

# ESSAIS

## EFFECTUÉS PAR LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

dans le but de rechercher les meilleurs moyens

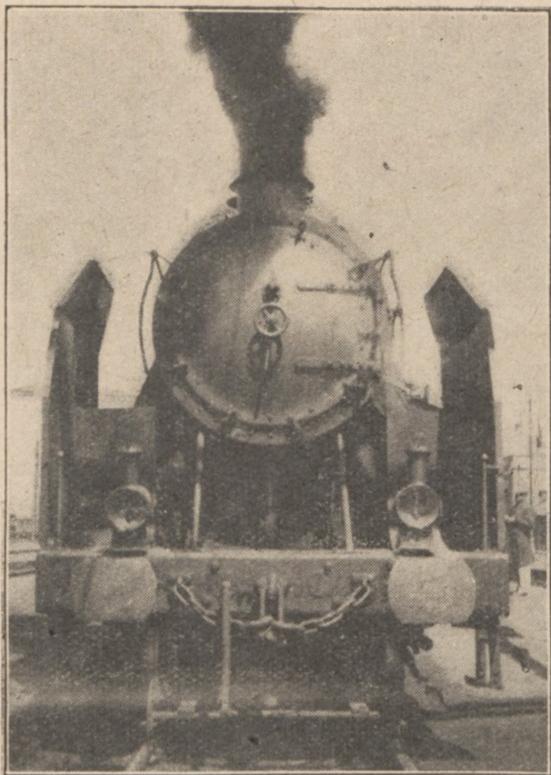
DE COMBATTRE LES RABATTEMENTS DE FUMÉE SUR LES LOCOMOTIVES

Par M. André CHAPELON,

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES  
INSPECTEUR DU MATÉRIEL A LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

La Compagnie d'Orléans a effectué en Avril et Mai 1928, avec le concours de l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr, des essais, sur un modèle réduit au 1/10<sup>e</sup> d'une locomotive Pacific, pour étudier la question des rabattements de fumée et rechercher les meilleurs moyens de les combattre.

Fig. 1.



*Considérations Générales.* — Sur la plupart des locomotives modernes, où la hauteur de l'axe du corps cylindrique au-dessus du rail est très grande, le panache de fumée se développe dans le voisinage immédiat de l'abri du mécanicien.

Il suffit alors que les conditions atmosphériques soient défavorables pour que des rabattements de fumée se produisent et deviennent très gênants pour l'observation des signaux.

En fait cette question a suscité déjà maintes études de la part des Réseaux qui ont cherché une solution, soit dans une modification de l'échappement des locomotives, soit dans un changement des conditions de l'écoulement de l'air autour de la cheminée ou autour de la locomotive elle-même.

*Choix d'une solution.* — La Compagnie d'Orléans a éliminé a priori les solutions qui auraient pu conduire à une modification de l'échappement, estimant que l'appareil de tirage des locomotives ayant été disposé pour produire le meilleur effet avec le minimum de contrepression sur les pistons, il fallait accepter cet

échappement tel quel, avec, le cas échéant, ses défauts au point de vue des rabattements de fumée.

Les recherches ont alors porté sur les moyens propres à éviter ces rabattements en mettant à contribution les solutions dérivées de l'étude aérodynamique de la locomotive, c'est-à-dire en cherchant à modifier la direction des filets d'air le long de la machine, de manière que la fumée prise dans le sillon de ces filets ne vint plus masquer les signaux à la vue du mécanicien.

En cherchant à établir la documentation relative à cette question, on eût vite l'impression que la diversité des dispositifs préconisés prouvait la difficulté du problème à résoudre ainsi que la nécessité de reprendre la question " ab ovo ".

On se décida donc à étudier d'abord l'efficacité des dispositifs connus, puis à en étudier d'autres, suivant les indications qui devaient être fournies par l'analyse des résultats que l'on aurait obtenus avec les premiers.

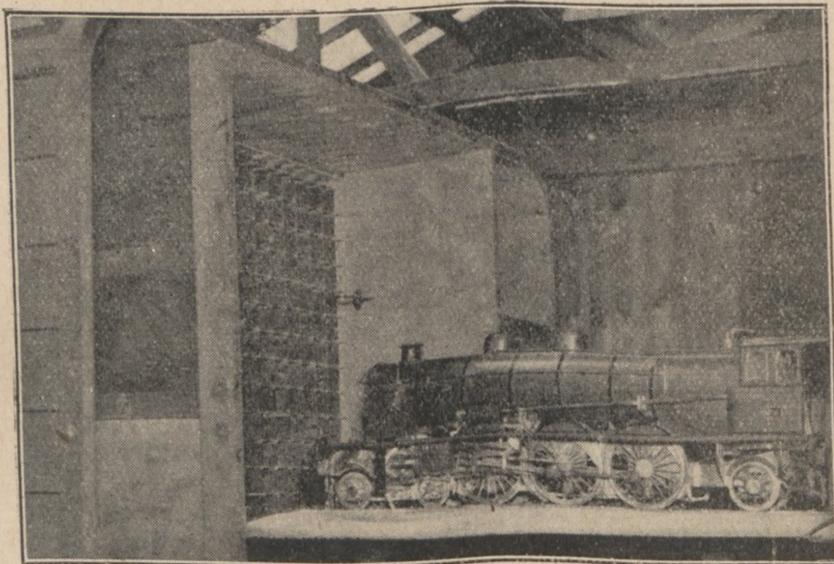
*Choix d'une méthode d'expérimentation.* — La principale difficulté qui se présentait dans l'étude de cette question était celle de pouvoir réaliser des conditions d'expérimentation comparables.

Les facteurs qui influent sur les rabattements de la fumée, et la manière d'observer ces rabattements, sont en effet si variables qu'il paraissait problématique de pouvoir établir, en service courant, une sélection parfaite entre les différents dispositifs à expérimenter.

C'est pourquoi des essais en laboratoire, effectués sur modèle réduit, apparurent comme le moyen le plus commode et le plus sûr d'arriver promptement à des résultats positifs.

Ce n'est d'ailleurs pas que ce dernier parti fût exempt de toute difficulté. Les conditions de

Fig. 2.

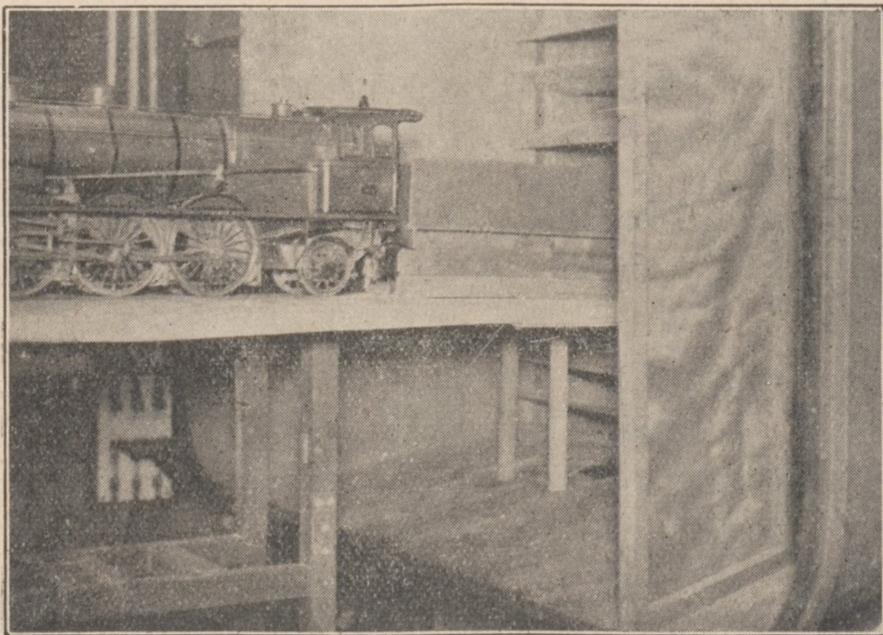


similitude à réaliser, sont déjà fort nombreuses en effet pour des cas relativement simples, où l'on se borne à mesurer des rapports entre des forces sur la valeur desquelles l'influence des phénomènes secondaires s'efface devant l'influence des phénomènes principaux. Mais ces conditions semblaient devoir être encore bien plus nombreuses lorsqu'il s'agirait d'obtenir,

jusque dans ses moindres détails — dont chacun pouvait avoir une importance décisive — une image fidèle du phénomène qu'il y avait lieu d'étudier.

