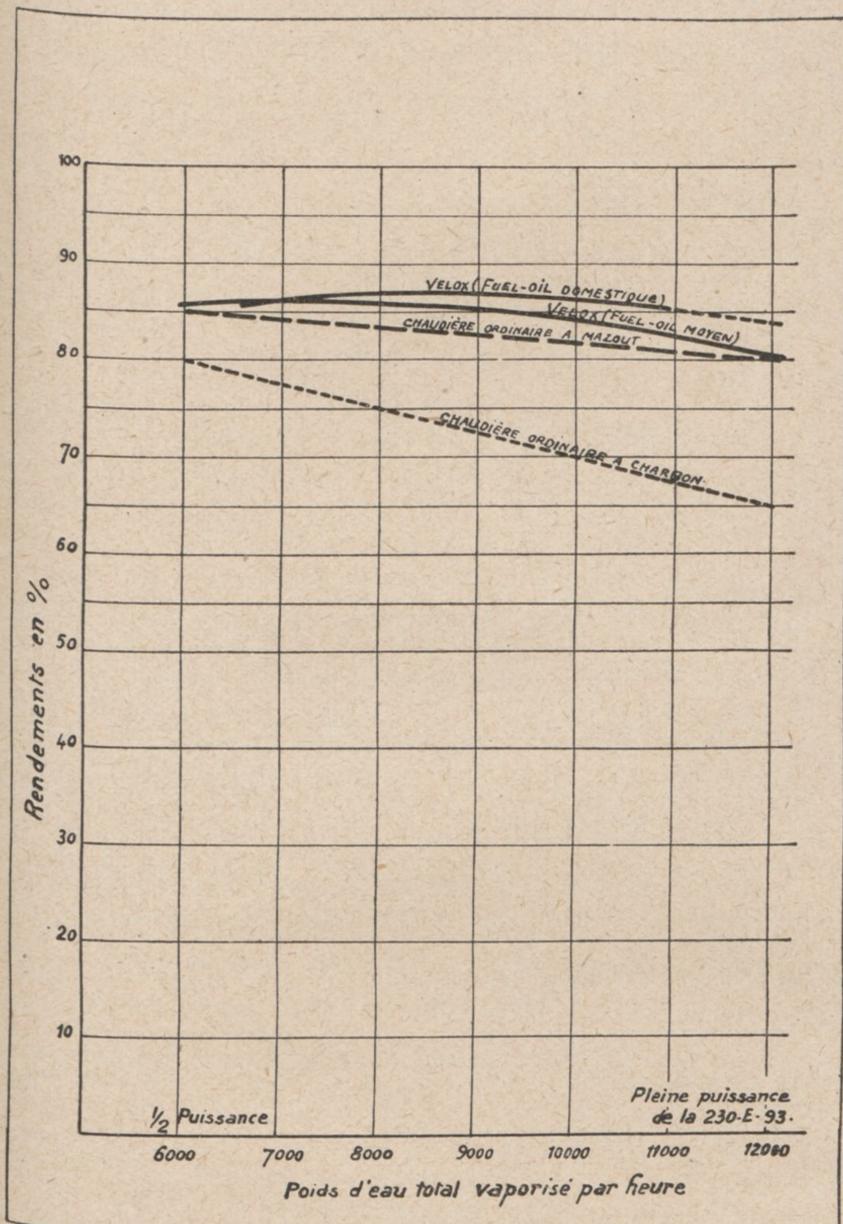
Avec le fuel-oil domestique, le rendement est de 86 % à 1/2 puissance et de 84 % à pleine puissance.

Avec le **fuel-oil moyen**, il est également de 86 % à 1/2 puissance, mais baisse à 81 % à pleine puissance (1).

(1) Des essais sont envisagés avec un nouveau brûleur, qui doit, d'après le constructeur, maintenir avec le fuel-oil moyen la constance de rendement obtenue avec le fuel-oil domestique.

On a reproduit sur la figure 16 la courbe de rendement d'une bonne chaudière classique chauffée au charbon, qui varie de 80 à 65 % et celle d'une chaudière au mazout, plus strictement

Fig. 16. — Courbes de rendement de la chaudière.



LÉGENDE

Les rendements indiqués par les courbes ci-dessus sont calculés par le rapport du nombre des calories contenues dans la vapeur allant aux cylindres, au nombre des calories du combustible.
 Les rendements des chaudières ordinaires ci-dessus ont été déduits d'essais de locomotives "Pacific" à grille de 4m²,25, pour des productions, proportionnelles, allant de 8 à 17 tonnes de vapeur.

comparable au générateur Velox, qui varie de 85 à 80 %.

