

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS

PAR LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD
AUX

ÉCHAPPEMENTS DE SES LOCOMOTIVES

par M. LEDARD,

Ingénieur des Ateliers de Machines

Depuis 1902 et jusqu'en 1935, la plupart des locomotives de la Compagnie du Nord étaient équipées avec l'échappement variable « type Nord à cône mobile ». Le rendement de cet appareil, qui, à l'époque de son application, constituait un progrès important, est devenu insuffisant depuis l'apparition des échappements modernes perfectionnés. La Compagnie du Nord a décidé de remplacer cet échappement sur toutes ses locomotives modernes par un nouvel échappement proposé par M. Lemaître, Ingénieur du Nord-Belge.

La présente note donne la description de ce nouvel échappement et indique les résultats obtenus au cours des essais de mise au point.

A l'époque où l'échappement variable, dit à cône mobile, Nord type 1902, fut imaginé pour remplacer l'échappement à valves, il bénéficia immédiatement d'une grande faveur, justifiée surtout par la possibilité qu'il offrait de pouvoir faire varier, d'une façon continue et dans d'assez grandes limites, la section terminale offerte au passage de la vapeur. Le bénéfice tiré de ses qualités de variabilité résultait de la possibilité de réduire aux faibles et moyennes puissances, par un desserrage approprié, la contrepression exagérée correspondant au serrage à fond.

Le serrage à fond était indispensable pour obtenir un taux de combustion horaire qui, en régime continu, sur les locomotives modernes du type 3.1200 à grille de 3,50 m, devait atteindre 500 à 600 kg.

Or, pour un tel taux de combustion, que l'on considère cependant aujourd'hui comme relativement faible, la contrepression dans la colonne d'échappement dépassait souvent 1 kg/cm², de sorte que la puissance absorbée par le système éjecteur au détriment de la puissance utile devenait exagérée.

Les conséquences de cet état de choses étaient de limiter considérablement la puissance maxi-

mum qu'il est possible d'obtenir des machines et d'augmenter corrélativement, dans des proportions très importantes, la dépense de combustible au cheval/heure.

Vers 1930, les résultats obtenus par le P. O. avec l'échappement Kylchap, par le P.-L.-M. avec l'échappement à croisillon et par l'Est avec l'échappement à trèfle perfectionné, attirèrent à nouveau l'attention sur cette question importante.

Ce fut le point de départ d'une série d'essais, exécutés sur une machine de vitesse de la série 3.1201-3.1290.

Variabilité de l'échappement.

L'utilisation d'un échappement perfectionné permettant, avec un prélèvement de puissance raisonnable, de porter la limite de vaporisation de la locomotive à des chiffres inconnus jusqu'alors (1), a remis, en discussion la question de l'utilité d'un dispositif variable.

Les partisans de l'échappement fixe font ressortir que la production de la chaudière croît de façon sensiblement proportionnelle à la quantité de vapeur sortant par l'échappement.

(1) 1 000 kg à 1 200 kg par mètre carré et par heure, chiffres réalisés pour la 1^{re} fois sur le P. O. avec l'échappement Kylchap.

Or, la section terminale de l'échappement étant réglée pour obtenir la vaporisation maximum désirée, ce n'est qu'aux basses allures qu'il peut y avoir intérêt à desserrer l'échappement, de sorte que le gain de puissance obtenu est forcément peu important, puisque la contre-pression mise en jeu est elle-même faible. C'est pourquoi, en régime continu, et c'est le cas des essais aux machines-freins ou des trains remorqués avec une puissance très régulière, le bénéfice à escompter de la possibilité de desserrer l'échappement a pu être considéré par certains auteurs comme discutable.

Nous persistons cependant à considérer l'adoption d'un échappement variable comme désirable.

Il résulte, en effet, des essais effectués sur le Nord aux machines-freins que le gain réalisable en régime continu pour un desserrage approprié de l'échappement n'est pas tellement négligeable, puisqu'il atteint, dans le cas d'une chaudière de locomotive moderne (5.1200-3.1200) 40 ch pour une puissance utile au crochet de 1 500 ch, soit environ 2,7 %.

De plus, lorsque le régime est varié et que la locomotive est appelée à assurer des services très différents (1), l'adoption d'un échappement variable doit être considérée comme indispensable, toute question de gain de puissance mise à part, pour la raison primordiale qu'une allure de combustion désirée n'est pas atteinte instantanément et que la conduite du feu, par le chauffeur, n'est pas toujours exempte de défaillances.

Il convient aussi de ne pas oublier que le chauffage des trains en hiver augmente la consommation de vapeur de 10 à 40 % suivant la nature des trains et leur vitesse, cette vapeur ne passant pas par le système de tirage, qu'il faut donc pouvoir régler en conséquence.

Il faut reconnaître enfin que si la complication qui résulte du choix d'un dispositif variable est considérée par certains comme indésirable, l'adoption d'un tel dispositif, même lorsqu'il est appliqué à un échappement perfectionné, est très appréciée du personnel.

Les praticiens qui ont expérimenté les échappements fixes perfectionnés, savent bien qu'il

existe toujours des périodes où la production est dépassée par la consommation et pendant lesquelles on a intérêt à forcer momentanément le tirage, de façon à obtenir rapidement le régime désiré. C'est en particulier le cas des périodes consécutives à une préparation insuffisante ou tardive après un stationnement prolongé, ou celui des reprises après les parcours importants à régulateur fermé, pendant lesquels le feu dort et se salit rapidement.

Les échappements fixes favorisent, d'autre part, les pertes de vapeur importantes par les soupapes de sûreté, ces pertes atteignant fréquemment, lorsque le régime est varié, 2 à 3 % de la production totale de vapeur.

Aussi, bien que l'échappement fixe soit très répandu en France et à l'Étranger, il fut décidé de maintenir, sur les locomotives Nord, l'usage de l'échappement variable, ce maintien étant subordonné à l'adoption d'un échappement dont les qualités d'éjecteur soient peu influencées par la variation de la section terminale, ce qui n'était pas le cas de l'échappement, dit à cône mobile Nord type 1902.

Les essais, effectués en 1933 avec un appareil Kylchap muni d'un dispositif variable étudié spécialement pour le Nord par la Société "Le Chauffage intégral" en vue de son application sur les locomotives de la banlieue parisienne, donnèrent de bons résultats, mais le degré de variabilité obtenu, qui était très faible, fut considéré comme insuffisant.

D'autre part, une série d'essais effectués parallèlement avec l'ancien échappement à trèfle P.-L.-M. combiné avec un dispositif à petticoats, donnèrent des résultats sensiblement équivalents au point de vue du rendement à ceux obtenus avec le Kylchap, mais très supérieurs au point de vue du degré de variabilité.

Enfin, une autre série d'essais, effectués avec une nouvelle tête d'échappement inventée par M. Lemaître, Ingénieur de la Traction du Nord Belge, a permis d'obtenir des résultats très intéressants, tant au point de vue du rendement qu'à celui de la variabilité.