La question fut pratiquement résolue en faisant varier convenablement les vitesses relatives du vent et des fumées, ce qui permit de reproduire dans l'expérience à échelle réduite les rabattements de fumée que l'on constatait dans l'expérience à échelle réelle et d'étudier l'influence sur ces rabattements des différents dispositifs imaginés pour les combattre.

*Fig. 2 bis.*



Grâce à l'extrême obligeance de M. l'Inspecteur Général Grard, Directeur du Service Technique et Industriel de l'Aéronautique, les expériences ont pu être poursuivies à l'Institut Aérotechnique de Saint-Cyr, sous la savante direction de M. Toussaint, Directeur de cet Institut et elles ont pu être filmées grâce au concours qu'a bien voulu nous apporter, sur la demande de M. Toussaint, M. J. L. Breton, Directeur de l'Office National des Recherches et Inventions et M. le Docteur Commandon, Président du Comité de Cinématographie technique de cet Institut (1).

*Résultats des expériences.* — L'étude de la locomotive nue mit rapidement en lumière ce fait très remarquable qu'en vitesse, même avec un vent de front, le corps de la machine, au lieu d'être balayé par un courant d'air violent comme on aurait pu le penser à priori, était entouré d'une zone de tourbillons de nature éminemment complexe.

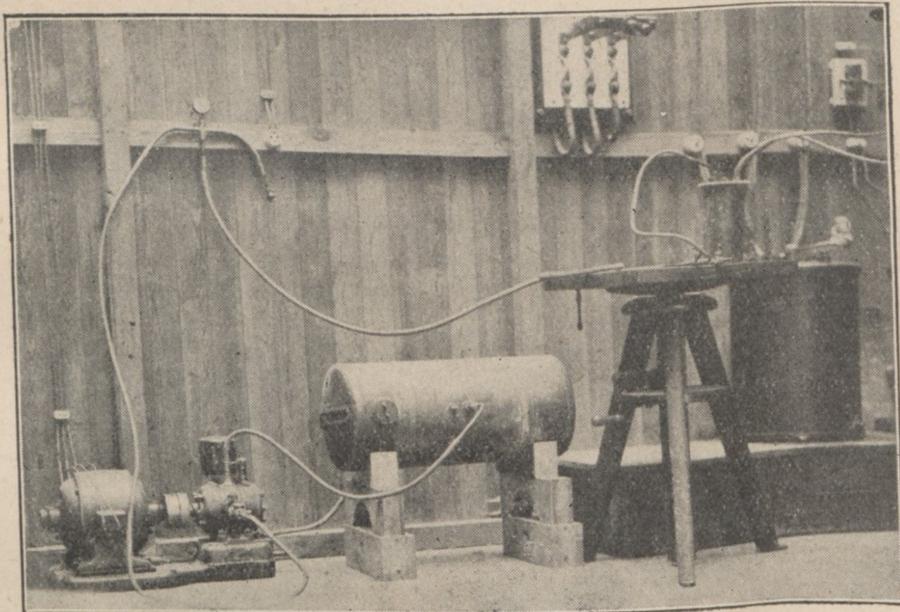
Dans ces conditions, la fumée venant, sous l'influence d'une cause quelconque, à pénétrer dans la zone de remous qui environne la locomotive, y tourbillonne et vient très facilement envelopper plus ou moins complètement l'abri du mécanicien.

---

(1) Ce film a été projeté le 16 octobre 1928 au Cinéma Jeanne d'Arc à Paris devant les représentants des différents Réseaux français et de l'Office Central d'Etudes de Matériel de Chemins de fer.

Tenant compte de ces résultats, deux idées pouvaient être mises à contribution pour tenter de supprimer les rabattements de fumée ou tout au moins d'en atténuer l'importance :

Fig. 3.



1° Celle de relever le plus possible le panache de fumée de manière à le soustraire plus ou moins complètement à l'action des remous qui entourent la locomotive.

2° Celle de modifier, si possible, l'aérodynamique de la locomotive, de manière à substituer à la zone de tourbillonnements ci-dessus (régime à circulation de vitesse) (1) une zone où les filets fluides auraient été dirigés (régime à potentiel de vitesse) (1).

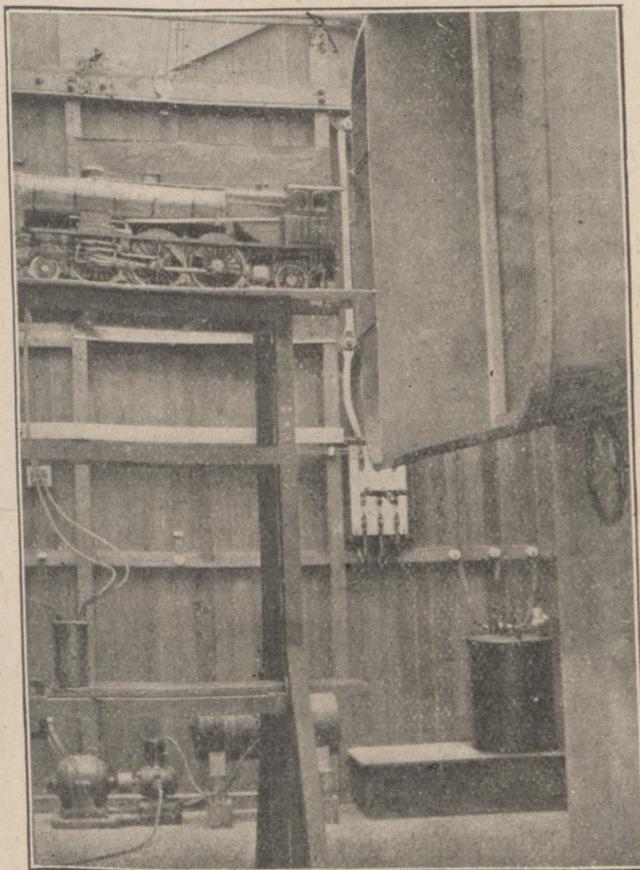
C'est ainsi qu'il a été essayé toute une série de dispositifs placés, soit autour de la cheminée ou dans son voisinage immédiat, soit contre le corps cylindrique de la locomotive ou près de lui.

Les expériences effectuées au laboratoire Aérotechnique de Saint-Cyr ont montré que les dispositifs placés autour de la cheminée étaient en général peu efficaces, leur action se bornant à relever plus ou moins, selon leur section au maître couple, le panache de fumée, mais n'ayant aucune action favorable sur l'aérodynamique de la locomotive.

Les dispositifs consistant en des joues latérales placées soit contre le corps cylindrique en le prolongeant vers l'avant, soit au bord du tablier, toujours à l'avant, modifient au contraire profondément le régime d'écoulement de l'air autour de la locomotive, substituant à la zone de remous habituelle une zone où les courants parfaitement dirigés et légèrement ascendants balayent les flancs de la machine et s'opposent aux rabattements de la fumée.

Les figures 2 et 2 bis, 3 et 3 bis montrent : d'une part le modèle au 1/10<sup>e</sup> en place dans la

Fig. 3 bis.



(1) Voir note annexe à la fin de l'article.

chambre d'observation de la soufflerie (1), d'autre part l'installation utilisée pour produire artificiellement les émissions de fumée ; à cet effet une poudre blanche impalpable (magnésie légère calcinée  $MgO$ ) était mise en suspension dans de l'air qui était lancé dans la cheminée à l'aide d'un compresseur (2).

Le modèle réduit était en outre entouré de cerceaux placés à une faible distance les uns des autres et portant un nombre suffisant de brins de laine destinés à matérialiser les vecteurs vitesse des divers courants de circulation autour de la locomotive (3).

Les figures  $F^4$ , (4) et 16 permettent de se rendre compte de ce qui se passe dans le cas de la locomotive nue ; la complexité des courants qui règnent alors autour de la locomotive apparaît d'une façon saisissante ; on peut remarquer notamment qu'entre deux plans verticaux coupant transversalement la locomotive, l'un par l'axe de la cheminée, l'autre par l'axe du dôme de prise de vapeur, ces courants sont dirigés en sens inverse de la direction générale du vent, c'est-à-dire de l'arrière vers l'avant de la machine (5).