Le rendement de 90 % qu'on obtient habituellement dans les chaudières Velox de stations fixes n'a pas été effectivement atteint ici, pour la raison, semble-t-il, que le constructeur n'a pu donner,

faute de place, un aussi grand développement à la récupération des chaleurs des gaz dans l'économiseur. La température des gaz, qui est en effet dans les stations fixes d'environ 110° à la sortie, a été, sur la locomotive, de l'ordre de 220°.

Néanmoins, les rendements obtenus sont très élevés.

On remarquera toutefois que le rendement d'une chaudière classique à mazout s'en approche d'assez près.

Mais l'avantage de la chaudière Velox est en réalité supérieur à ce que fait apparaître la simple comparaison de ces courbes et cela pour la raison suivante, sur laquelle nous allons insister un peu longuement, car elle met en évidence un des avantages intéressants de l'application de la chaudière Velox à une locomotive.

Le rendement de la chaudière Velox est en effet un rendement net, l'énergie fournie au tirage ayant été déduite, tandis que ceux indiqués pour la chaudière classique sont à réduire de la quantité qui correspond à l'énergie, contenue dans la vapeur, utilisée à produire le tirage. Dans le cas du générateur Velox, les cylindres fonctionnent avec une contrepression extrêmement réduite, ce qui, à consommation de vapeur égale, augmente la puissance utile. Sous une autre forme, la chaudière ordinaire à mazout et la chaudière Velox envoient bien, toutes les deux, aux cylindres, pour chaque kg de combustible brûlé, à peu près la même quantité de vapeur, soit environ 11 kg — mais ces 11 kg de vapeur fournissent un plus grand travail dans la machine Velox.

Précisons sur un exemple. A la puissance indiquée de 1800 ch, la contrepression de la machine Velox n'est plus que 10 à 20 g/cm² au lieu de 330 g/cm², contrepression de la chaudière classique équivalente à l'échappement perfectionné. Il en résulte, pour la machine Velox, un gain de 100 ch environ à la vitesse de 90 km/h et de 170 ch à la vitesse de 120 km/h.

Le gain total, en rendement calorifique, par rapport à la machine classique, s'établit en définitive comme suit, pour la pleine puissance et dans le cas du fuel-oil domestique.

	Chaudière Velox comparée à la chaudière classique à charbon		Chaudière Velox comparée à la chaudière classique à mazout	
	à 90 km/h	à 120 km/h	à 90 km/h	à 120 km/h
1° Gain provenant des rendements propres des chaudières.....	$\frac{85 - 65}{65} = 30\%$	$\frac{85 - 65}{65} = 30\%$	$\frac{84 - 80}{80} = 5\%$	$\frac{84 - 80}{80} = 5\%$
2° Gain provenant de la diminution de la puissance nécessaire à l'échappement.....	$\frac{100 \text{ ch}}{1800 \text{ ch}} = 6\%$	$\frac{170 \text{ ch}}{1800 \text{ ch}} = 9\%$	$\frac{100 \text{ ch}^{(1)}}{1800 \text{ ch}} = 6\%$	$\frac{170 \text{ ch}^{(1)}}{1800 \text{ ch}} = 9\%$
Total des gains combinés.....	34%	37%	10%	13%

(1) On a admis, dans ces calculs, que la puissance nécessaire au tirage était égale dans le cas du charbon et dans le cas du mazout. En réalité, il y a un peu plus de contrepression pour le tirage dans le cas du mazout.

La chaudière Velox à fuel-oil étant surtout à comparer à la chaudière ordinaire à mazout, on voit d'après le tableau ci-dessus que c'est dans la suppression de l'échappement que se mesure un des avantages importants du générateur Velox dans l'application qui nous occupe, avantage qui est particulièrement notable à grande vitesse.

En examinant de plus près les choses, on se rend compte que le tirage de nos locomotives à vapeur classiques est produit par les cylindres, qui sont un appareil à faible rendement, surtout aux grandes vitesses où le laminage à l'échappement intervient, tandis que la chaudière Velox utilise pour son tirage un appareil à haut rendement, qui est une turbine à gaz fonctionnant à 550° et dont le rendement est **indépendant de la vitesse même de la locomotive**. Ces considérations expliquent les résultats ci-dessus et l'intérêt d'utiliser la chaudière Velox sur des machines à grande vitesse.

