

LOCOMOTIVE SCHNEIDER A TURBINES

Type 232-Q-1 de la S.N.C.F.

par M. CHAN,

Ingénieur en Chef, Chef de la Division
des Études de locomotives à vapeur à la S.N.C.F.

La S.N.C.F. vient de recevoir et s'apprête à mettre en service une locomotive à vapeur d'un type nouveau, qui fait partie de la série des prototypes d'expérimentation commandés au cours des dernières années par les Réseaux français.

Cette machine, construite par les Etablissements Schneider au Creusot, ne comporte pas de bielles d'accouplement; chaque essieu est mis en mouvement par un moteur individuel qui est une turbine.

Elle est du type 2-3-2 et est destinée à la remorque des trains rapides.

Parmi les particularités que présente la machine, c'est en premier lieu sa propulsion par turbines qui retiendra sans doute l'attention, mais il convient de mentionner que l'emploi des turbines n'a pas été, à l'origine de l'étude, le problème strictement posé.

Cette locomotive résulte en effet d'un concours ouvert en 1933 par l'O.C.E.M. (1) entre les constructeurs français pour la réalisation d'une machine dont la caractéristique essentielle était de ne pas avoir de bielles d'accouplement; le système moteur à adopter n'était pas précisé.

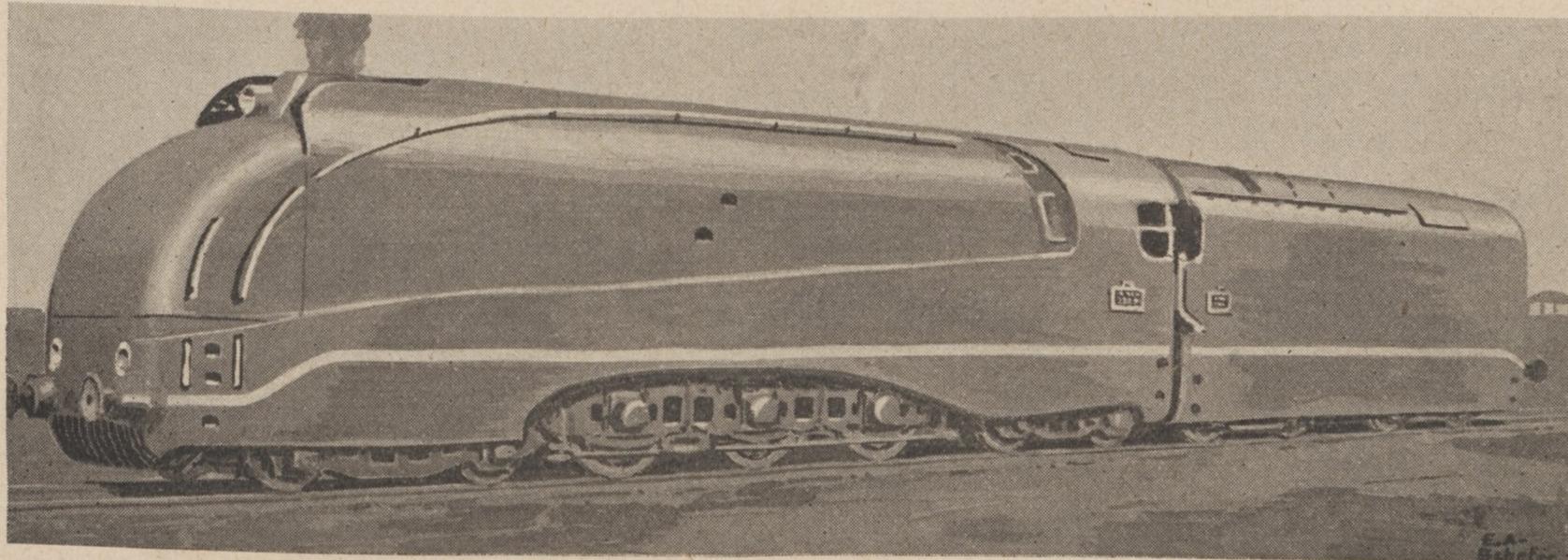
L'intérêt de la **suppression des bielles d'accouplement** est le suivant :

— Tout d'abord les bielles d'accouplement créent une liaison entre les essieux qui, si elle a son intérêt pour éviter le patinage, a l'inconvénient de faire ressentir à tous les essieux les défauts ou usures possibles de l'un d'entre eux. Le mécanisme par bielles a aussi la particularité d'appliquer les boîtes à huile tantôt vers l'avant de leur cage, tantôt vers l'arrière et de faire « battre » ainsi l'essieu dans son logement.

— On sait d'autre part que la machine classique possède tous ses cylindres groupés à l'avant et qu'on rencontre certaines difficultés à développer dans un espace limité par la largeur du gabarit, la puissance énorme demandée aux machines modernes et à la transmettre ensuite à l'ensemble du train de roues par un ou deux essieux dont l'un, coudé, est inévitablement moins robuste. De là, l'idée de fractionner la puissance en autant de moteurs qu'il y a d'essieux et d'arriver à des locomotives sans bielles d'accouplement, permettant de concevoir des machines à très grand nombre d'essieux munis chacun de son moteur, tous semblables et interchangeables.

Ces considérations expliquent l'intérêt du problème posé par le concours en question. Nous n'indiquerons pas le détail des solutions proposées, mais dirons

(1) « Office Central d'Études de Matériel, créé en mai 1919 par les anciens Réseaux ».



seulement que la plupart des concurrents s'orientèrent vers l'emploi de petits moteurs alternatifs. Les Etablissements Schneider, seuls, proposèrent une locomotive à turbines. Comme le problème des petits moteurs alternatifs se trouvait, à l'époque, étudié par la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, pour une locomotive à haute pression (60 kg/cm²), qui a d'ailleurs été réalisée par la suite sous la forme d'une machine sans bielles d'accouplement dont nous parlerons ultérieurement, la solution par turbines parut des plus intéressantes à essayer. C'est ainsi que fut commandée en 1936, aux Etablissements Schneider, la locomotive 2-3-2 à turbines dont il est question ici (1).

Rappelons en quelques mots l'historique des **locomotives à turbines**. Les premiers essais ne remontent guère qu'à 1920. Le mauvais rendement de la turbine au démarrage et aux faibles vitesses, la complication des problèmes posés, notamment par la condensation et le changement de sens de marche, avaient jusque là écarté l'idée de remplacer par la turbine le système très simple et très apte aux changements d'allures qu'est la locomotive à pistons.