Derrière la cheminée et latéralement à elle, contre le corps cylindrique, règne une zone à régime tourbillonnaire particulièrement caractérisée.

L'examen du panache de fumée permet d'autre part de constater que ce panaché se rabat le long de la chaudière à partir du dôme (6).

Les figures  $F^5$ ,  $F^6$ ,  $F^7$ ,  $F^8$ , permettent de se rendre compte des résultats obtenus en munissant la locomotive d'écrans destinés à produire un courant local ascendant derrière la cheminée (Fig. 5, 6, 7 et 8).

---

(1) Soufflerie Lelarge à circuit fermé permettant de faire varier la vitesse du vent de 10 à 22 m/sec.

(2) Ce compresseur du type rotatif, avait un débit horaire de  $10\text{ m}^3$  et permettait d'obtenir une pression de refoulement de  $2\text{ kg/cm}^2$ .

(3) Les expériences ont été faites à la vitesse de 22 m/sec. pour l'étude des courants à l'aide de brins de laine et à la vitesse de 14 m/sec. pour l'étude des rabattements de fumée, la vitesse des fumées à la sortie de la cheminée étant de 4 à 5 m/sec. (vitesse mesurées à l'aide du tube de Pitot).

(4) Les figures  $F^4$ ,  $F^5$ ,  $F^6$ ,  $F^7$ ,  $F^8$ ,  $F^9$ ,  $F^{10}$ ,  $F^{11}$ ,  $F^{12}$ ,  $F^{13}$ ,  $F^{14}$ ,  $F^{15}$  sont les reproductions exactes de vues agrandies 6 fois extraites du film cinématographique qui a été tiré de ces expériences.

(5) En ce qui concerne les indications fournies par les positions des fils témoins, on devra tenir compte du fait que chaque vue donnée en exemple ne correspond qu'à un état instantané du phénomène ; comme la plupart de ces fils témoins étaient en réalité animés des mouvements les plus divers, 2 vues instantanées successives prises à des intervalles de temps même extrêmement courts n'étaient pas identiques, seul l'examen du film permettant de saisir exactement ces mouvements dans tous leurs détails.

Il n'en subsiste pas moins que les quelques images instantanées à la reproduction desquelles nous avons été contraints de nous limiter donnent l'allure générale du phénomène et c'est dans ce sens qu'il y a lieu de les interpréter.

(6) Les remarques que nous avons faites pour les images donnant les positions des brins de laine doivent être répétées en ce qui concerne la forme des panaches de fumée.

C'est l'allure générale de ces panaches, indépendamment d'ailleurs de la plus ou moins grande abondance de l'émission de fumée qui doit servir à apprécier l'importance des résultats obtenus avec les divers dispositifs essayés.

Fig. F<sup>4</sup>.

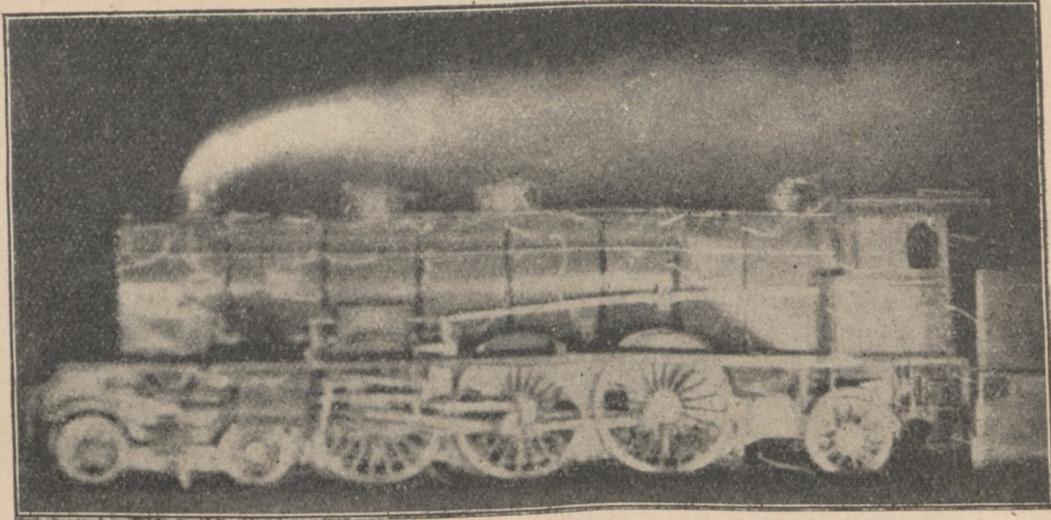


Fig. F<sup>5</sup>

Fig. 5.

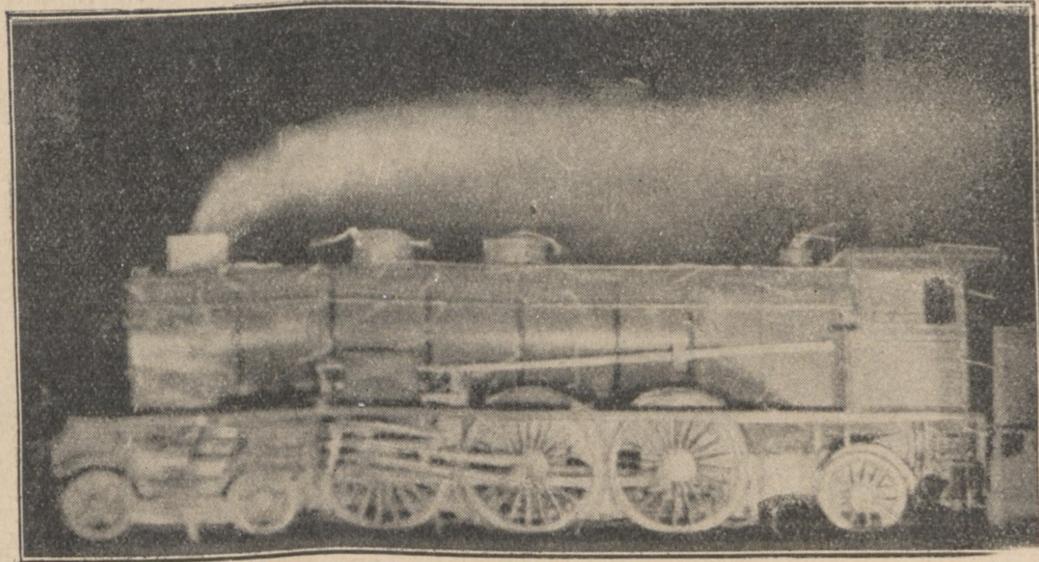
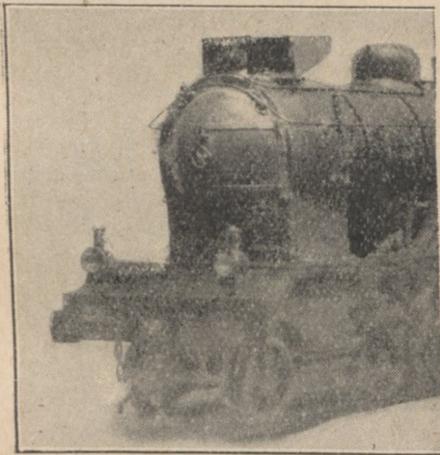


Fig. F<sup>6</sup>.

Fig. 6.