Cet échappement, qui est décrit ci-après et que M. Lancrenon, Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction, a décidé, au début de 1935, d'étendre à la plupart des locomotives du parc

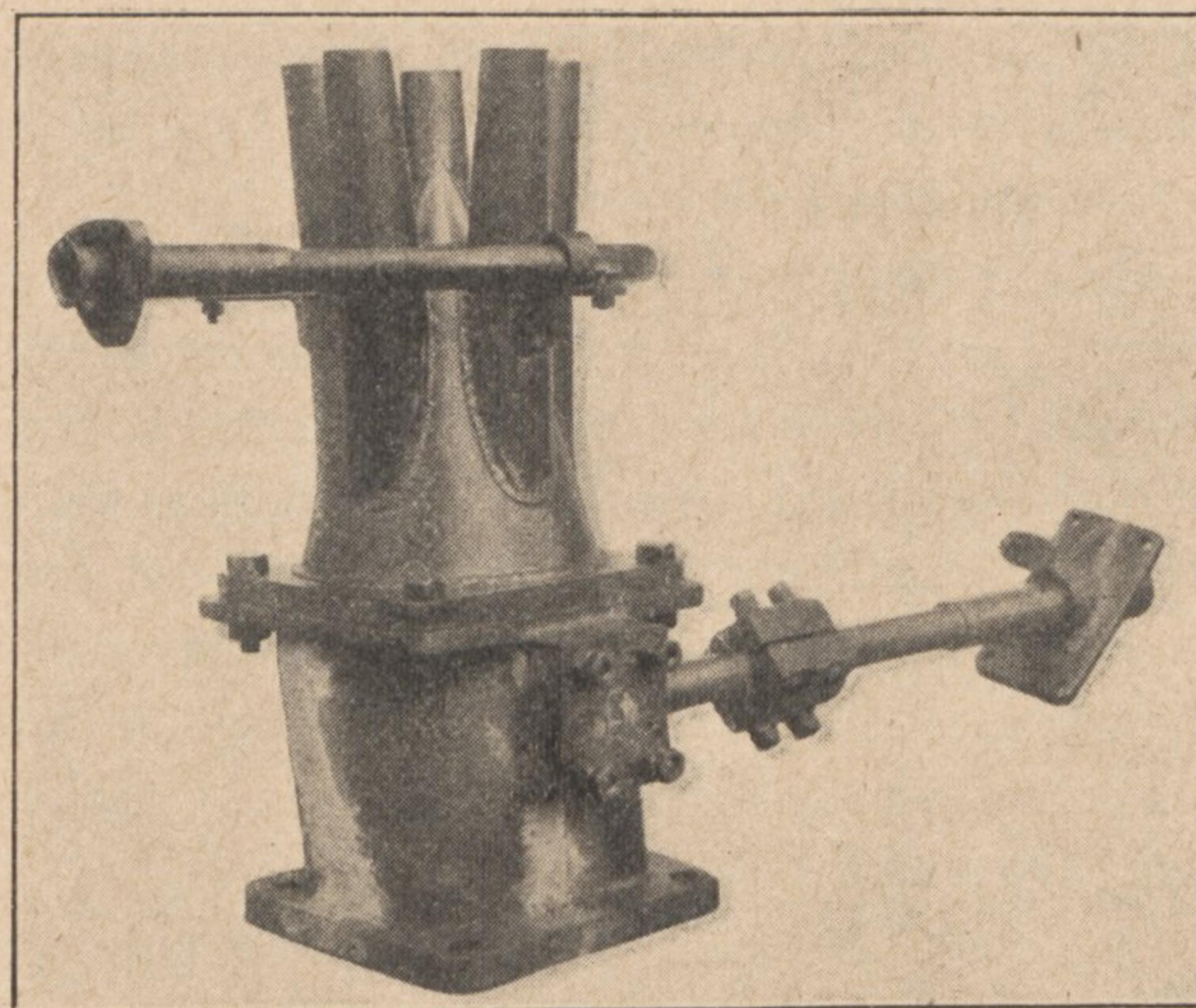
(1) C'est le cas particulier des machines 4.1201-4.1272, Mikado tenders du service de la banlieue, qui assurent un service à arrêts fréquents, mais qui peuvent être appelées à reprendre en réserve des trains rapides ou express.

du réseau du Nord, répond aux désiderata qui ont été exprimés précédemment et procure une souplesse dans la conduite de la chauffe que l'on ne retrouve pas, indiscutablement, avec les échappements fixes.

Échappement variable système Lemaître

En 1932, M. Lemaître, a proposé l'utilisation d'une tête d'échappement munie d'un dispositif variable qui est représentée à la fig. 1.

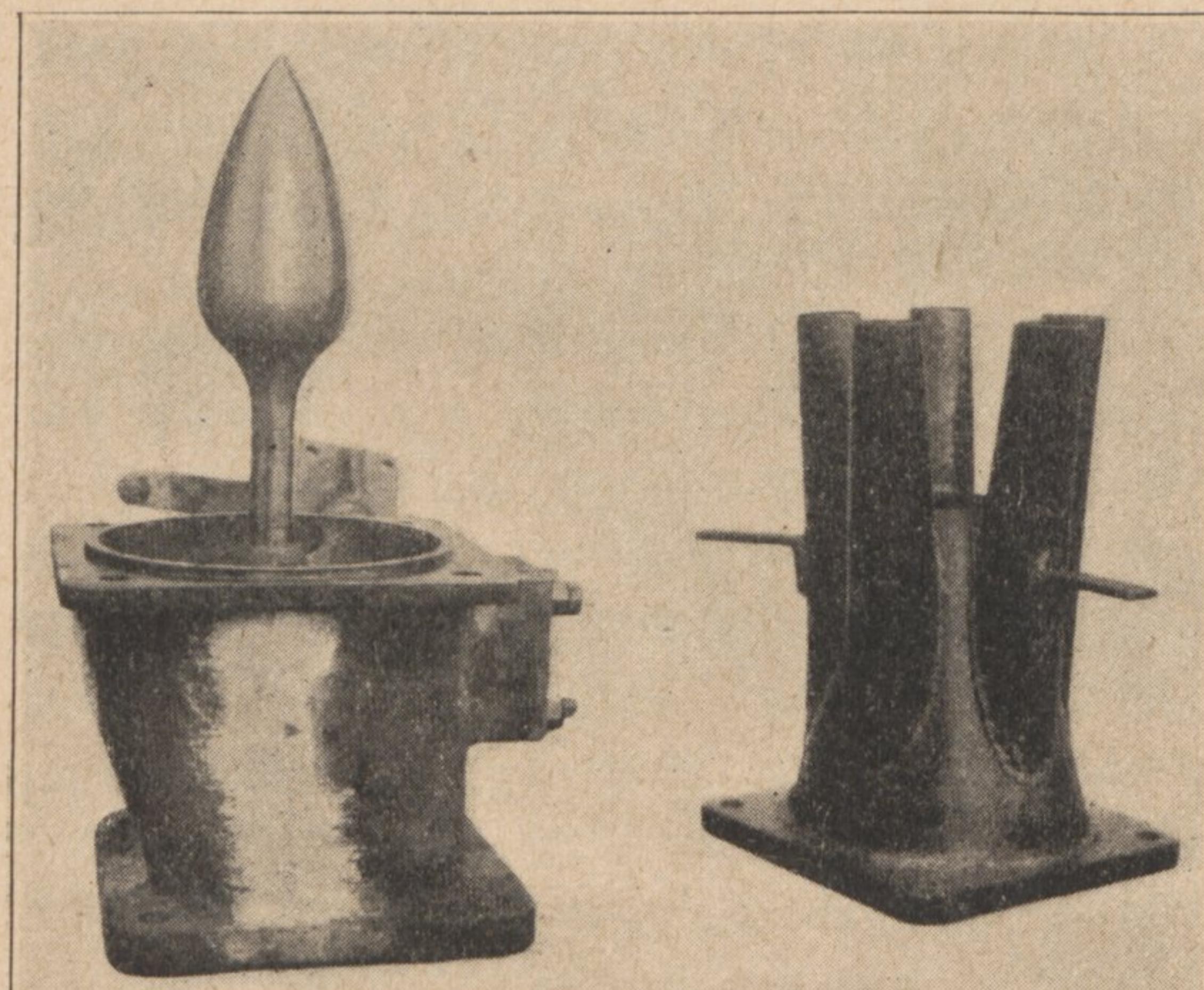
Fig. 1. — Tête d'échappement Lemaître-Nord à 5 tuyères



On voit à droite la commande du dispositif variable.