Mentionnons toutefois, à titre de curiosité, un essai fait en 1910 en Italie, aux Ateliers Miami et Silvestri de Milan, sur une petite locomotive à 2 essieux, qui comportait non seulement l'emploi de turbines, mais aussi la disposition à commande individuelle des essieux de la machine que nous décrivons aujourd'hui (Voir Fig. in fine), mais la tentative n'a pas été poursuivie et il faut arriver à 1919 pour trouver le véritable début de la machine à turbines. (2) C'est à cette époque que, pour réduire la consommation de charbon, on a cherché à tirer parti de la turbine qui, depuis longtemps, avait fait ses preuves dans les installations fixes et à bord des navires, grâce à l'emploi de la condensation. Tous les essais entrepris de 1920 à 1930 ont été ainsi naturellement des essais de locomotives à condensation.

Les principaux ont été les suivants :

- Locomotive anglaise construite par la North British Cy (1920),

(1) Indiquons que le problème de la suppression des bielles d'accouplement sur les locomotives à vapeur ne paraît pas avoir fait l'objet de beaucoup de tentatives récentes à l'étranger. On ne peut guère citer que la locomotive à moteur Doble du Baltimore and Ohio (Railway Mechanical Engineer (Octobre 1937) et la machine type 241 à moteurs individuels Henschel (Schweizerische Bauzeitung du 3 Juin 1939, page 270) sur lesquelles rien n'a d'ailleurs été encore publié, et la machine à moteur unique de l'Union Pacific, type 2-3-3-2, imposante machine à turbine centrale et transmission électrique, qui utilise tous les progrès de la technique, chaudière à mazout, timbrée à 100 kg/cm², transmission par génératrice et 6 moteurs électriques et dont on vient de publier quelques résultats. (Génie Civil du 6 Janvier 1940). Les locomotives « Heilmann » de 1893-1897 à moteurs à pistons et transmission électrique peuvent être citées à titre historique.

(2) Les machines dont nous parlons ici sont plus spécialement les locomotives à turbines actionnant les roues par engrenages. Il y a eu par ailleurs des essais de locomotives à turbines à transmission électrique : on peut citer la machine « Reid-Ramsay » construite par la North British Cy en 1904, la locomotive « Ramsay » construite par Armstrong et Whitworth en 1921 et la machine de l'Union Pacific citée dans le précédent nota.

- Locomotive suisse Zoelly-Winterthur (1921),
- Locomotives allemandes de 2 000 ch de Krupp (1924) et de Maffei (1926) et tender-moteur Henschel (1927), tous engins munis de turbines Zoelly,
- Locomotives diverses de construction suédoise Ljungstroms (prototype en 1921, machine à marchandises de 1 600 ch pour l'Argentine en 1923 machine Beyer-Peacock de 2 000 ch pour le L.M.S. en 1926, machine à voyageurs de 2 000 ch pour la Suède en 1927),
- Locomotive italienne construite par les Ateliers de Breda (1931).

Les résultats obtenus ont confirmé l'économie de la turbine, la consommation de charbon ayant baissé de 25 à 30 % par rapport aux locomotives à pistons de l'époque. Mentionnons également l'économie d'eau due à la condensation, la machine de l'Argentine qui avait à traverser des régions sans eau, ayant consommé seulement 5 % de l'eau qui était nécessaire à la machine à piston. Mais on constata, d'une manière générale, que l'entretien des auxiliaires et notamment de ceux nécessités par la condensation et par le tirage, qui ne se faisait plus par l'échappement de la vapeur, entraînait des dépenses élevées. En outre, la surveillance par le mécanicien d'appareils nombreux s'avérait comme étant une sujétion assez gênante. On fut ainsi amené, dans les pays européens où la question d'effectuer de longs parcours sans prise d'eau ne se posait pas, à estimer que la turbine devait être essayée **sans la complication de la condensation**. C'est ce qui a été fait à partir de 1935 par la Société Ljungstroms sur une machine Pacific d'express du L.M.S. et sur 3 locomotives, à marchandises, de 1 600 ch, type 140 du réseau minier suédois Grangesberg-Oxelsund, qui sont toutes à turbine unique et bielle d'accouplement.

La locomotive Schneider, objet de la présente note est également une **machine sans condensation**.

Par suite de la suppression de la condensation et de la détente prolongée qu'elle permet, le rendement de la locomotive à vapeur ne peut être notablement supérieur à celui d'une bonne machine compound classique et, en fait, reste de même ordre. **Quels sont alors les avantages de la machine à turbines ?** Ils sont a priori les suivants :

- Suppression de tout mouvement alternatif dans le mécanisme, d'où réduction des usures et jeux qui peuvent se produire à la longue.
- Fonctionnement en carter fermé avec lubrification abondante des organes de transmission.

- Couple moteur constant, donnant au démarrage un effort régulier qui utilise au maximum l'adhérence.
- Absence des surcharges périodiques verticales sur la voie, qui se produisent avec la locomotive ordinaire, où elles sont assez faibles aux vitesses de 120 km/h, mais deviendraient assez élevées aux très grandes vitesses.

Comme on le voit, **ces avantages sont d'ordre mécanique**. Ils sont de nature à se manifester surtout aux très grandes vitesses, qui sont les plus favorables au rendement de la turbine. Si on considère d'autre part que la suppression des bielles d'accouplement a