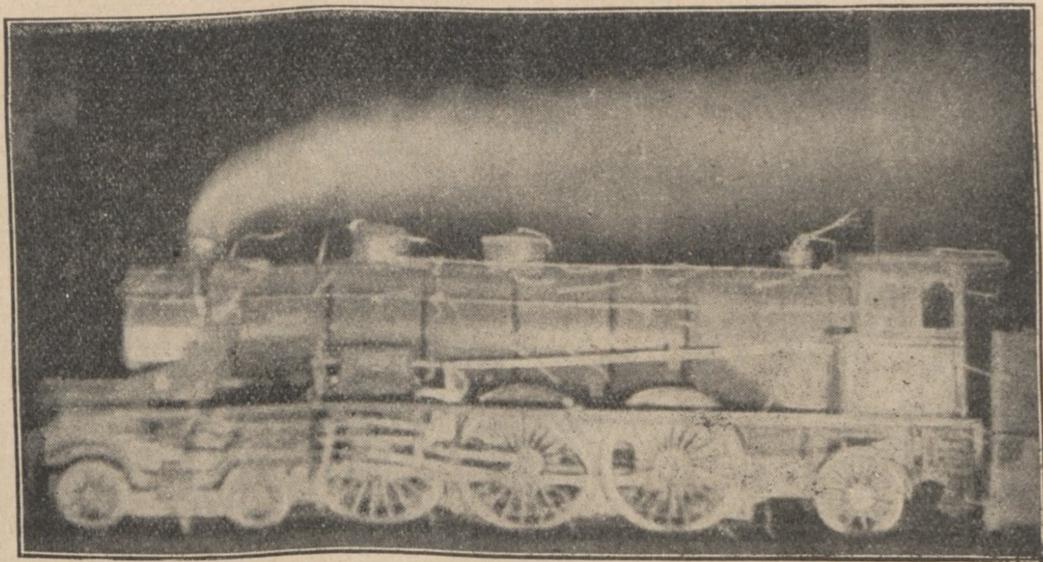
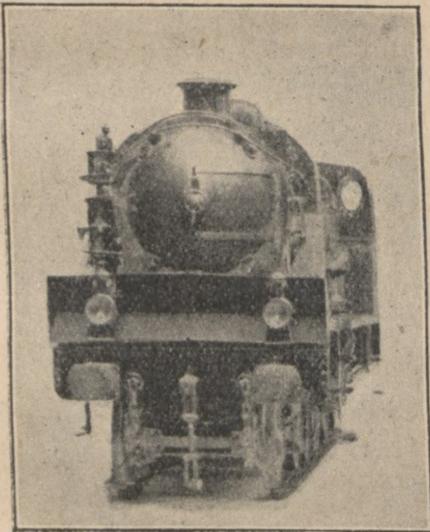
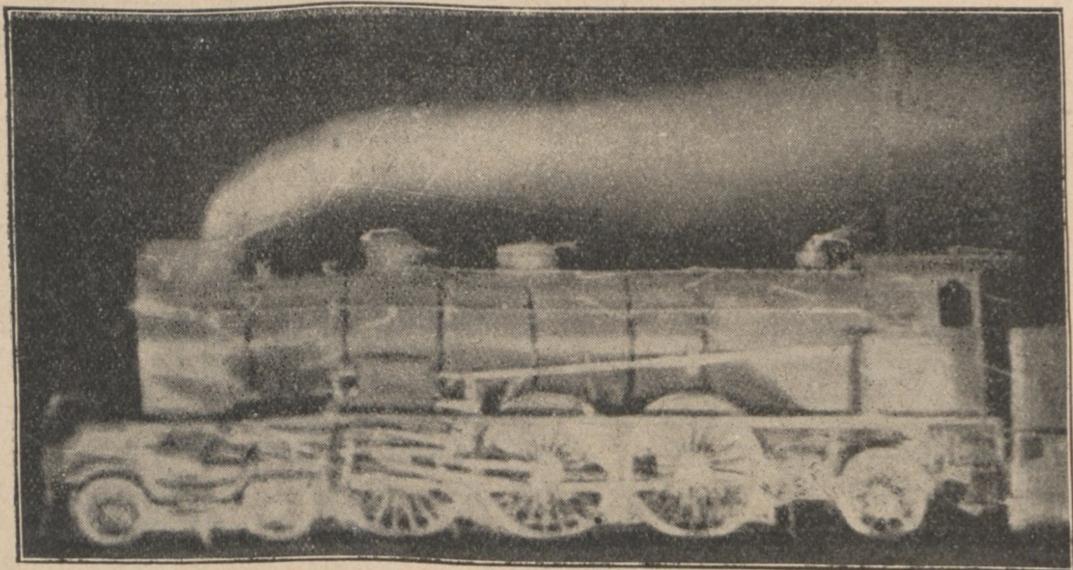
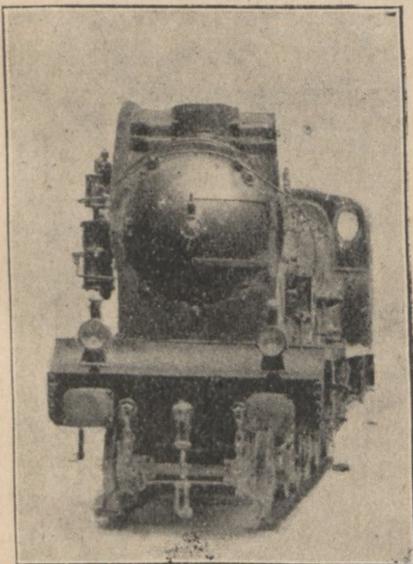


Fig. F<sup>7</sup>.

Fig. 7.



On voit que seul le dispositif de la figure 8 donne des résultats intéressants ; c'est parce qu'il est capable de dévier une grande masse d'air en n'opposant que le minimum de résistance à l'écoulement de cet air.

Les autres systèmes (Fig. 5, 6 et 7) produisent un certain effet, insuffisant toutefois, parce que, ou bien la masse d'air mise à contribution par le dispositif est insuffisante (fig. 5) ou bien la résistance opposée par ce dispositif à l'écoulement de l'air capté est trop grande (Fig. 6 et 7).

En définitive, l'expérience montre qu'il vaut mieux créer un courant ascendant de large section et de vitesse réduite plutôt qu'un courant de faible section animé d'une grande vitesse.

Tous les systèmes qui viennent d'être considérés présentent enfin le grave inconvénient de ne produire aucun effet sur les mouvements tourbillonnaires qui règnent autour de la locomotive ; leur présence a, au contraire, pour effet d'augmenter l'importance de ces tourbillons parce qu'ils constituent des obstacles nouveaux à l'écoulement de l'air le long de la locomotive.

Si, pour une cause quelconque, le panache de fumée est alors renvoyé près du corps cylindrique (cas d'un vent latéral ou d'un vent soufflant en rafales), il tourbillonnera dans la zone de remous qui subsiste autour de la locomotive et les rabattements de fumée persisteront.

Les figures 9 et F<sup>9</sup>, 10 et F<sup>10</sup>, 11 et F<sup>11</sup>, montrent, au contraire, les résultats obtenus avec des dispositifs qui modifient l'aérodynamique de la locomotive, c'est-à-dire transforment le régime tourbillonnaire qui caractérise le mode circulatoire normal de l'air autour du corps de la machine en un régime où toutes les vitesses ont été orientées dans une même direction générale et légèrement ascendante par rapport à l'axe horizontal de la locomotive.

Dans ces conditions, la fumée entraînée par le courant d'ensemble ainsi créé ne peut plus venir rencontrer l'abri du mécanicien.

L'examen des formes prises par les fils témoins montre nettement sur les figures F<sup>9</sup>, F<sup>10</sup> et F<sup>11</sup> que le résultat cherché est parfaitement obtenu quand on emploie des joues latérales placées à l'avant de la locomotive au bord du tablier ou contre le corps cylindrique avec (Fig. F<sup>11</sup>) ou sans (Fig. F<sup>10</sup>) plan incliné interposé entre ces joues et la chaudière.

L'effet produit sur la forme du panache de fumée apparaît nettement.

Si, dans le voisinage de la cheminée et contrairement à ce que l'on cherchait à obtenir avec les dispositifs des figures 4, 5, 6, 7 et 8, ce panache ne s'éloigne pas plus vite de la tonne, il conserve du moins une direction à peu près fixe ; il s'éloigne de la cheminée dans un mouvement continuellement ascendant, pour passer nettement au-dessus de l'abri du mécanicien et ne tend plus à se rabattre sur le corps cylindrique entre la sablière et cet abri.

Il ne subsiste de zones à mouvements tourbillonnaires que dans des régions de très faible étendue, notamment contre le corps cylindrique, latéralement à la base de la cheminée, derrière cette cheminée, derrière le dôme de prise de vapeur et derrière la sablière.

On a cherché à supprimer ces derniers mouvements tourbillonnaires en carénant la partie supérieure de la machine, de manière à faire disparaître les obstacles ainsi constitués par la cheminée, le dôme et la sablière.

La figure 12 montre les dispositions d'un tel carénage.

Fig. 8.