La tête est composée d'un ensemble de 5 ou 6 tuyères disposées en couronne et d'un orifice central qui peut être obturé, en tout ou partie, par une poire, laquelle constitue le dispositif variable (fig. 2). Cette poire peut être déplacée

Fig. 2. — Dispositif variable de l'échappement Lemaître-Nord



verticalement par une commande appropriée mise à la disposition du mécanicien.

Cette tête d'échappement présente les avantages suivants :

a) La multiplication des points d'aspiration ainsi que l'augmentation de l'étendue des surfaces de contact entre la vapeur éjectée et les gaz entraînés, qui est portée au maximum, confèrent à cet échappement un rendement énergétique élevé.

b) La direction et la forme du jet à la sortie des tuyères, n'est aucunement affectée par la vitesse de sortie ou par le degré de fermeture de l'orifice central, ce qui permet à la cheminée et aux petticoats, s'ils existent, de fonctionner dans les meilleures conditions, quels que soient le régime et le degré de serrage.

c) La circulation de vapeur à l'intérieur des tuyères, à proximité des sections terminales, est exempte de remous.

d) La variabilité est très grande. Le rapport de la variation de section terminale à la section maximum est de 0,4 environ, le cran de serrage 6 correspondant à l'échappement fixe qui permettrait d'obtenir la puissance maximum de la locomotive.

Mise au point de l'échappement Lemaître Répartition du tirage à travers le faisceau tubulaire

De nombreuses expériences, effectuées au cours des années 1933-1934-1935, ont permis de mettre au point l'ensemble du dispositif d'échappement en recherchant les meilleures formes et dimensions à donner à la tête d'échappement et à la cheminée. En même temps, des comparaisons furent établies entre les résultats obtenus avec l'ancien Nord type 1902 à cône mobile et avec l'ancien échappement à trèfle.

Toutes ces expériences furent effectuées sur la même machine de la série 3.1251-90, avec le même combustible criblé et dépoussiéré, la chauffe étant toujours conduite par le même agent. Toutes les valeurs de la contrepression et de la dépression furent enregistrées dans un fourgon spécialement équipé à cet effet.

Le réchauffeur A. C. F. I. fut toujours isolé pour éviter les perturbations introduites dans le tirage par la captation irrégulière de la vapeur d'échappement.

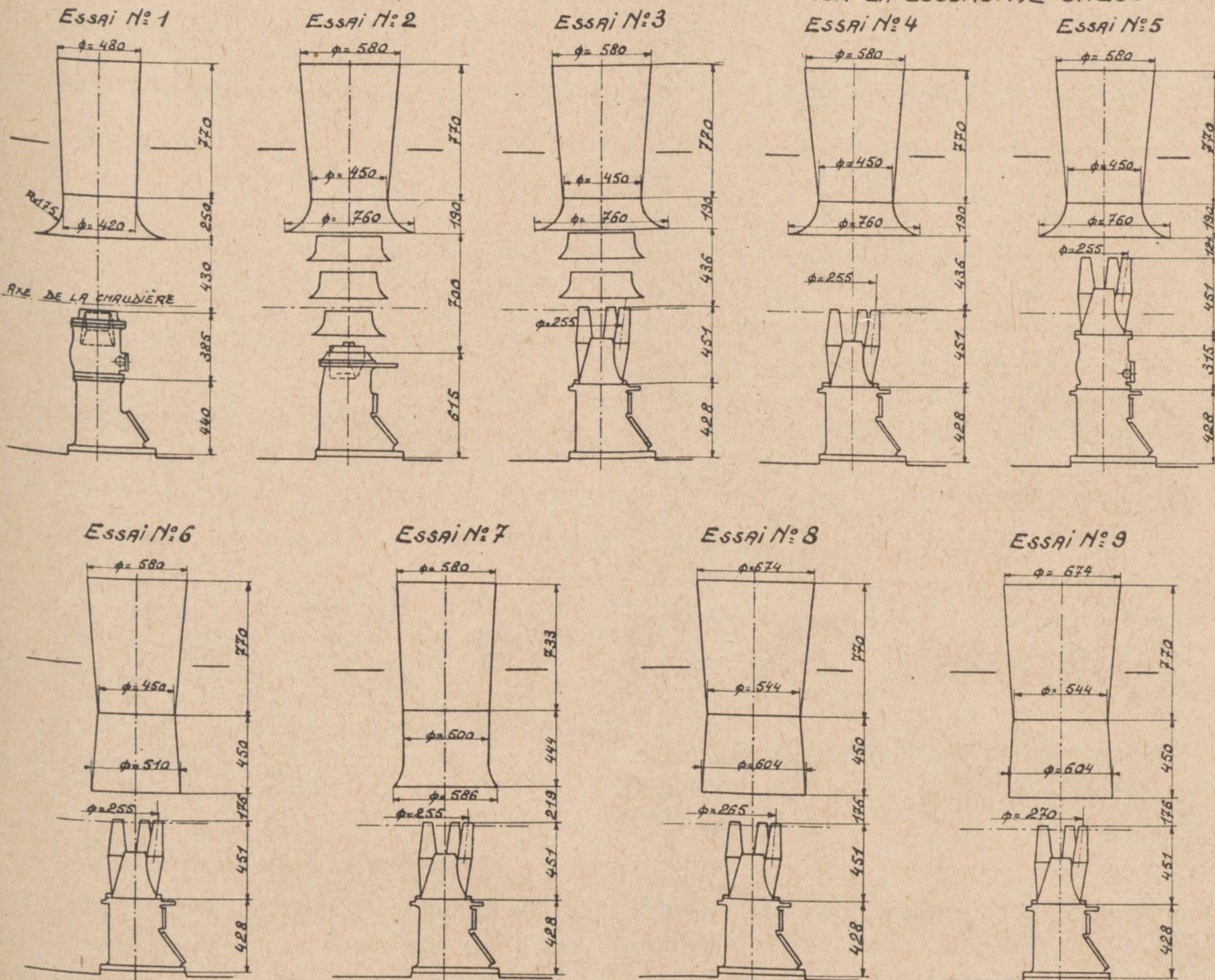
A propos de ces expériences, il convient, croyons-nous, d'attirer l'attention sur la question de la répartition du tirage à travers le faisceau tubulaire et par voie de conséquence, sur

le plan de grille. Au début des essais, les échappements à trèfle et Lemaître, mis à l'essai (fig. 3, essais N°s 2, 3), furent installés avec un ou plusieurs petticoats cylindriques du type américain. Il s'agissait, par conséquent, d'échappements à points d'aspiration étagés, qui étaient considérés comme pouvant, seuls, conduire à une répartition uniforme du tirage à travers la plaque

permirent d'obtenir des courbes caractéristiques d'échappement au moins aussi bonnes qu'avec les montages à petticoats. Les mesures de dépression statique effectuées à diverses hauteurs devant la plaque tubulaire permirent de penser que la répartition des gaz dans le faisceau tubulaire conservait une régularité suffisante. Toutefois, pour apprécier, en toute connais-

FIGURE 3

SCHÉMA DE MONTAGE DES DIVERS ÉCHAPPEMENTS SUR LA LOCOMOTIVE 3.1290



tubulaire, laquelle est indispensable pour éviter l'arrachement du feu dans les zones de la grille soumises au tirage maximum et la formation de mâchefer par défaut d'activité de la combustion dans les autres zones.