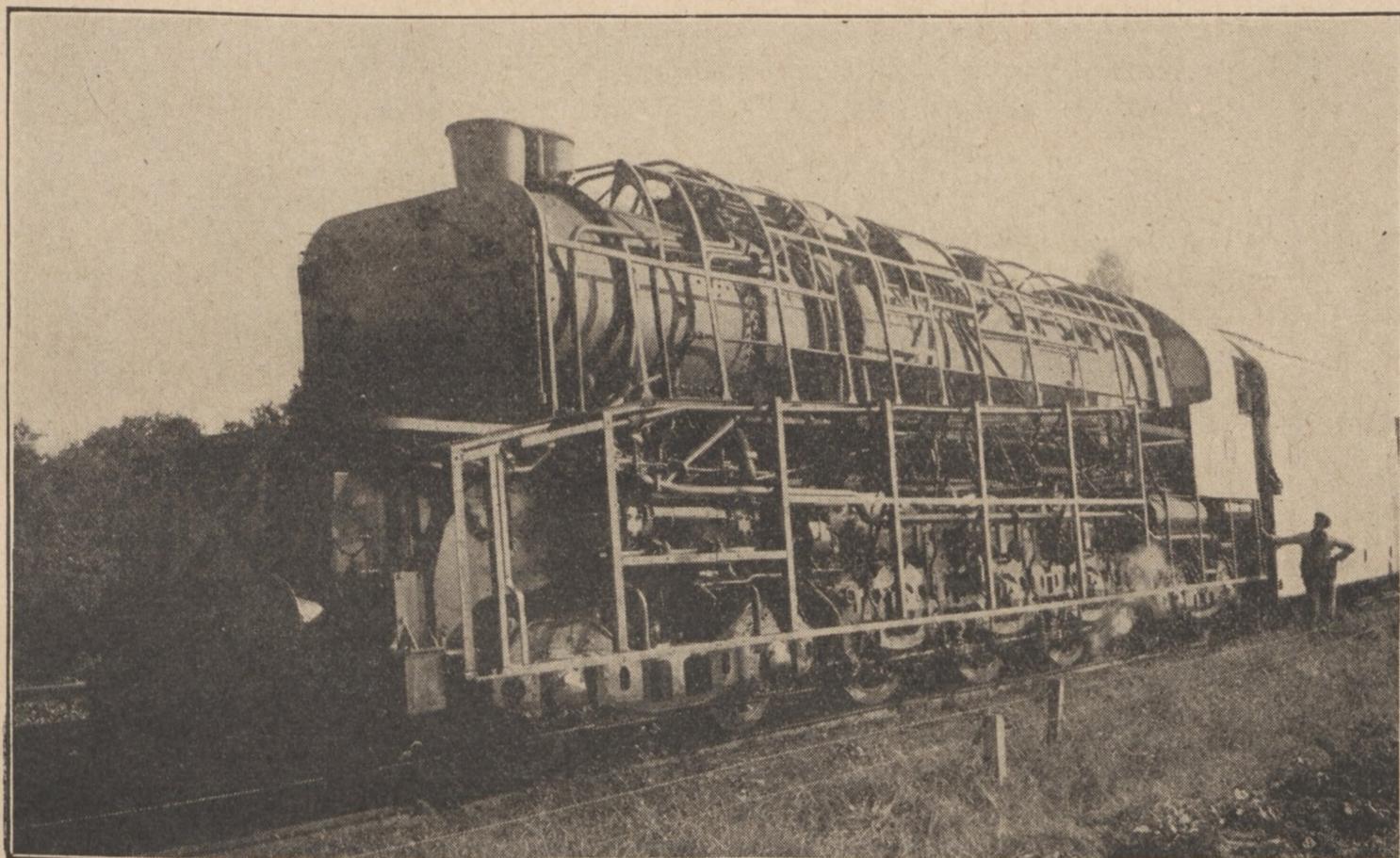
nouvelle machine, nous allons indiquer succinctement comment elle a été réalisée. Une description plus détaillée sera faite ultérieurement, en même temps que des résultats d'essais seront donnés.

Description de la machine

La figure 1 donne l'aspect général de la machine, qui est du type 2-3-2. La photographie a été prise sans le carénage qui doit recouvrir ultérieurement toute la machine.

La figure 2 donne une coupe longitudinale de l'engin. C'est une machine dont la chaudière est de type

Fig. 1. — Vue de la locomotive sans son carénage.



également des avantages d'ordre mécanique susceptibles d'être sensibles aux allures élevées, **on voit que dans son ensemble la locomotive à turbines Schneider est une machine qui peut avoir de l'intérêt aux grandes vitesses**. C'est la raison pour laquelle le type retenu a été celui d'une locomotive de rapides.

Ainsi qu'on le verra dans la description qui suit, la locomotive Schneider à turbines se présente tout à fait comme une locomotive électrique dans laquelle les moteurs électriques auraient été remplacés par des turbines. Elle participe de ce fait aux particularités de ce dernier type de machine en ce qui concerne la transmission du mouvement et les efforts sur la voie.

Ayant exposé dans ses grandes lignes l'intérêt de la

classique et dont seul le mécanisme moteur est nouveau.

Ses principaux organes donnent lieu aux remarques suivantes :

Chaudière.— Comme nous l'avons dit, la chaudière est du type classique. Elle est toutefois timbrée à 25 kg/cm², chiffre un peu supérieur au timbre de 20 kg/cm² des machines modernes courantes. Il a été fait dans sa construction, usage assez étendu d'aciers spéciaux. Le foyer est en acier au chrome-molybdène FO; la boîte à feu et le corps cylindrique, en acier au nickel-chrome molybdène.

Sa surface de grille est de 4,90 m², chiffre équivalent à celui qu'on trouve sur les locomotives Mountain de la S.N.C.F. — et un peu supérieur à celui des locomotives Pacific.

Comme il n'y a pas de condensation, on a pu conserver le tirage ordinaire par échappement, qui est du type à croisillon P.L.M. à double cheminée.

Le surchauffeur, du type 5.P.4., est prévu pour donner une température de 375 à 400°.