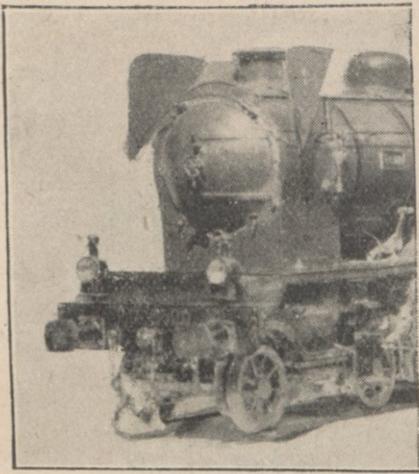


Fig. F8.

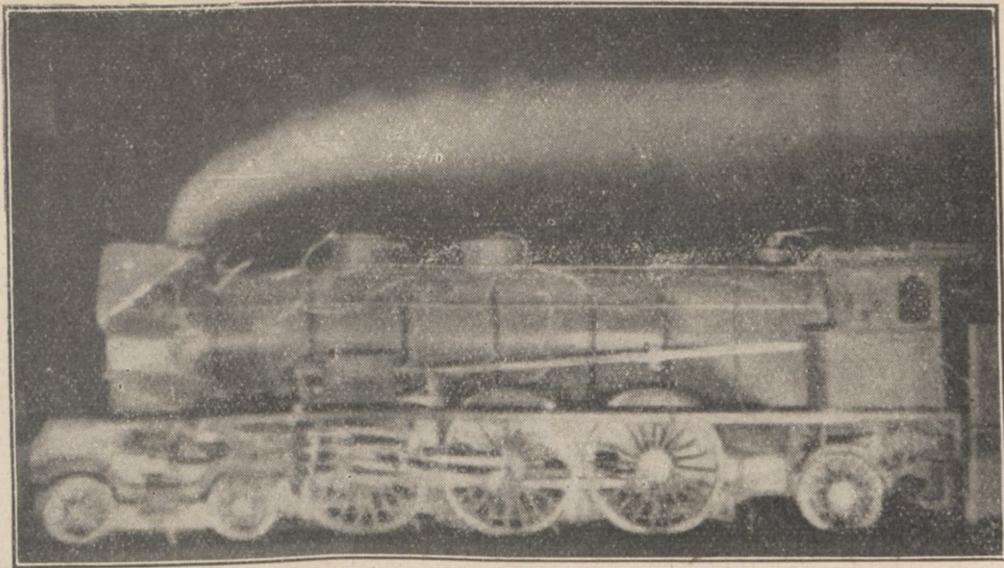


Fig. 9.

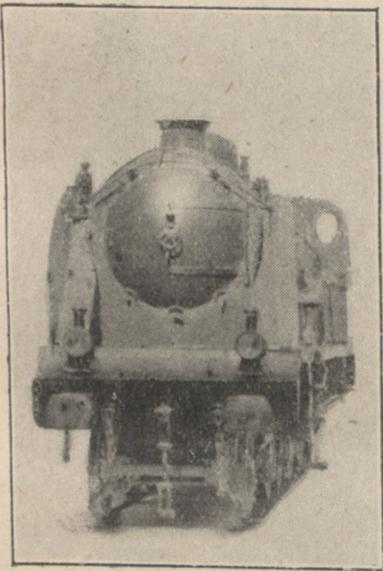


Fig. F9.

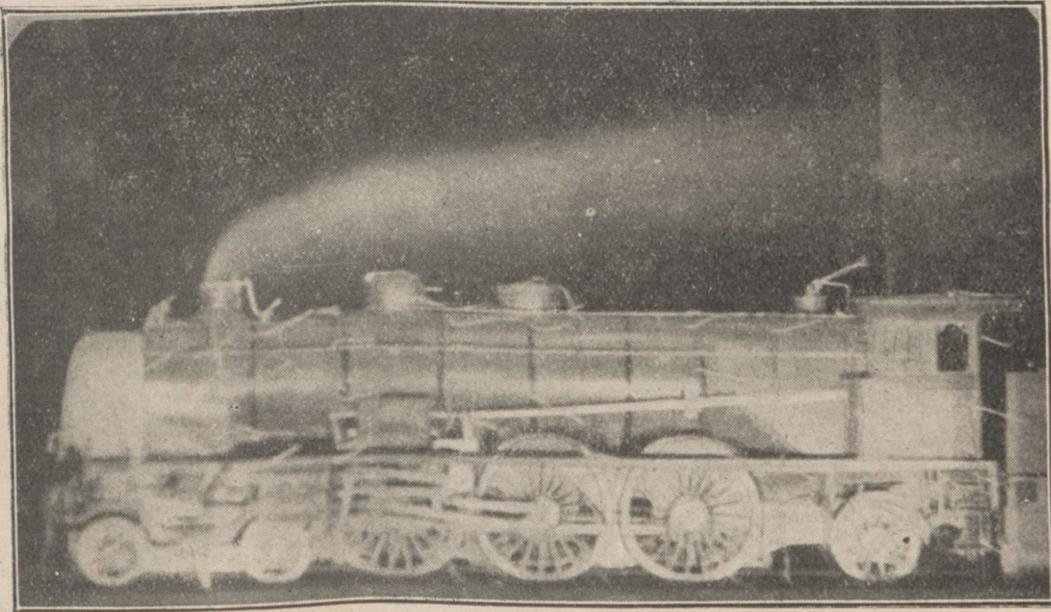


Fig. 10.

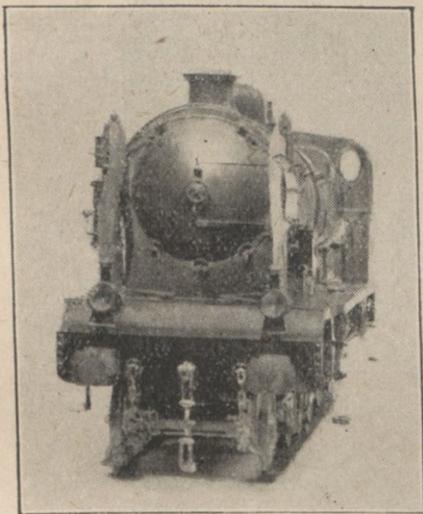


Fig. F10.

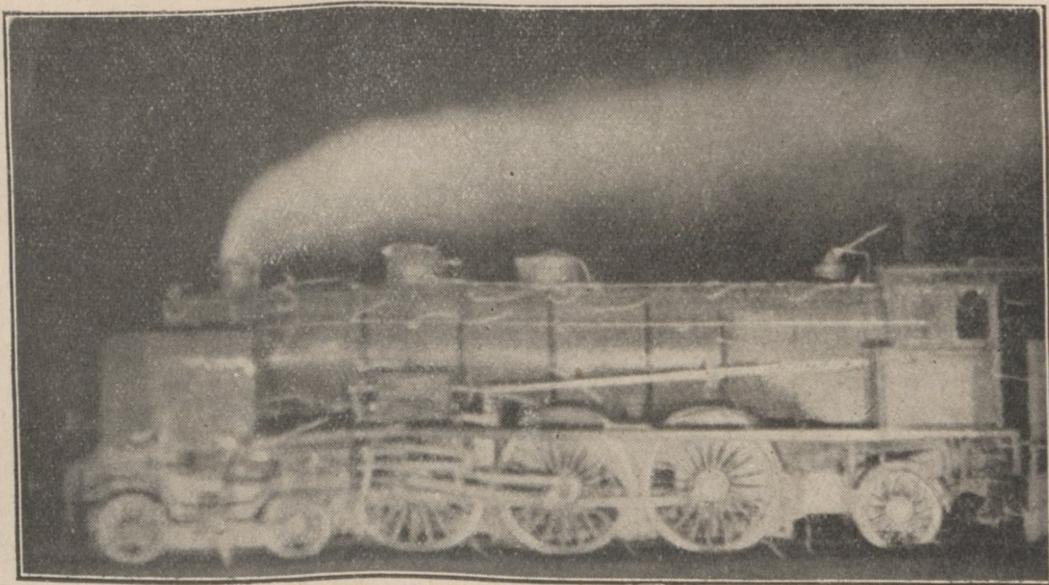


Fig. 11.