Au cours des essais, on s'aperçut vite que les montages à petticoats donnaient lieu, fréquemment, à des dérangements dûs à la déformation ou au dérèglement de ces appareils, et ceci malgré la robustesse des attaches et supports. Les mêmes inconvénients furent reconnus en service sur les quelques machines qui avaient été munies des mêmes dispositifs.

Aussi, étant données, d'une part les difficultés de montage et de réglage des petticoats qui se présentent dans la pratique au cours de l'entretien dans les dépôts et, d'autre part, le peu d'assurance que l'on pouvait avoir de ce fait en ce qui concerne l'obtention permanente en service du rendement maximum des échappements, il fut décidé de rechercher si des résultats équivalents ne pouvaient être obtenus sans petticoats et qu'elle serait la répercussion de leur suppression sur la répartition du tirage (fig. 3 essais 4-5-6-7-8-9).

Les premiers résultats obtenus furent encourageants et

sance de cause, la valeur de cette répartition, la machine d'essai fut équipée spécialement en vue de mesurer le débit des gaz à travers un certain nombre de tubes pris comme témoins dans toute l'étendue du faisceau tubulaire, chauffe et surchauffe. Cet équipement comprenait un certain nombre de tubes de Pitot spécialement construits en vue de leur installation dans les tubes à fumée (serve et à surchauffe) près de la plaque tubulaire de boîte à fumée.

Ces appareils étaient reliés à des manomètres à eau et pouvaient être en permanence maintenus en parfait état de propreté grâce à un dispositif spécial de nettoyage à l'air comprimé qui était utilisé pendant la marche, avant chaque mesure.

Les mesures effectuées permirent de constater que, malgré la suppression des petticoats, la régularité du tirage à travers tout le faisceau tubulaire restait parfaite, ce qui était confirmé d'ailleurs par la tenue du feu, la régularité de la combustion jusqu'aux plus fortes allures (plus de 1000 kg par m² de grille et par heure) et par la température de surchauffe de la vapeur, dont les valeurs en fonction des régimes restaient inchangées.

Résultats obtenus

Sur la figure 3, sont représentés les schémas des principaux échappements ou montages d'un même échappement qui furent essayés sur les locomotives de la série 3.1251-90.

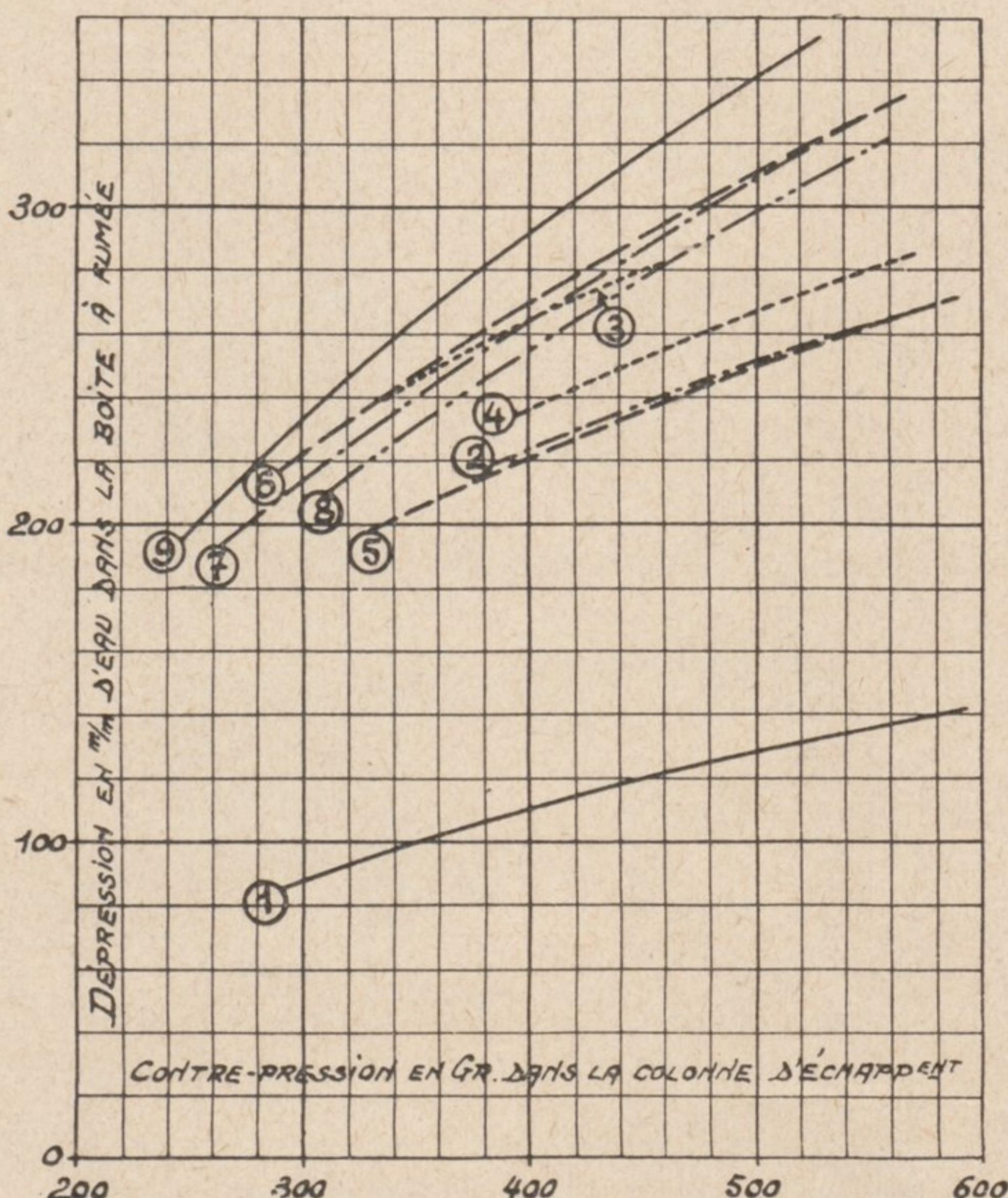
Sur la figure 4, sont représentées les courbes

n'exigent qu'une puissance utile moyenne de l'ordre de 1 500 ch utiles avec pointes à 2 000 ch, peuvent être remorqués sans serrer l'échappement au delà du cran 3 et même assez souvent l'échappement peut être desserré entièrement.

La figure 5 représente le schéma de montage de l'échappement Lemaître ayant fait l'objet de l'essai N° 9 et qui, ayant donné les meilleurs résultats,

FIGURE 4

LOCOMOTIVE 3.1290 — COMPARAISON DES DÉPRESSIONS ET CONTRE-PRESSIONS DES DIVERS ÉCHAPPEMENTS AU CRAN⁶



ESSAI N° 1	NORD
ESSAI N° 2	TRÉFLE À 3 PETTICOATS
ESSAI N° 3	LEMAÎTRE À 2 PETTICOATS
ESSAI N° 4	LEMAÎTRE SANS PETTICOAT HAUTEUR DE LA COLONNE D'ÉCHAPPÉMENT: 428 mm
ESSAI N° 5	LEMAÎTRE SANS PETTICOAT HAUTEUR DE LA COLONNE D'ÉCHAPPÉMENT: 743 mm
ESSAI N° 6	LEMAÎTRE SANS PETTICOAT CHEMINÉE DE 580x450 DIAMÈTRE DU CERCLE DES CENTRES DES TUYÈRES = 255 mm
ESSAI N° 7	LEMAÎTRE SANS PETTICOAT CHEMINÉE DE 580x500 avec EMBASE DIAMÈTRE DU CERCLE DES CENTRES DES TUYÈRES = 255 mm
ESSAI N° 8	LEMAÎTRE SANS PETTICOAT CHEMINÉE DE 674x544 DIAMÈTRE DU CERCLE DES CENTRES DES TUYÈRES = 265 mm
ESSAI N° 9	LEMAÎTRE SANS PETTICOAT CHEMINÉE DE 674x544 DIAMÈTRE DU CERCLE DES CENTRES DES TUYÈRES = 270 mm

caractéristiques correspondant à ces divers montages.