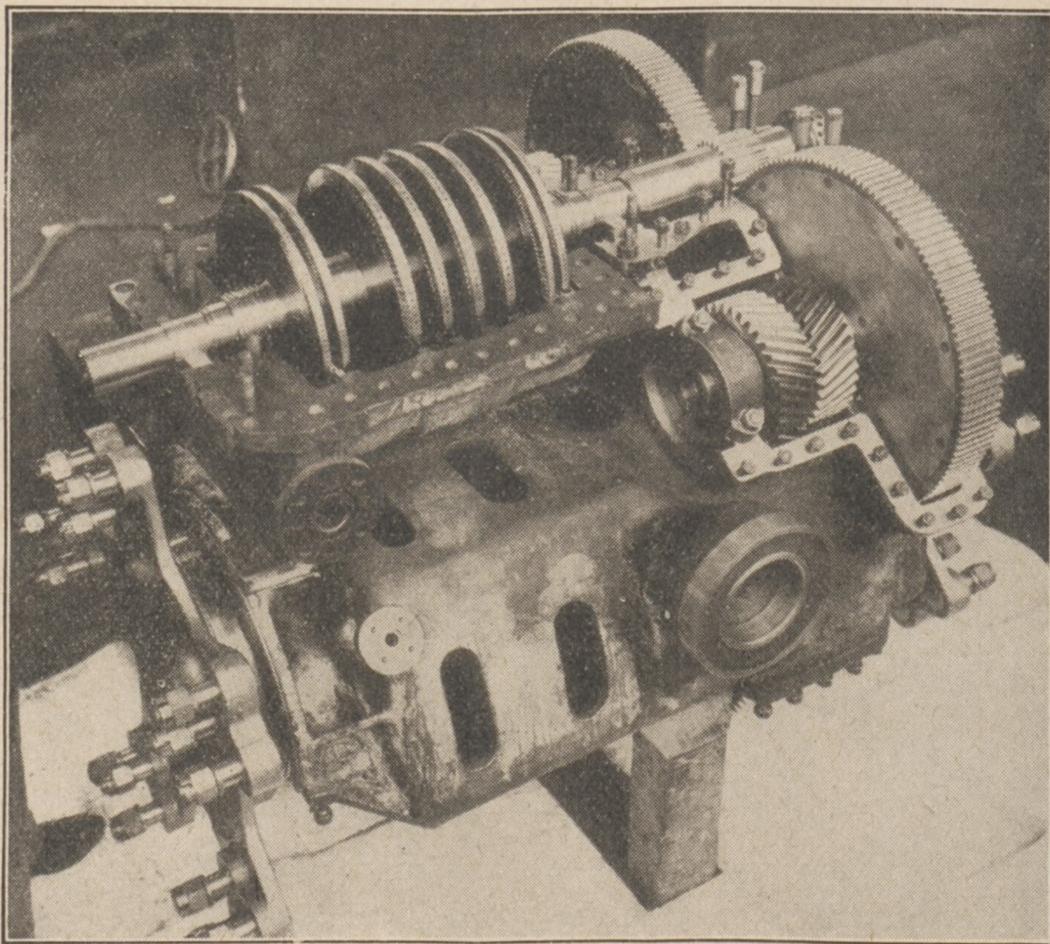
Mécanisme moteur. — Chaque essieu est mis en mouvement par une turbine tournant à 10 000 tours par minute à la vitesse de 140 km/h, reliée à l'essieu par engrenage à double réduction et un arbre creux du type des transmissions électriques Westinghouse-Schneider. L'ensemble, représenté sur la fig. 3, montre la turbine dont on a enlevé le demi-stator supérieur.

Chaque turbine, du type à action, comporte 6 étages de marche AV, le 1^{er} étant à roue double. Sur le même

par un dispositif d'embrayage qui ne solidarise la turbine de marche AR avec l'axe que lorsqu'il s'agit de marcher en arrière. Dans les locomotives suédoises, on a employé avec succès un système de renversement de marche à engrenages qui utilise une même turbine à grand rendement pour les 2 sens de marche. Comme on recherchait dans le cas présent un mécanisme simple, la solution des 2 turbines montées bout à bout a été celle retenue. Au surplus, le frottement continu des disques de marche AR tournant à l'envers dans la marche AV ne doit entraîner, d'après le calcul, qu'une résistance peu élevée et acceptable.

Comme le montre la figure 3, le pignon de la turbine attaque des engrenages droits de première réduction

Fig. 3. — Aspect d'un groupe moteur turbine et train d'engrenages (le demi-stator supérieur de la turbine enlevé).