Il est intéressant de comparer la consommation relative des différents systèmes envisagés. Tous calculs faits, on arrive aux chiffres ci-dessous, pour une **même puissance à la jante**, toutes choses égales d'ailleurs, et en prenant pour base

une consommation de 1kg de charbon dans la machine classique. :

	Consommations relatives en prenant pour base 1 kg de charbon	
	à 90 km/h	à 120 km/h
Machine à chaudière ordinaire :		
a) cas du charbon (7.700 cal).....	1 kg	1 kg
b) cas du mazout (9.700 cal.).....	0,62 kg	0,62 kg
Machine à chaudière Velox :		
c) cas du fuel-oil moyen(9.580 cal).	0,57 kg	0,55 kg
d) cas du fuel-oil domestique (10.130 cal)	0,51 kg	0,49 kg

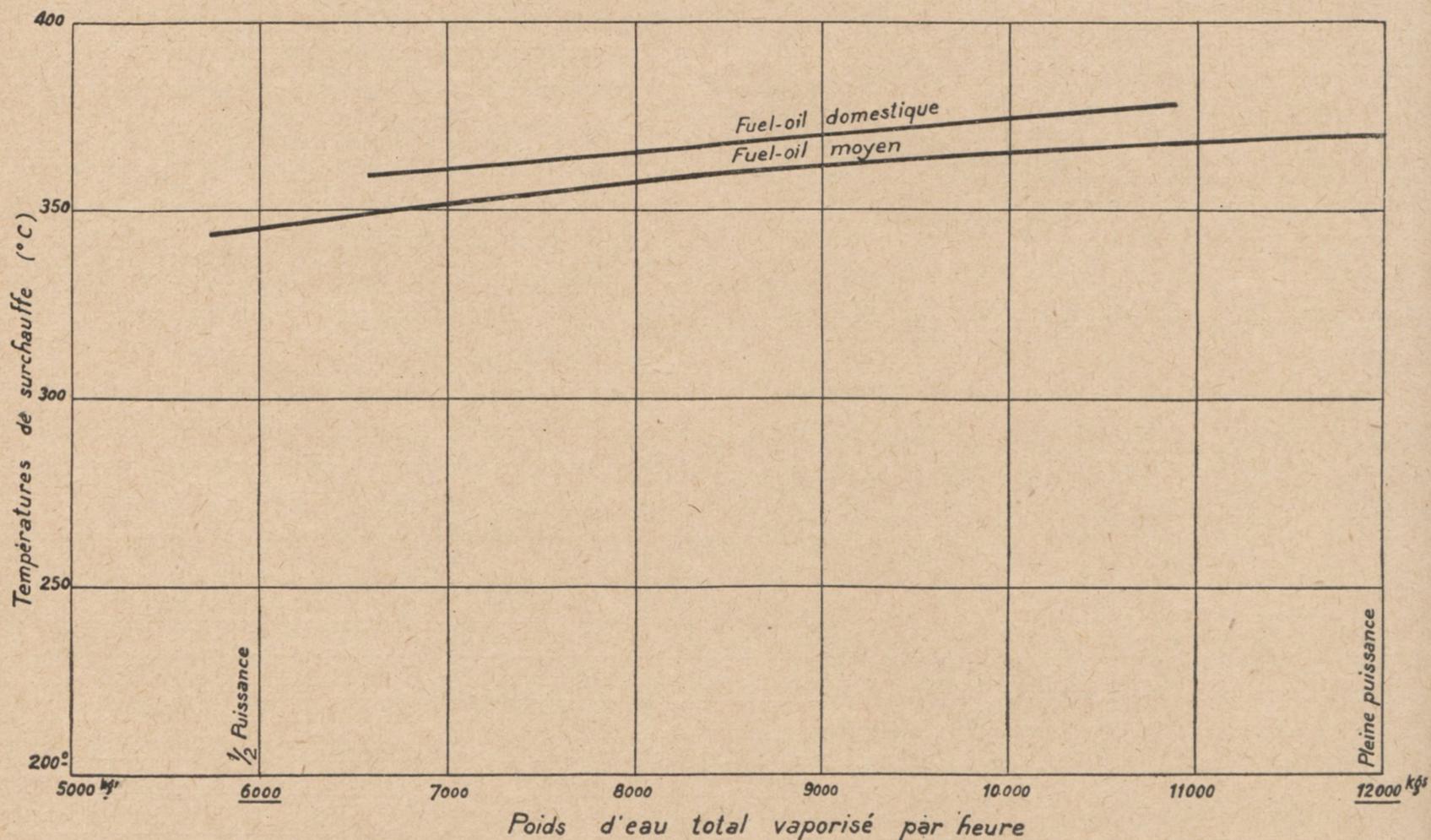
Ces chiffres se rapportent à la pleine puissance de la locomotive ; ils varient quelque peu avec la puissance.