L'examen de ces courbes montre l'amélioration de rendement obtenue par l'agrandissement des dimensions de la cheminée dont les angles optima du convergent et du diffuseur ont été déterminés au cours d'une série d'essais spéciaux. Toutes ces courbes correspondaient au cran de serrage 6 qui, sur ce type de locomotives, permet de réaliser tous les taux de combustion jusqu'à 1 000 kg par m² de grille et par heure en régime permanent, taux de combustion pour lequel la contrepression à 120 km/h est de 500 g, la dépression caractéristique des pertes de charge étant alors de 370 mm d'eau environ (1).

En pratique, de tels régimes ne présentent un intérêt que pour franchir une pointe sur une rampe. Ils correspondent à un rendement de la chaudière qui est compris entre 0,45 et 0,5 et dépassent notablement les possibilités physiques d'un chauffeur moyen lorsqu'ils sont réalisés en régime permanent.

A la vérité, presque tous les trains du service rapide, qui

a été finalement choisi. Dans ce montage, la poire mobile n'obtuse pas complètement l'orifice central en position de serrage maximum, mais laisse subsister un espace annulaire de 2,5 mm de largeur.

Cet échappement se distingue des montages habituellement utilisés (Kylchap, Trèfle, Croisillon, etc..) par sa grande simplicité, due à la suppression des ajutages intermédiaires placés entre la tête d'échappement et la cheminée. Il en diffère, également, par le nombre et la forme des jets de vapeur et par sa très grande progressivité au serrage, obtenue sans modification appréciable du rendement.

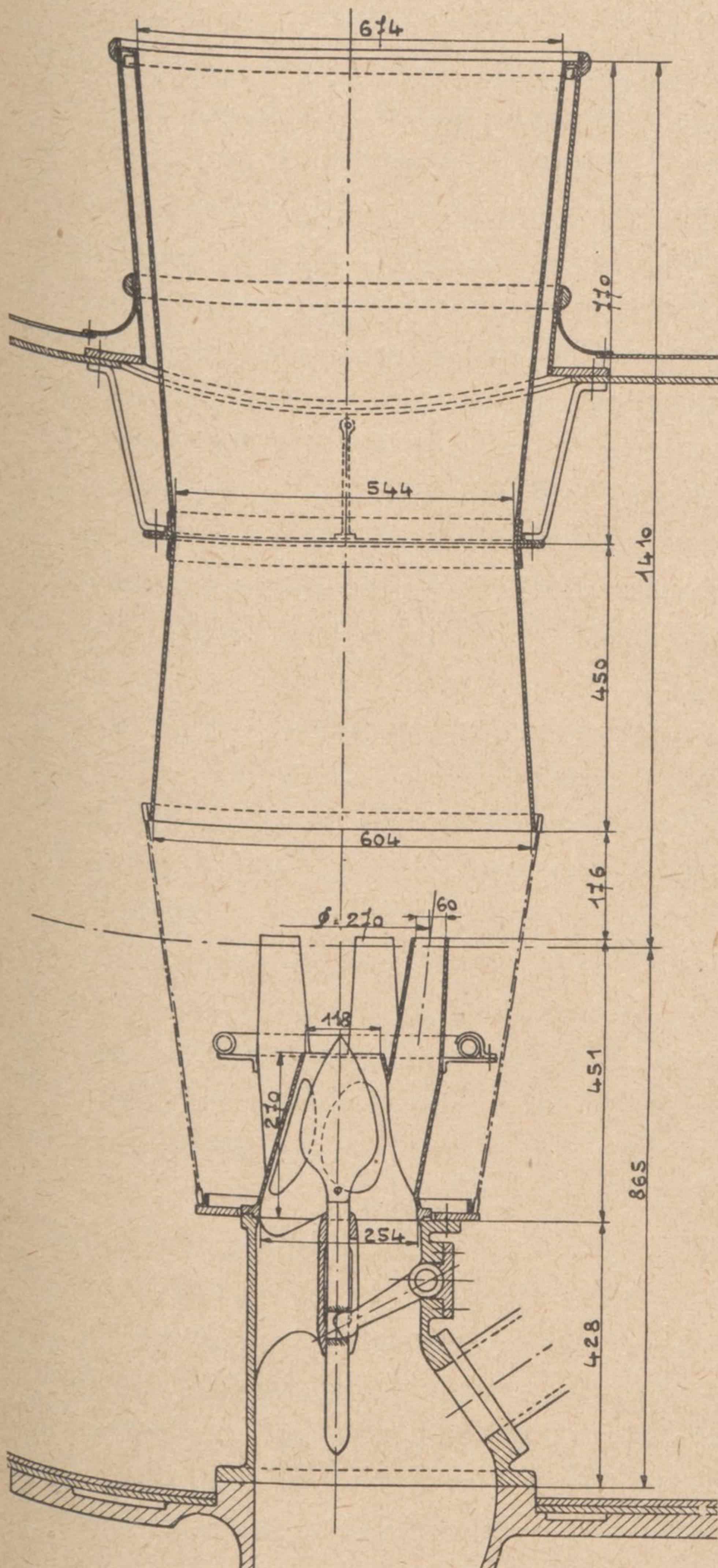
Les figures 6 et 7 représentent les variations de la courbe caractéristique de cet échappement en fonction du serrage. On voit que les trois courbes ont très rapprochées, ce qui prouve que l'usage du

(1) Sans réchauffage de l'eau d'alimentation.

(2) Pour ces régimes le rendement de la chaudière s'abaisse aux environs de 0,5.

dispositif variable ne perturbe pas sensiblement le fonctionnement de l'ensemble éjecteur-cheminée.

- Figure 5 -
Locomotives "Pacific" série 3.1251-3.1290
Échappement Lemaître sans petticoats
Schéma de montage