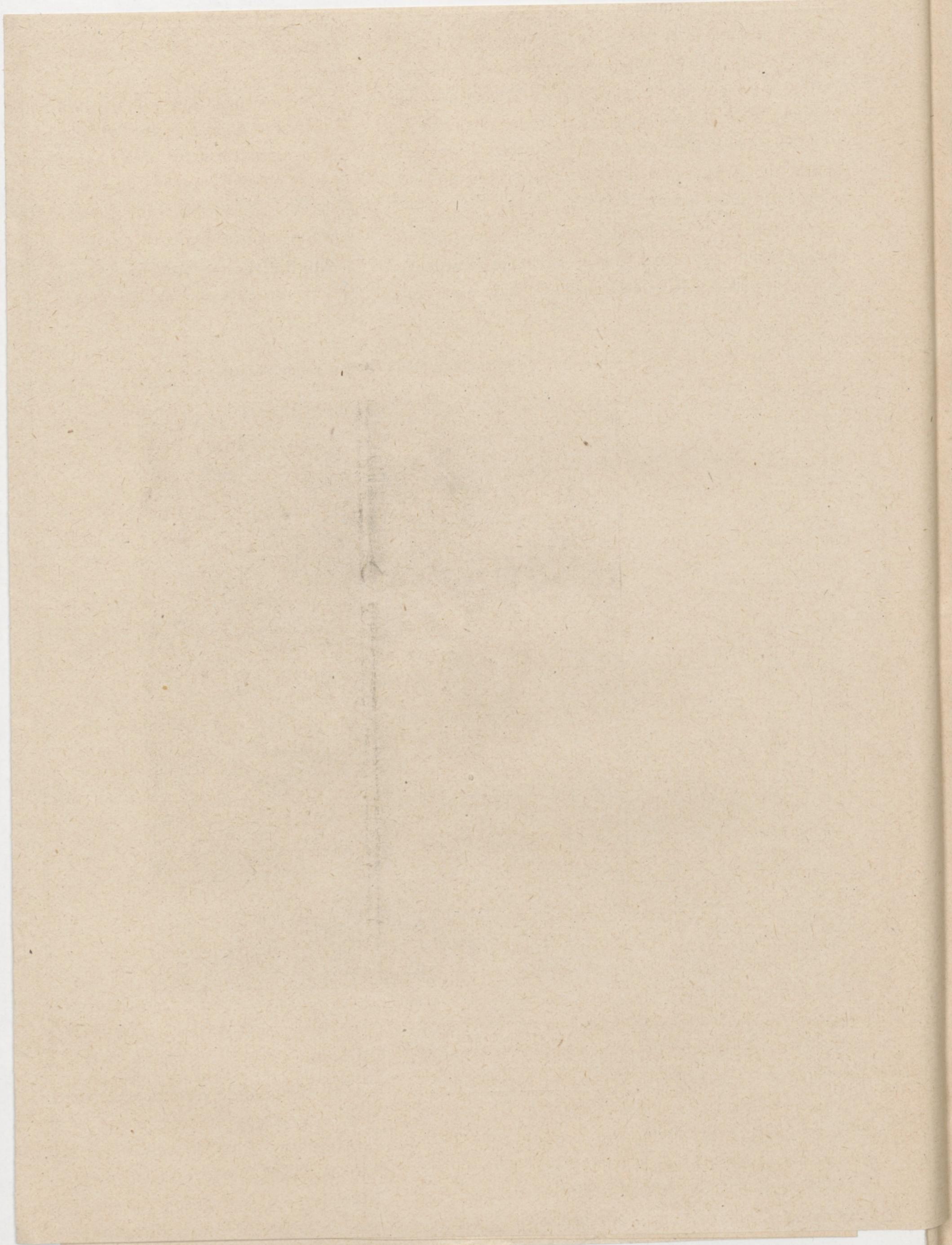


arbre est montée la roue de marche AR, à 2 rangées de vitesse. Cette disposition réduit les difficultés du changement de marche. On sait que le problème de la marche AR a donné lieu à des solutions assez diverses sur les locomotives à turbines déjà construites. Dans les machines allemandes la turbine de marche AR est, comme dans le cas présent, montée sur le même arbre que celle de marche AV et tourne constamment à l'envers lorsqu'on fonctionne dans le sens avant. Toutefois sur la machine Zoelly-Krupp, la Reichsbahn a été conduite à séparer les 2 turbines en coupant l'axe

(rapport 5/36) en partageant sa puissance sur 2 roues symétriques. Des dispositifs élastiques garantissent que les 2 roues se partagent bien la puissance.

Ces 2 roues transmettent ensuite leur mouvement à un arbre creux concentrique à l'essieu, par un engrenage à 2^e réduction (rapport 3,94), qui est du type à chevrons.

Au total, le rapport de réduction est de 21; le diamètre des roues est de 1,50 m et le nombre de tours/minute des turbines de 10 000, à la vitesse de 140 km/h.



La figure 4, où tous les carters ont été enlevés, montre l'extrémité de l'arbre creux. L'engrenage est monté sur celui-ci comme on le voit dans la figure 5; la figure 6 indique la liaison de l'arbre avec la roue. Cette liaison est du type Westinghouse-Schneider à essieu à fusée extérieure; la pièce à 5 branches qui termine l'arbre creux s'imbrique entre les rayons de la roue sur laquelle elle agit par des poussoirs à ressorts visibles sur la fig. 6. La puissance de chaque turbine est de l'ordre de 1 000 ch.

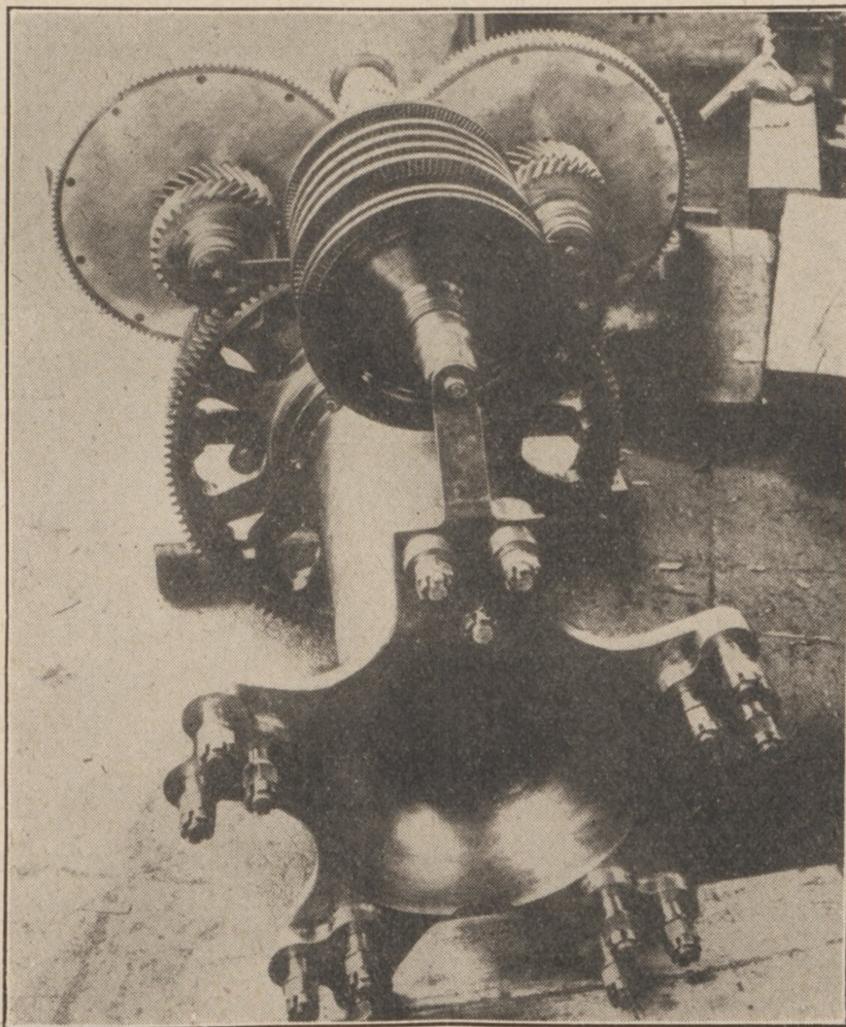
La **conduite** de la machine est des plus simples. Chaque turbine possède 3 secteurs d'entrée de vapeur, commandés chacun par une soupape à l'aide d'un seul

La machine étant à essieux indépendants, peut fonctionner avec une seule turbine lorsque la puissance requise est faible, dans les cas de marche de courte durée, à vitesse réduite, comme les retours au dépôt.

Il ne convient pas, en principe et sauf nécessité, d'envisager une marche normale et régulière avec une ou deux turbines seulement. Pour la marche ou le non fonctionnement, il suffit de placer dans une position convenable un petit levier particulier à chaque turbine (Fig. 8.)

Auxiliaires. — Nous ne dirons rien des auxiliaires qui se rencontrent normalement sur les locomotives

Fig. 4.
Ensemble de la turbine et de l'arbre creux (carters enlevés)



volant et par commande à distance; on soulève 1 ou 2 ou 3 soupapes et le débit de vapeur varie avec le degré d'ouverture. La manœuvre d'un seul volant suffit à régler le débit de vapeur et, à ce point de vue, on peut dire que la locomotive en question est, en ce qui concerne les organes à manœuvrer, plus simple à conduire qu'une locomotive ordinaire.

La figure 7 donne la courbe des différentes puissances à la jante qu'on peut obtenir ainsi suivant le nombre des soupapes soulevées.