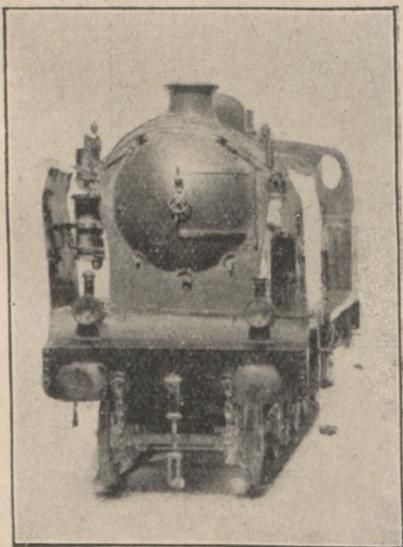


Fig. F11.

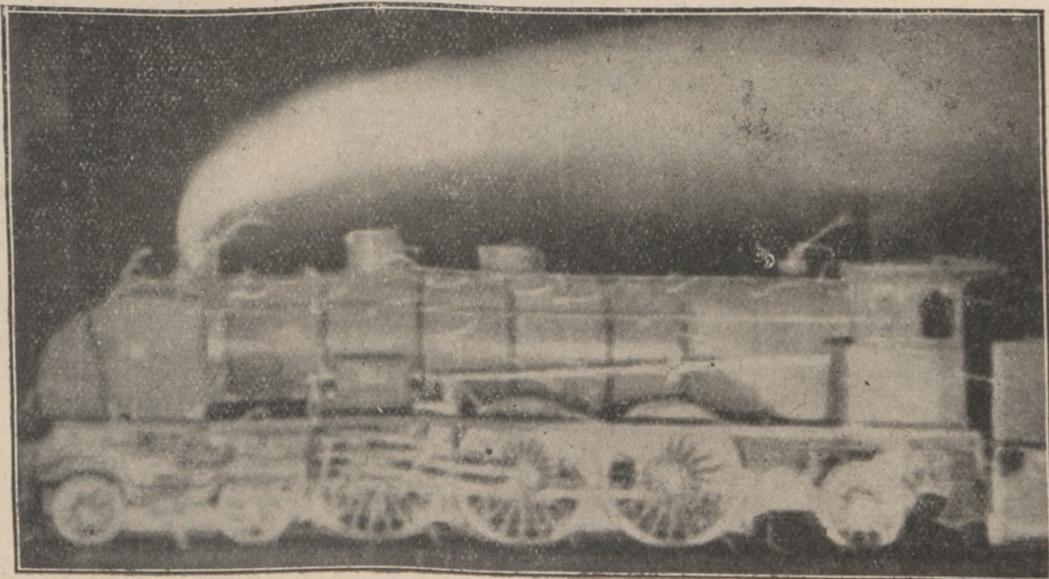


Fig. F12.

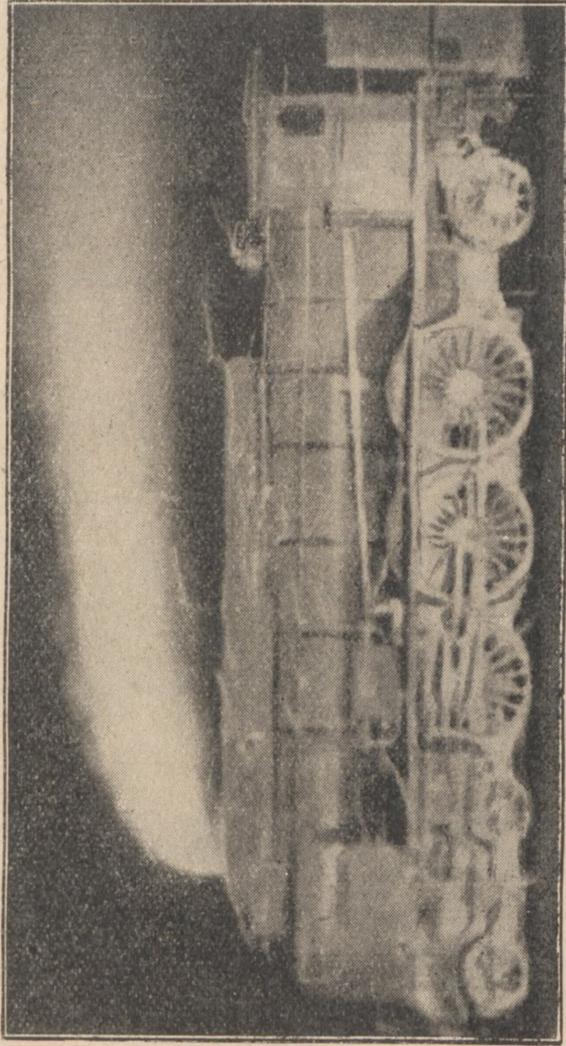


Fig. F14.

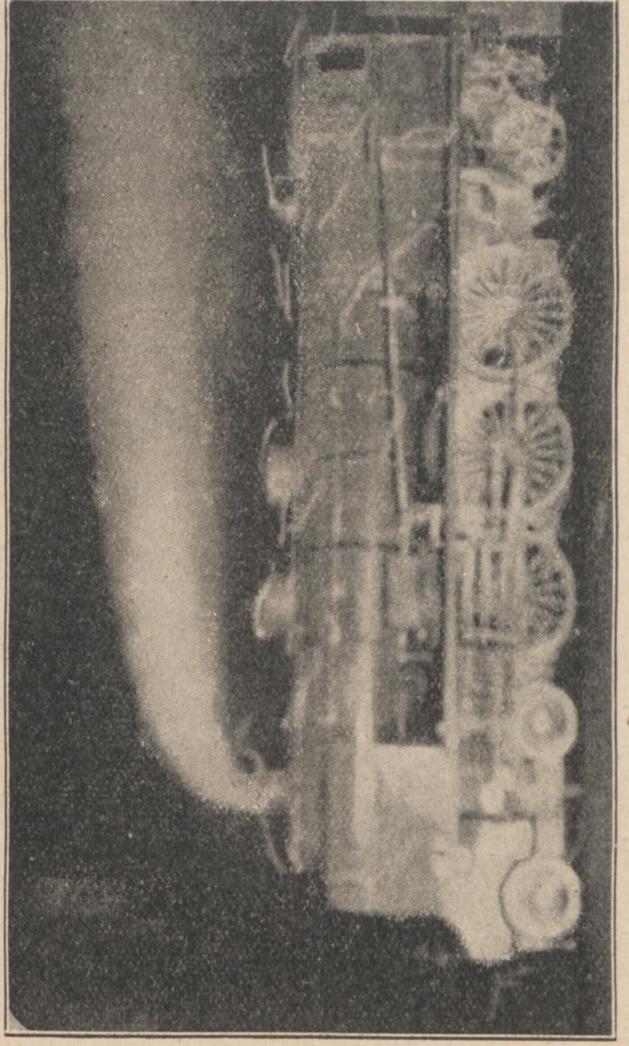


Fig. 12.