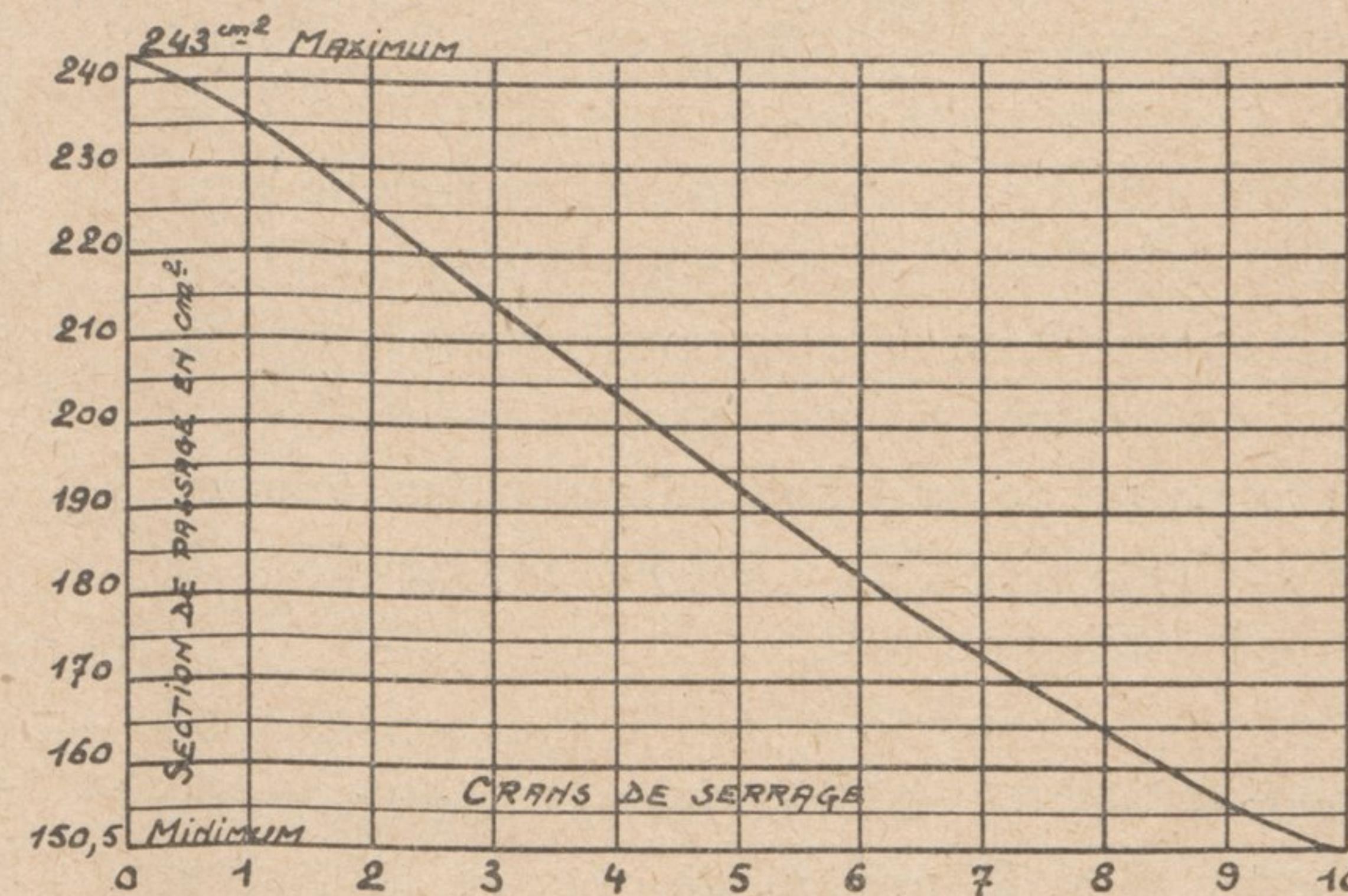
Augmentation de la puissance des locomotives après remplacement de l'échappement à cône mobile Nord par l'échappement Lemaitre

En régime permanent, cette augmentation est considérable.

Sur les machines de vitesse de la série 3.1251-3.1290, qui sont du type Pacific à 4 cylindres

Figure 6

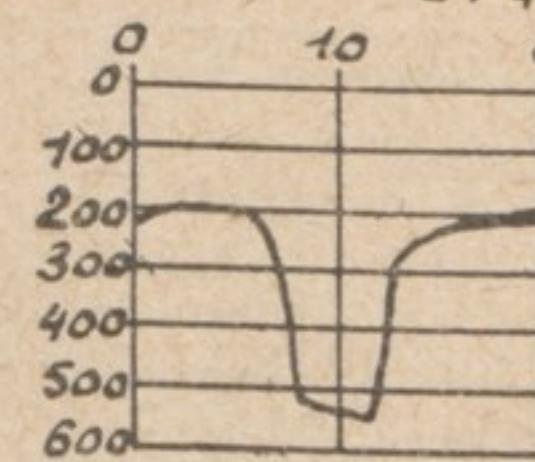
LOCOMOTIVE 3.1290 - ÉCHAPPEMENT "LEMAÎTRE" SANS PETTICOATS
(CHEMINÉE DE 674x544)
VARIATION DE LA SECTION DE PASSAGE DE LA VAPEUR EN FONCTION DU SERRAGE



LOCOMOTIVE 3.1290 - ÉCHAPPEMENT "LEMAÎTRE" SANS PETTICOATS
(CHEMINÉE DE 674x544)

VARIABILITÉ DE L'ÉCHAPPEMENT (ESSAI DE SERRAGE 0-10-0)

CONTRE-PRESSION EN GRAMMES



DÉPRESSION EN mm D'EAU

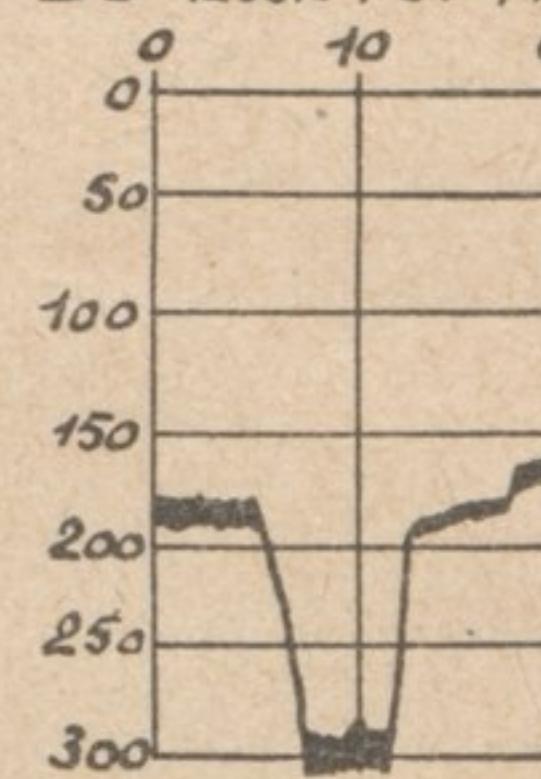
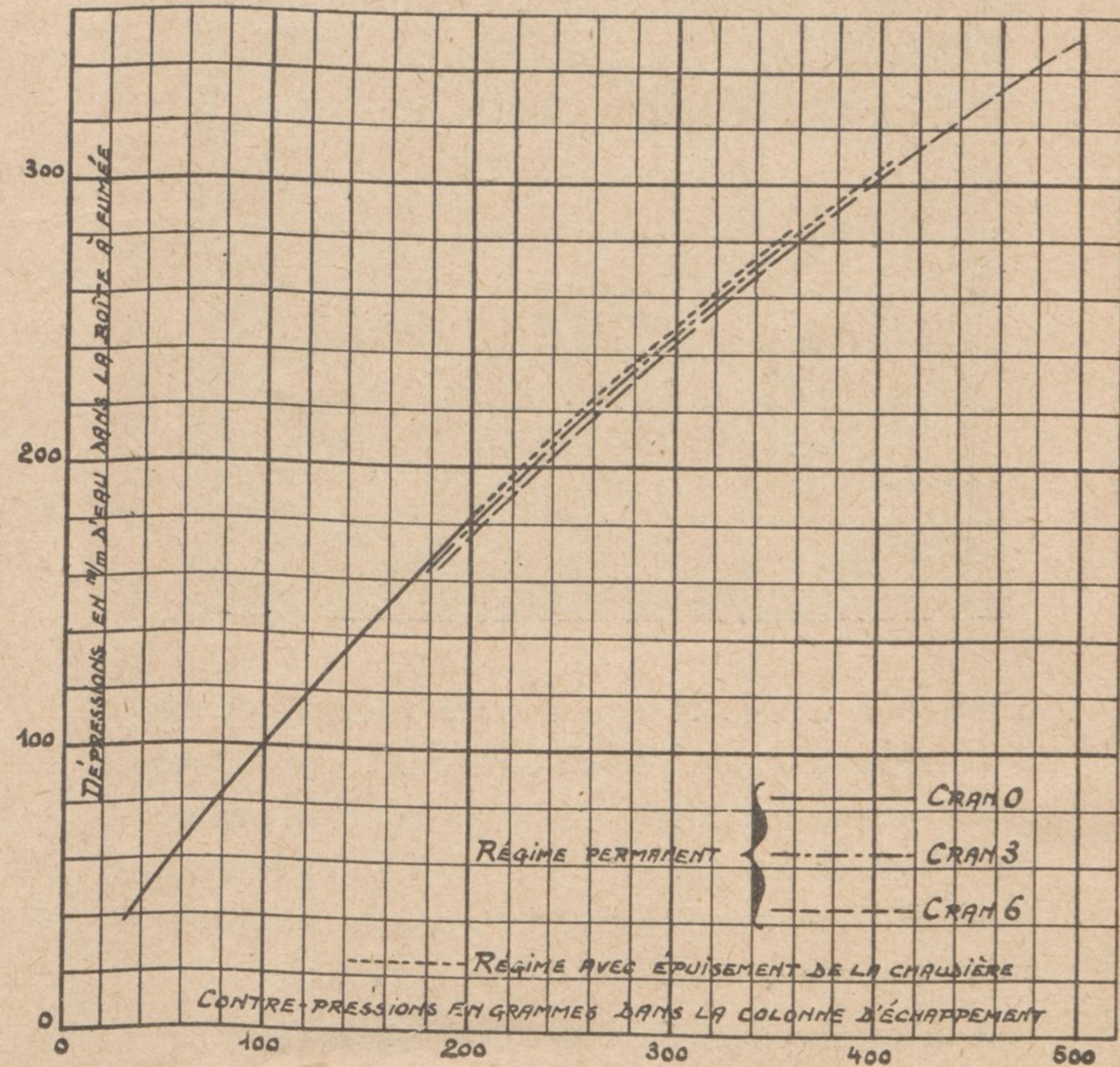