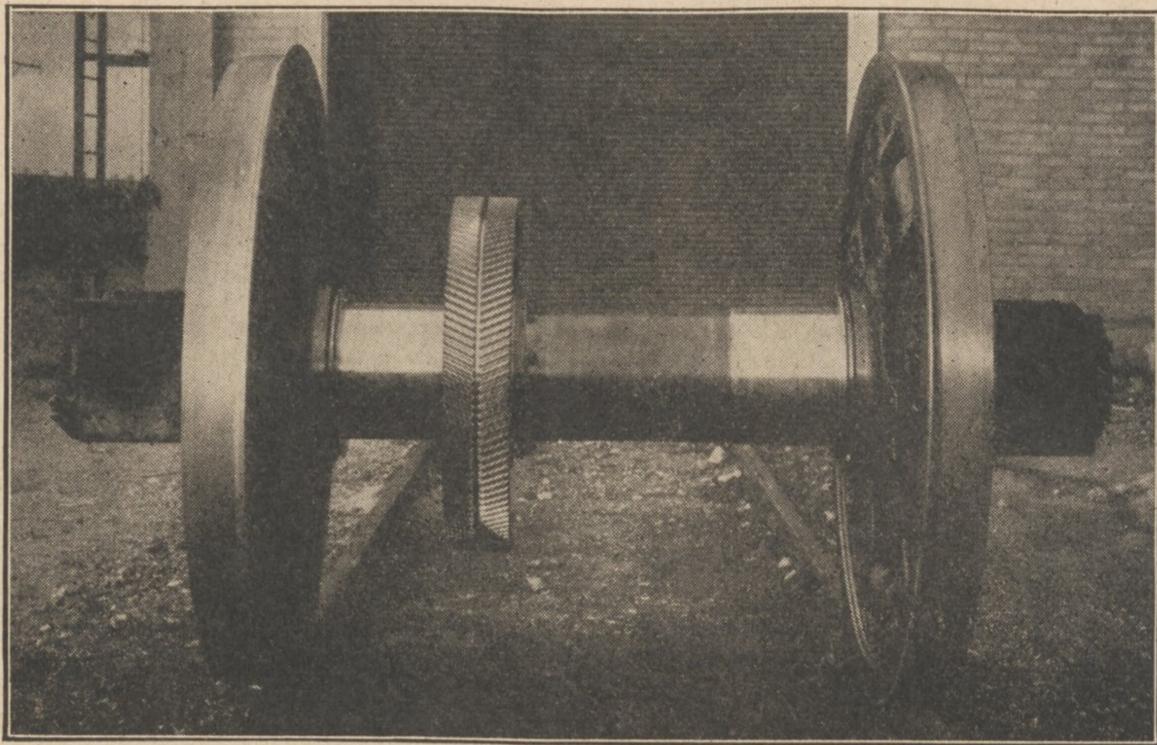
ordinaires, mais devons mentionner les points spéciaux suivants :

Une canalisation **d'huile sous pression** assure à la fois le graissage des engrenages et des paliers et la commande à distance des divers appareils actionnés depuis l'abri. Cette pression d'huile est obtenue au démarrage et jusqu'à une vitesse d'environ 80 km/h par 2 turbo-pompes à vapeur; à partir de 80 km/h et automatiquement, les 2 turbos en question sont débrayés et l'huile sous pression est fournie par un

dispositif centrifuge ou « impeller » monté en bout de chaque turbine motrice. A l'aide de dispositifs détenteurs (injecteurs d'entraînement ou détenteur proprement dit) on alimente avec cette huile 2 circuits : l'un pour le graissage (pression variable avec la vitesse entre 0,4 et 0,9 kg/cm²), l'autre pour les commandes à distance ou régulation (pression 6 kg/cm²).

telles machines s'amorce plus aisément que dans le cas d'essieux accouplés. Le dispositif étudié par les Etablissements Schneider coupe l'arrivée de vapeur à l'essieu lorsque cet essieu se met à tourner trop vite par rapport à un essieu porteur, pris comme repère de vitesse. Sans entrer dans le détail de l'appareil, disons qu'il y a entre chaque essieu et cet essieu-porteur

Fig. 5. — Engrenage monté sur l'arbre creux.



L'huile est maintenue à une température inférieure à 60° au moyen d'un réfrigérant à air placé à l'avant de la machine. L'arrivée d'air dans cet appareil est réglée par des volets commandés thermostatiquement. L'ensemble est protégé contre les chocs possibles.

L'huile sortant des parties graissées est récupérée dans des carters et remontée dans le réservoir par un éjecteur aspirant dans un collecteur commun.

Chaque turbo-réducteur est muni d'un régulateur de survitesse coupant automatiquement l'arrivée de vapeur aux 3 turbines au cas où l'une quelconque de ces turbines dépasserait la vitesse maximum prévue (150 km/h).

Mentionnons également un dispositif d'antipatinage, qui tend à résoudre le problème posé par les machines à essieux indépendants. On sait que le patinage de

repère une liaison par un dispositif qui mesure la vitesse différentielle et agit sur le circuit d'huile en fermant les soupapes d'accès de la vapeur lorsque cette vitesse différentielle dépasse un certain chiffre.

Châssis. — Le châssis se compose de longerons en tôle renforcés extérieurement par des longeronnets en acier moulé. Les bogies AV et AR sont d'un type classique à rappel par ressorts. Le châssis principal de la machine s'appuie sur le bogie AV par un pivot central et sur le bogie AR par des patins de glissement latéraux. Toutes les fusées sont extérieures et à roulement à rouleaux.

Le tender, du type normal P.L.M. de 30 m³, n'a rien de particulier, sinon son carénage. Un pousseur de charbon à vapeur remédie aux difficultés que pourrait avoir le chauffeur à accéder dans la soute par suite de la présence du carénage.

Fig. 6. — Accouplement de l'arbre creux et de la roue.