Quantité de vapeur disponible aux cylindres

A pleine charge, pour une production de vapeur de 12.060 kg/h, la quantité de vapeur disponible aux cylindres a été de 10.397 kg.

A 1/2 charge, pour une production totale de 5 840 kg, la vapeur disponible aux cylindres a été de 5 080 kg, La différence constitue la consom-

Fig. 17. — Température de surchauffe.



mation des auxiliaires, mais il faut noter que les calories de la vapeur qui va aux auxiliaires ne sont pas complètement perdues, puisque la vapeur d'échappement des auxiliaires sert au réchauffage d'eau d'alimentation, ce qui explique le rendement très élevé indiqué plus haut.

Caractéristiques de la vapeur

La pression à la sortie du surchauffeur a été en général supérieure à 20 Hpz, chiffre prévu, sauf pour deux essais où elle a été de 19,6 Hpz. La figure 17 montre la température de surchauffe, qui a varié de 350 à 370° avec le fuel-oil moyen et de 360 à 380° avec le fuel-oil domestique.

Consommation par ch-h à la jante

Les consommations relevées pour la puissance maxima de 1500 ch à la jante et la vitesse de 90 km/h, ont été, par ch-h à la jante, de 0,61 kg avec le fuel-oil moyen et de 0,54 kg avec le fuel-oil domestique. Ces chiffres n'ont ici qu'une valeur documentaire, étant donné que le rendement du moteur intervient et que les cylindres de la machine n'étaient pas d'un type récemment amélioré. Pour comparer les consommations, toutes choses égales d'ailleurs, avec celle d'une machine à chaudière ordinaire, il convient de se reporter à ce que nous avons dit plus haut.

CONCLUSIONS

A la question de savoir si une chaudière Velox peut fonctionner sur une locomotive, on peut aujourd'hui répondre par l'affirmative. Les résultats escomptés : mise en marche presque instantanée, souplesse d'allure, haut rendement, ont été obtenus, avec un fonctionnement automatique satisfaisant.

Il reste à déterminer si, à la longue, des difficultés d'entretien, soit par incident mécanique, soit par

entartement, ne seront pas à considérer. C'est un bilan qui demandera un assez long délai et une comparaison prolongée avec les machines classiques, mises dans le même roulement.

Considérée pour les chemins de fer, une locomotive à chaudière Velox peut a priori présenter de l'intérêt à la fois pour un **service discontinu**, où la consommation pour la mise en marche ou la mise en veilleuse représente pour la chaudière classique une proportion importante de la dépense de charbon et de personnel (le cas le plus accentué est celui de la locomotive de réserve qui stationne dans les dépôts en attente d'un besoin quelconque), et pour un **service très continu**, où le rendement de la chaudière, son automaticité, le peu de fatigue qu'elle impose au personnel permettent d'envisager de très longs parcours journaliers. Le cas des rapides est particulièrement intéressant, puisque le gain procuré par la chaudière Velox est surtout important aux grandes vitesses, comme nous l'avons montré en analysant les conséquences remarquables de la suppression du tirage par échappement des cylindres.

Notons que la chaudière Velox présente l'intérêt de permettre l'emploi de hautes pressions. Par suite, si les essais prolongés qui vont être faits sont satisfaisants, il pourra être indiqué d'envisager son emploi avec des moteurs nouveaux, soit par exemple, un moteur classique, étudié pour la pression de 30 Hpz, soit des moteurs rapides comme ceux qui vont être essayés sur la locomotive construite par le Groupement des Sociétés Alsacienne—Fives-Lille—Schneider, qui est timbrée à 60 Hpz, soit enfin avec des turbines.

Quoi qu'il en soit, et sans préjuger les conclusions définitives qui seront émises plus tard, il est permis de dire que les résultats déjà obtenus avec l'installation que nous venons de décrire sont des plus intéressants et qu'ils font grand honneur à l'industrie qui l'a réalisée.