Figure 7

LOCOMOTIVE 3.1290 - ÉCHAPPEMENT "LEMAÎTRE" SANS PETTICOATS
(CHEMINÉE DE 674x544)

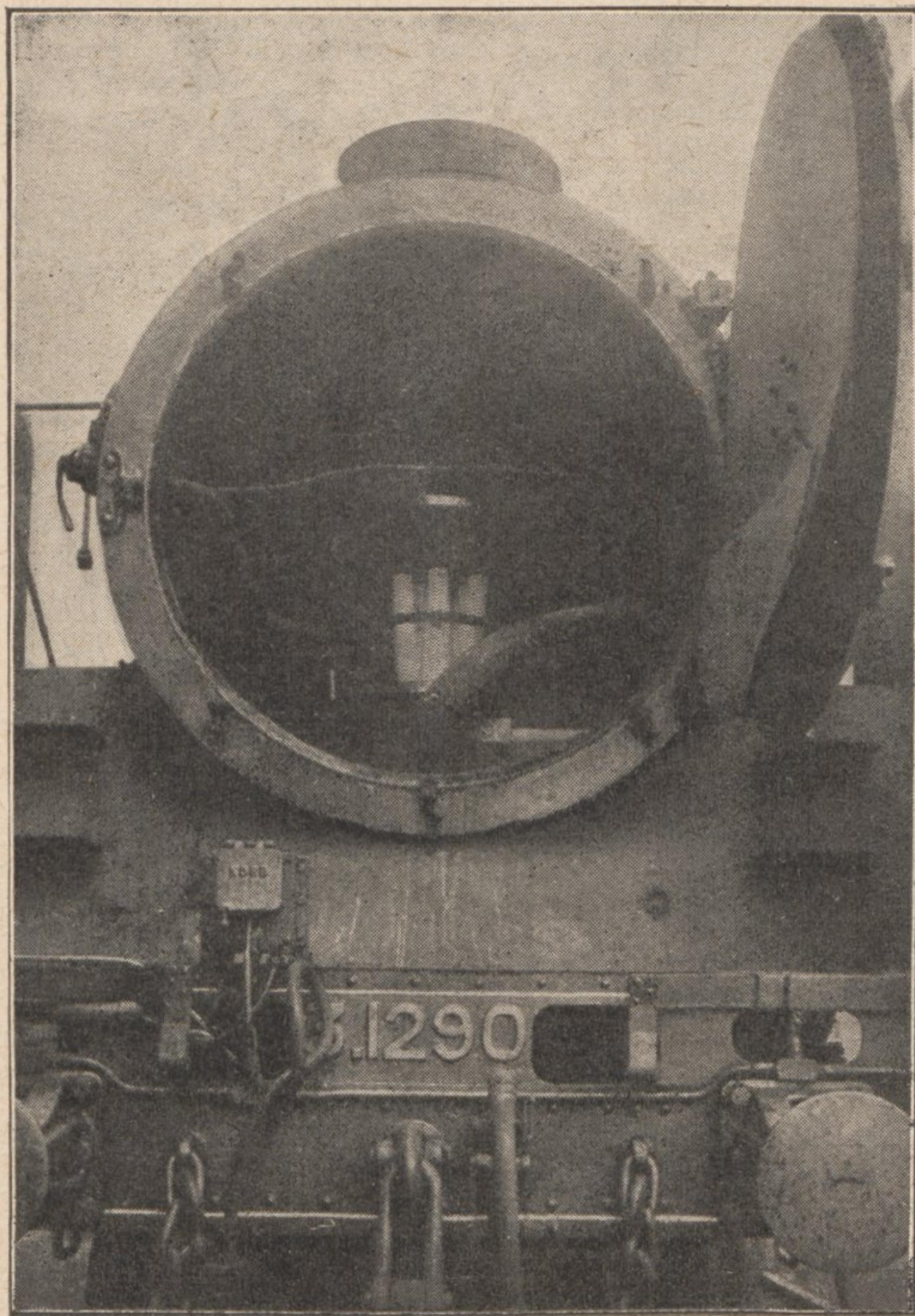
DIAGRAMMES DES DÉPRESSIONS ET CONTRE-PRESSIONS



compound, distribution Walschaerts, grille de 3,50 m², timbrées à 17 hpz, construction 1930, la dépression maximum qui pouvait être obtenue en régime permanent à la vitesse de 100 km à l'heure avec l'échappement Nord type 1902, était de 200 mm environ. A cette vitesse, habituelle pour ce type de locomotives, une dépression de 200 mm correspondait à un taux de combustion de 600 kg et à une puissance rapportée au palier de 1 700 ch; ce régime ne pouvait être obtenu qu'en tolérant une contrepression de 1,200 kg environ dans la colonne d'échappement.

Pour le même taux de combustion sur les machines de la même série, l'échappement Lemaître (Fig. 8) permet de réduire la contre-

Fig. 8. — Echappement Lemaître-Nord appliqué aux locomotives Compound de la série 3.1251-90



pression à 250 g, ce qui, à cette vitesse, correspond à un gain de 380 ch environ. La puissance absorbée par le système de tirage qui était voisine de 480 ch, se trouve, avec le nouvel échappement, réduite à environ 100 ch alors que la puissance utile disponible au crochets s'élève à 2 100 ch.

Aux essais effectués avec locomotives-freins, le

même échappement Lemaître, monté sur la locomotive 3.1249, type Pacific à 2 cylindres, simple expansion, distribution Cossart, roues motrices de 1,90 m grille de 3,50 m², timbrée à 17 hpz, a permis de soutenir pendant 40 minutes, en régime permanent, à la vitesse de 120 km/h sans réchauffage de l'eau d'alimentation, un taux de combustion de 1 100 kg par mètre carré de grille et par heure. La dépression était alors de 370 mm d'eau pour une contrepression de 550 g environ.