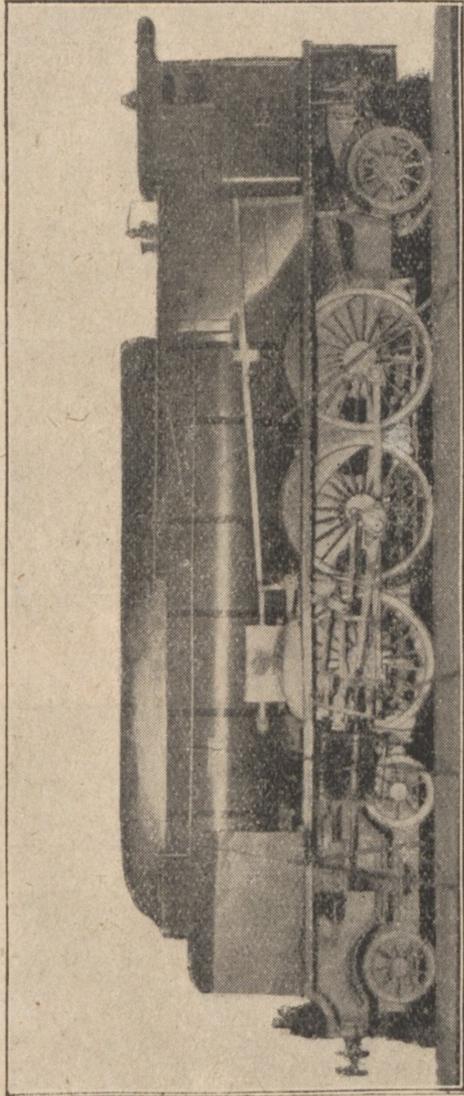
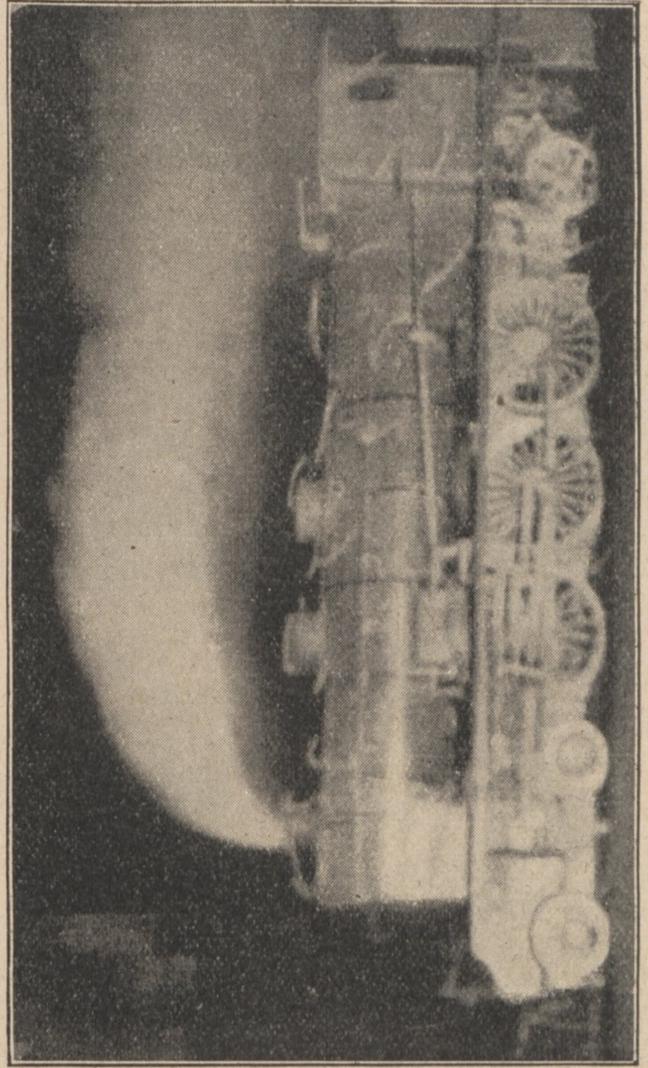
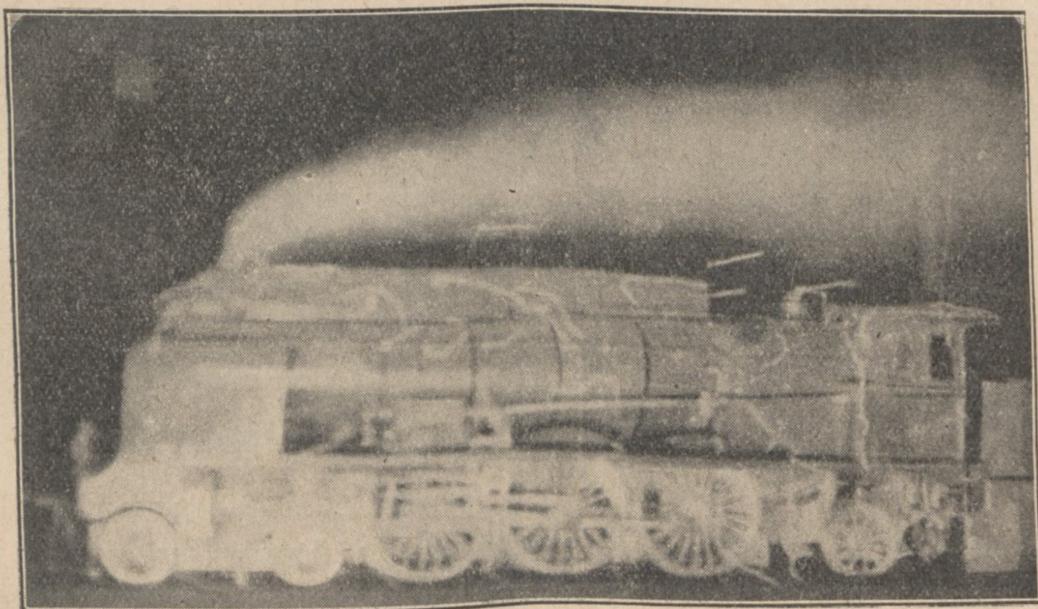


Fig. F13.



L'orientation des fils témoins, ainsi que le développement du panache de fumée permettent de se rendre compte sur les figures 12 et F<sup>12</sup>, 16 et 17 des bons résultats ainsi obtenus.

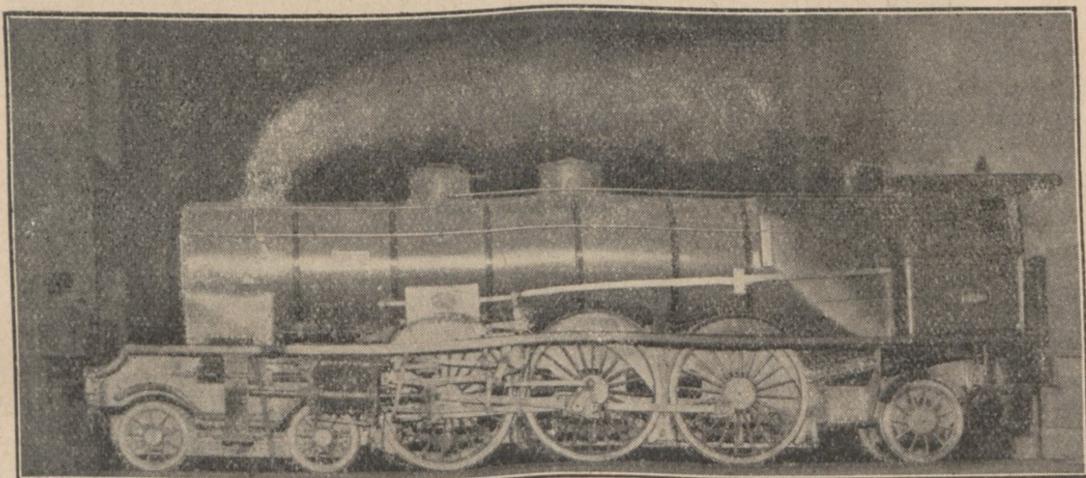
Fig. F<sup>15</sup>.



Cependant, il ne paraît pas que l'emploi d'un tel carénage soit indispensable pour obtenir de bons résultats pratiques, les zones de remous que ce carénage a pour but de supprimer étant en fait peu nuisibles.

Les expériences précédentes, effectuées dans le cas d'un vent debout, ont été répétées dans le cas d'un vent oblique (vent incliné de 15° sur l'axe longitudinal de la locomotive).

Fig. 16.

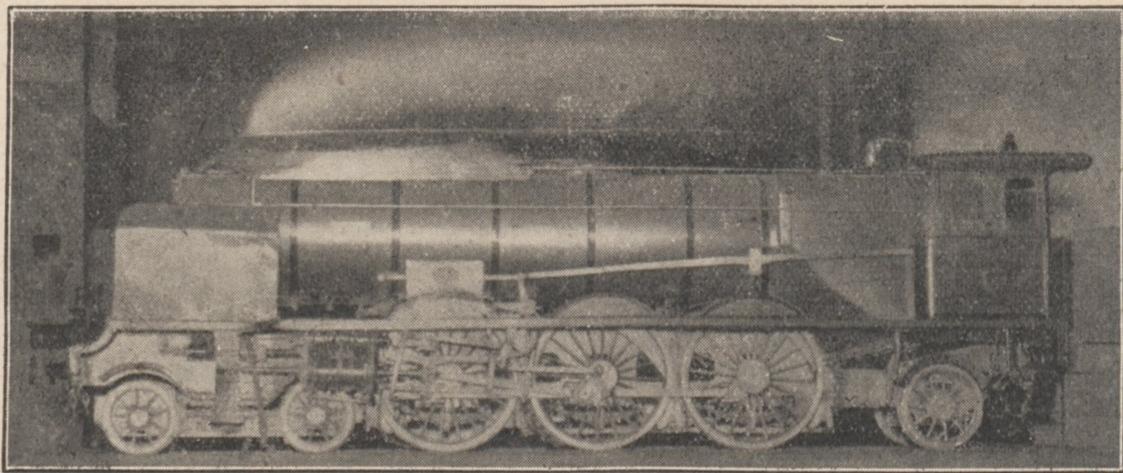


Les figures F<sup>13</sup>, F<sup>14</sup> et F<sup>15</sup> permettent de se rendre compte de l'efficacité des écrans latéraux, avec ou sans carénage de la cheminée, du dôme et de la sablière, même dans le cas le plus défavorable d'un vent oblique.