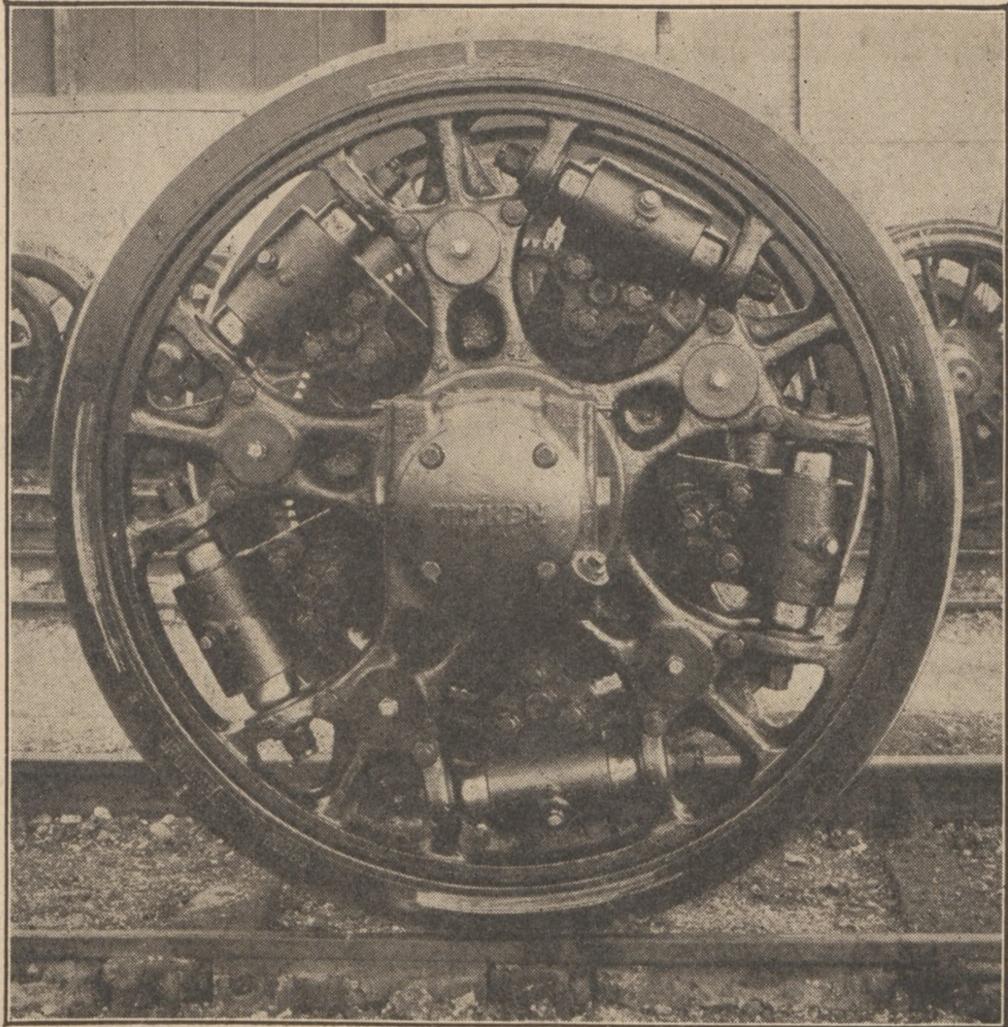
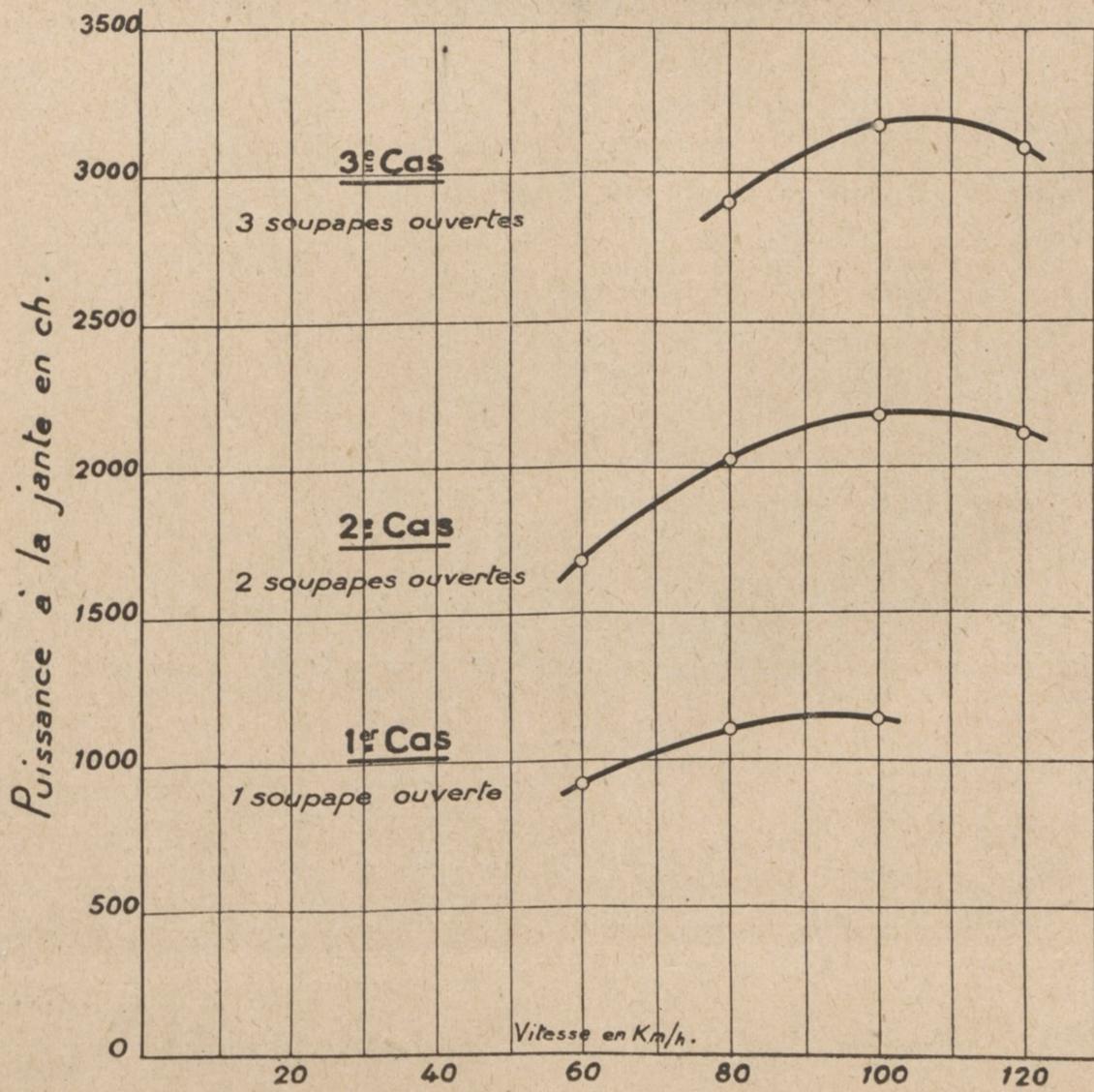


Fig. 7. — Puissances obtenues en fonction du nombre de soupapes d'entrée de vapeur ouvertes pour chaque turbine.