Des résultats analogues ont été obtenus aux locomotives-freins à la vitesse de 90 km/h avec une machine de la série 5.1201 - 5.1230 type Decapod à 4 cylindres, compound distribution Walschaerts, roues de 1,55 m, grille de 3,50 m², timbrée à 18 hpz, construction 1934, équipée avec un chargeur mécanique fourni par les établissements Stein (Licence de la Standart Stoker Cy). La vaporisation horaire s'est élevée à 19,5 t (I) pour un taux de combustion de 1 100 kg par mètre carré de grille et par heure, la contrepression ne dépassant pas 400 g/cm².

En service courant, avec réchauffage de l'eau d'alimentation, le même échappement, monté sur les locomotives de la série 3.1251-3.1290, permet d'obtenir, sur les rampes, des résultats fort remarquables. Ainsi, au train 165 du 18 Mars 1934, composé de 12 véhicules et chargé à 555 tonnes, après ralentissement à 30 km sur un chantier de travaux à St-Denis, le sommet de la rampe de Survilliers a été franchi à 107 km à l'heure, avec un niveau d'eau élevé, la puissance brute au crochet s'élevant à 2 150 ch.

Une mise au point de l'échappement Lemaître a été également effectuée sur les locomotives de la série 4.061 - 4.340. Les locomotives de cette série sont des machines du type Consolidation à 4 cylindres compound, distribution Walschaerts, grille de 3,22 m², timbrées à 17 hpz, construction 1912, qui possèdent, d'ailleurs, un circuit de vapeur bien imparfait.

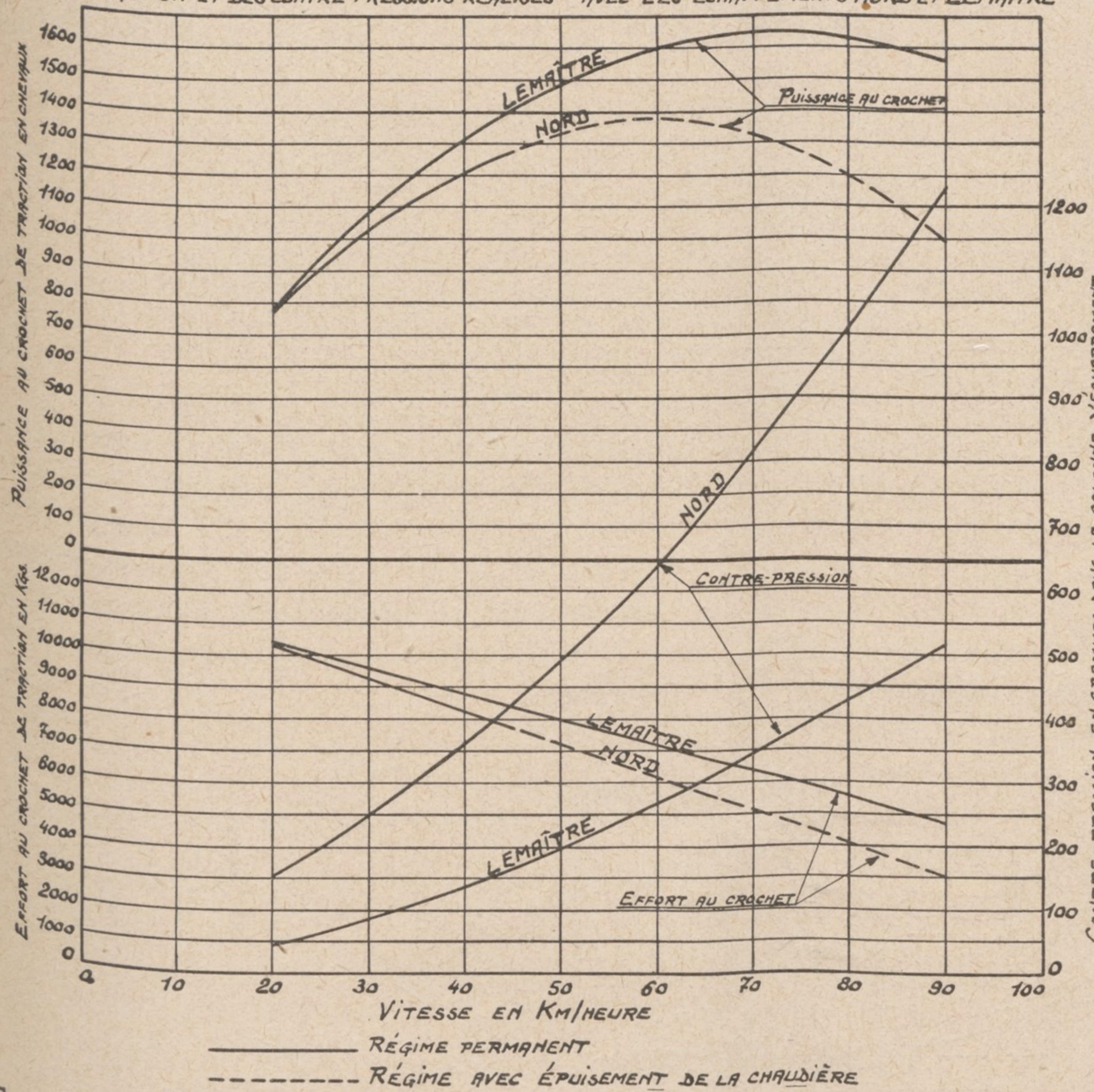
Avec l'échappement Nord, type 1902, la puissance utile maximum rapportée au palier réalisable en régime permanent, ne dépassait pas 1 280 ch à 45 km/h, alors que la puissance maximum pouvant être atteinte avec épuisement de la chaudière, était de 1 380 ch à 61 km/h.

(I) En eau prise au tender. Alimentation par réchauffeur A. C. F. I. type R. M. ordinaire et injecteur.

La seule application de l'échappement Lemaître a permis de porter la puissance maximum de ces locomotives à 1 650 ch pour une vitesse de 72 km/h en régime permanent (Fig. 9).

A la vitesse de 90 km/h, en épuisant la chaudière,

Figure 9 LOCOMOTIVE 4.192 — COMPARAISON DES PUISSEANCES, DES EFFORTS AU CROCHET DE TRACTION ET DES CONTRE-PRESSIONS RÉALISÉS AVEC LES ÉCHAPEMENTS "NORD ET LEMAÎTRE".



la puissance maximum réalisable avec l'échappement Nord, type 1902, était de 1 000 ch ; à cette vitesse, l'échappement Lemaître permet de soutenir en régime permanent une puissance maximum de 1 560 ch, soit un gain de plus de 50 %.

Grâce à cette transformation, les machines de cette série, dont le service était jusqu'ici pratiquement limité à celui des trains de marchandises à faible vitesse, deviennent susceptibles d'assurer un service de trains de marchandises accélérés et même de trains express lourds à vitesse modérée (maximum 105 km/h).

A titre d'exemple, une machine de cette série a pu remorquer, dans d'excellentes conditions, le train express 177, Paris-Jeumont, chargé à 460 tonnes et tracé à une vitesse moyenne de 80 km/h.

Les diagrammes de la figure 9 représentent les caractéristiques de puissance et d'effort relevées aux machines-freins successivement avec les 2 types d'échappements.

Des résultats analogues ont été obtenus sur les locomotives à voyageurs des séries 3.1161-70 et 3.513-3.662,

dont la construction date de 1912, ainsi que sur les locomotives Mikado-Tender de la série 4.1201-4.1272 à 2 cylindres, simple expansion, distribution Cossart, affectées au service de la banlieue parisienne.