A la suite des essais de laboratoire dont il vient d'être donné un rapide aperçu, une application d'écrans latéraux placés au bord du tablier de la locomotive a été réalisée en Juin 1928 sur la machine Pacific N° 3632 (Fig. 1 et 18).

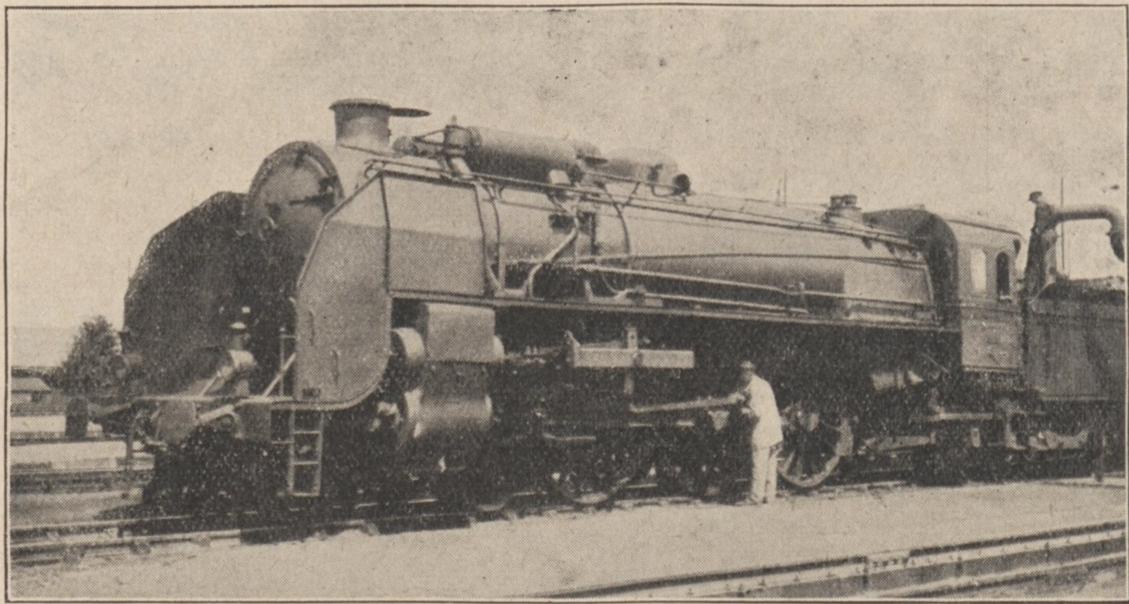
Les résultats obtenus en service courant sur cette locomotive ont pleinement vérifié les conclusions de l'étude expérimentale entreprise sur modèle réduit.

*Fig. 17.*



Ces résultats prennent d'ailleurs une importance très significative étant donnée la présence sur cette machine d'un réchauffeur d'eau d'alimentation et d'un échappement perfectionné qui,

*Fig. 18.*



diminuant l'un et l'autre la vitesse de la vapeur d'échappement, placent la machine dans des conditions particulièrement défavorables en ce qui concerne les tendances au rabattement de la fumée.

Les écrans latéraux peuvent donc être considérés actuellement comme l'un des remèdes les plus efficaces contre les rabattements de fumée.

---

ANNEXE

Considérons les équations générales de l'Hydrodynamique mises sous la forme de Gromeko ou de Lamb :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\delta}{\delta x} \left( U - P - \frac{V^2}{2} \right) = 2 (\eta w - \zeta v) \\ \frac{\delta}{\delta y} \left( U - P - \frac{V^2}{2} \right) = 2 (\zeta u - \xi w) \\ \frac{\delta}{\delta z} \left( U - P - \frac{V^2}{2} \right) = 2 (\xi v - \eta u) \end{array} \right.$$

U étant la fonction des forces d'où dérivent les forces naturelles quelconques agissant sur une particule du fluide en mouvement.

P l'intégrale :  $\int \frac{dp}{\rho}$  où  $p$  représente la pression au point considéré et  $\rho$  la masse spécifique du fluide.

V la vitesse totale de la particule ( $V = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ )  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  les projections sur les axes des coordonnées de la vitesse angulaire de rotation des particules fluides, c'est-à-dire les composantes du tourbillon qui ont pour valeur :

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{1}{2} \left( \frac{\delta w}{\delta y} - \frac{\delta v}{\delta z} \right) \\ \eta &= \frac{1}{2} \left( \frac{\delta u}{\delta z} - \frac{\delta w}{\delta x} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} \right) \end{aligned}$$

Ces équations montrent que le courant sera en régime permanent si leurs seconds membres sont les dérivées partielles de certaines fonctions des coordonnées.

Cette condition est satisfaite dans le cas particulier où :

$$\xi = \eta = \zeta = 0$$

c'est-à-dire lorsque le mouvement du fluide n'est pas tourbillonnaire. Les vitesses  $u$ ,  $v$ ,  $w$  sont alors soumises à une contrainte mathématique :

$$\begin{aligned} \frac{\delta w}{\delta y} &= \frac{\delta v}{\delta z} \\ \frac{\delta u}{\delta z} &= \frac{\delta w}{\delta x} \\ \frac{\delta v}{\delta x} &= \frac{\delta u}{\delta y} \end{aligned}$$

Ces dernières équations impliquent à leur tour l'existence d'une certaine fonction de force  $\Phi$  appelée par Helmholtz *potentiel des vitesses* dont les dérivées partielles par rapport aux

coordonnées sont égales aux projections sur les axes des coordonnées de la vitesse de la particule fluide, on a donc :

$$\frac{\delta \Phi}{\delta x} = u$$

$$\frac{\delta \Phi}{\delta y} = v$$

$$\frac{\delta \Phi}{\delta w} = w$$

*L'absence de mouvements tourbillonnaires entraîne donc l'existence d'un potentiel de vitesses.*

Reportons-nous maintenant à la théorie des tourbillons de Helmholtz et considérons la circulation de la vitesse  $I$  le long d'une courbe fermée, *c'est-à-dire la somme des produits de la projection de cette vitesse sur la tangente à la courbe par l'élément correspondant de la courbe.* On voit que dans le cas particulier de l'existence d'un potentiel de vitesse  $\Phi$ , la projection de la vitesse sur la tangente est égale à la dérivée partielle de la fonction  $\Phi$  par rapport à l'élément de Parc  $s$ . On a donc :

$$I = \int \frac{d \Phi}{ds} ds = \Phi_1 - \Phi_0$$

où  $\Phi_1$  et  $\Phi_0$  sont les valeurs du potentiel des vitesses à chacune des extrémités de la portion de courbe considérée. Si cette courbe est un contour fermé et si la fonction  $\Phi$  est une fonction monotrope, on a :

$$\Phi_1 = \Phi_0 \text{ et } I = 0$$

*La circulation des vitesses est donc nulle dans le cas où il existe un potentiel de vitesses.*

D'autre part, si l'on se reporte à l'un des théorèmes de Stokes on apprend que la circulation des vitesses le long d'un contour fermé, contour qui peut d'ailleurs être réduit à un point, à condition de ne pas sortir du fluide, est égale au double de *la somme des intensités de tous les tubes tourbillons passant par ce contour.*

On en conclut qu'il existe un potentiel des vitesses toutes les fois que la circulation de la vitesse le long d'un contour fermé est égale à 0.

On peut donc caractériser le régime auquel est soumis un fluide en mouvement par le fait que ce régime est à circulation de vitesses, c'est-à-dire est tourbillonnaire ou, au contraire, que ce régime est à potentiel de vitesses, c'est-à-dire qu'il y a absence de tourbillons.