Les **caractéristiques générales** de la machine peuvent être résumées comme suit :

Chaudière :

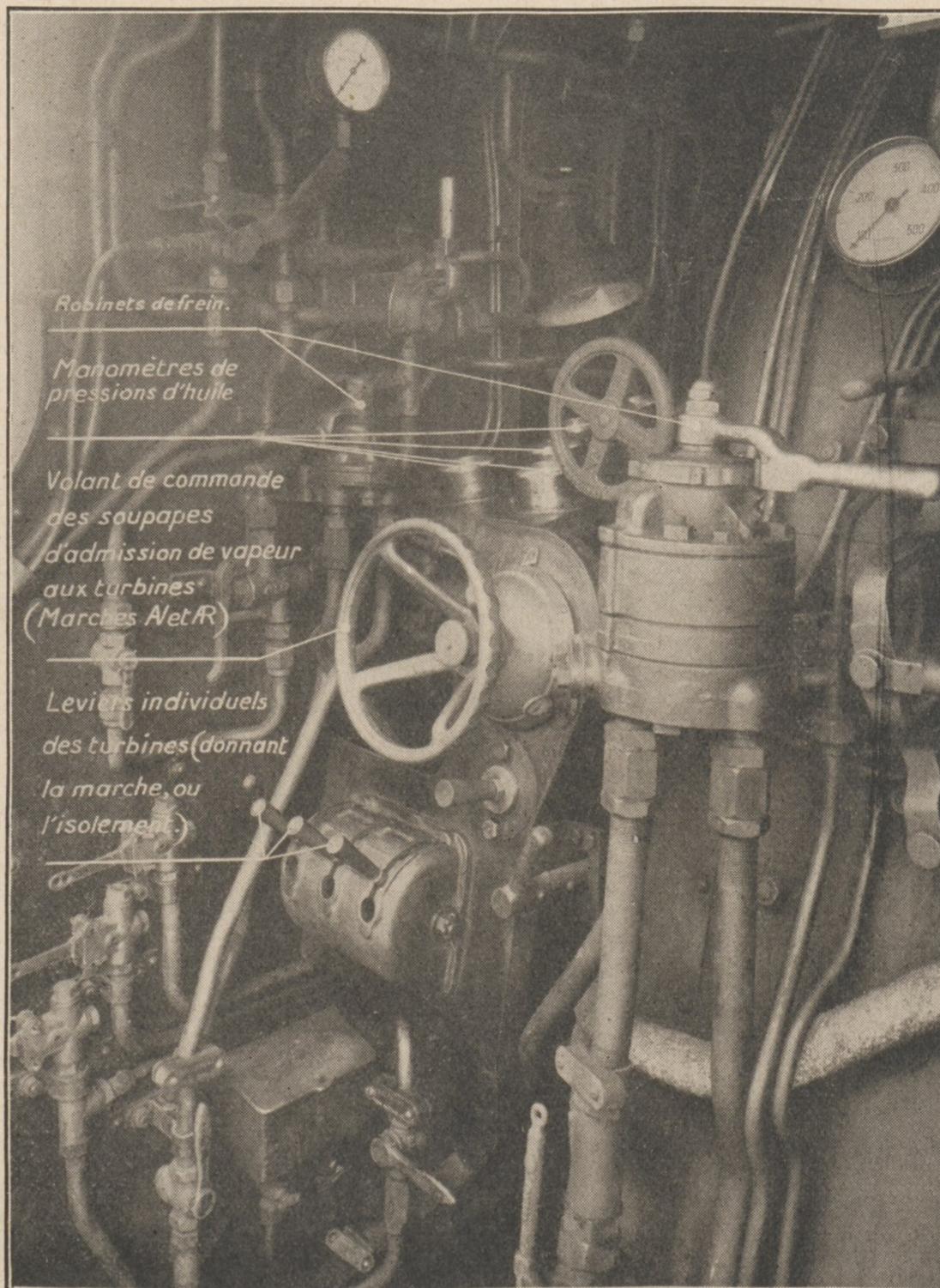
— Timbre	25 kg/cm ²
— Surface de grille.....	4,90 m ²
— Surface de chauffe.....	211 m ²
— Surface de surchauffe	89 m ²

— Puissance prévue aux essais à 120 et 130 km/h.....	2.600 ch
— Effort de traction au démarrage	
Marche AV	11,500 t
Marche AR	7,500 t

Dimensions et poids.

— Longueur de la machine hors tampons.....	15,800 m
--	----------

Fig. 8. — Appareils de commande à la disposition du mécanicien.



Robinefs de frein.

Manomètres de pressions d'huile

Volant de commande des soupapes d'admission de vapeur aux turbines (Marches AV et AR)

Leviers individuels des turbines (donnant la marche, ou l'isolement.)

Mécanisme.

— 3 turbines tournant à 140 km/h à..	10.000 tours/mn
— Rapport de réduction entre turbine et roues	21,11
— Diamètre des roues motrices	1,500 m
— Puissance de chaque turbine	1.000 ch

— Longueur de la machine avec tender hors tampons	25,200 m
— Empattement rigide	4,040 m
— Poids sur roues en ordre de marche	122 t
soit : bogie AV	30,500
3 essieux moteurs	58,500
bogie AR	33,00

Premiers résultats obtenus.

La locomotive livrée par les Etablissements Schneider au Creusot a effectué au cours de son voyage du Creusot au Banc de Vitry, où elle doit faire ses essais, la remorque de trains divers au cours de laquelle on a pu se rendre compte qu'elle démarrait convenablement des trains de 600 et même de 800 t. En ce qui concerne la puissance et la consommation, des essais viennent d'être entrepris au Banc de Vitry et nous en publierons

les résultats lorsque la mise au point sera terminée. On peut dire dès à présent que la puissance prévue au marché, soit 2.600 ch, est aisément atteinte et que la machine pourra développer environ 3.000 ch à la jante. La figure 7 donne la courbe des efforts moteurs à la jante.

Une fois les essais terminés au Banc de Vitry, la machine sera mise en service courant sur la ligne Paris-Laroche.

