
LE DISPOSITIF WOOLFF A QUATRE CYLINDRES

(Système VAUCLAIN)

APPLIQUÉ AUX LOCOMOTIVES

PAR LES ATELIERS BALDWIN DE PHILADELPHIE ⁽¹⁾

par M. Maurice DEMOULIN,

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES.

Les ateliers Baldwin, de Philadelphie, appliquent depuis quelques années le mode compound, à un très grand nombre des machines qu'ils construisent, suivant un dispositif à quatre cylindres breveté par leur Ingénieur en chef, M. Samuel Vaucrain. La première application de ce système, faite en 1889 sur une locomotive du *Baltimore and Ohio*, donna des résultats assez encourageants pour motiver sa généralisation au point que plus de 500 machines, toutes sorties des mêmes ateliers, en sont aujourd'hui munies et, en particulier, les 40 locomotives livrées récemment par MM. Baldwin au gouvernement russe.

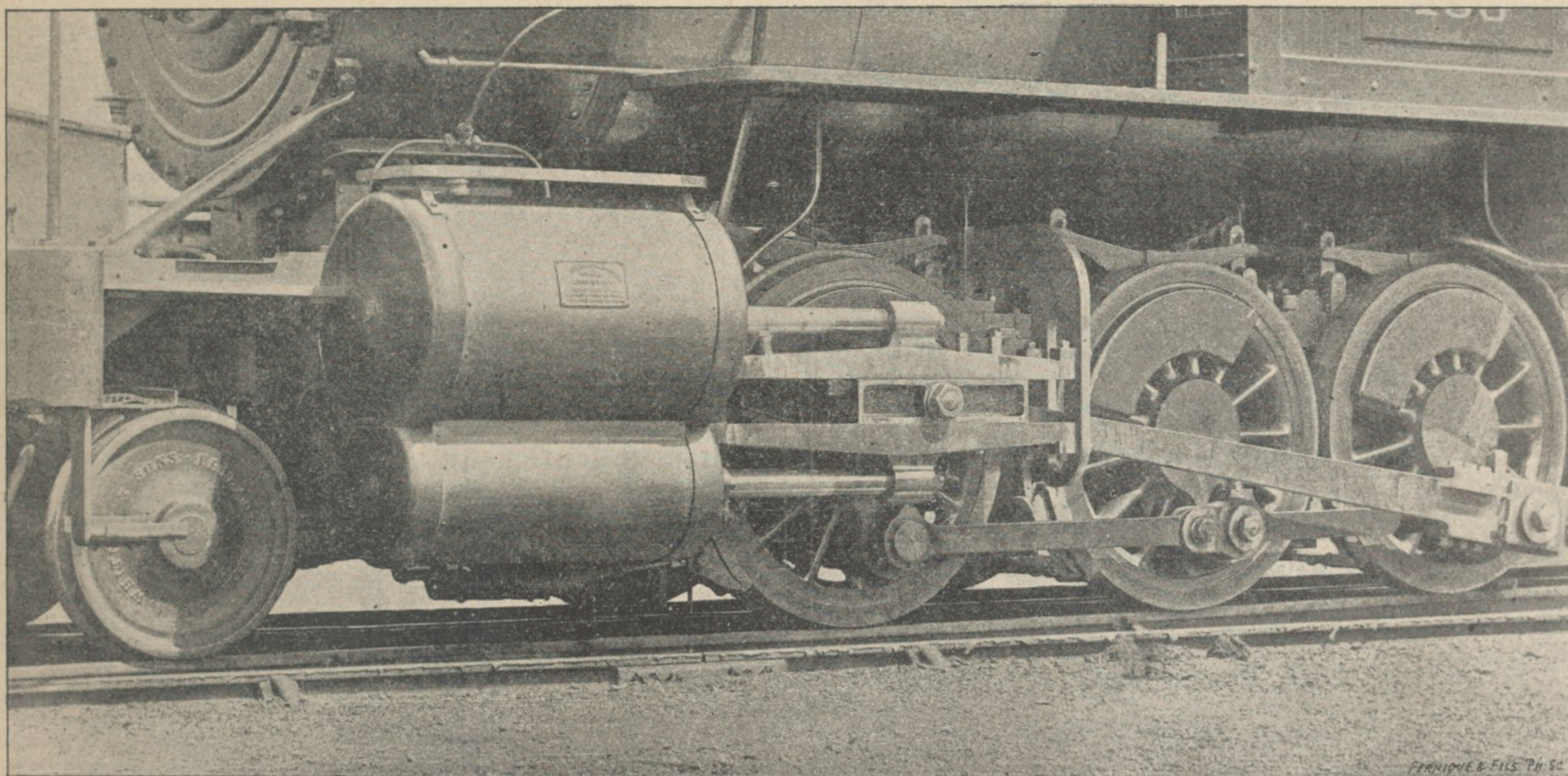
Si connu que puisse être aujourd'hui le système Vaucrain, nous avons pensé qu'il ne serait pas sans intérêt d'en donner une description relatant les derniers perfectionnements qui lui ont été apportés et les résultats obtenus.

L'objectif de l'inventeur était de combiner l'emploi de quatre cylindres avec une grande simplicité des organes du mécanisme. Le système compound à deux cylindres est peu applicable aux locomotives américaines dont la grande puissance entraînerait à donner au cylindre de détente un diamètre, excessif pour une locomotive, qui s'inscrirait difficilement dans le gabarit. Le système tandem paraissait d'autre part présenter dans l'espèce quelques inconvénients particulièrement à cause de la présence des roues du bissell

(1) Essai d'une locomotive compound de Baldwin, *Revue Générale*, N° de mai 1892 ; Chronique, page 283.

ou du bogie, invariablement placés aux États-Unis à l'avant de toutes les machines, qui rendait difficile l'installation du petit cylindre; en raison du diamètre ordinairement faible des roues motrices, on eut été obligé d'incliner de beaucoup les cylindres pour éviter les roues d'avant. Désireux de produire un dispositif qui fut applicable aux locomotives existantes, M. Vaucrain ne pouvait songer à modifier la disposition générale des essieux et du véhicule pour l'approprier à son système. C'est alors qu'il eut recours à l'arrangement que nous allons décrire, qui lui permit en outre d'effectuer la distribution, dans chaque paire de cylindres, à l'aide d'un tiroir cylindrique, équilibré, dans la disposition duquel réside surtout son invention.

Fig. 4. — Dispositif compound de Vaucrain. Vue extérieure.



De chaque côté de la machine (Fig. 2 à 4) on dispose parallèlement, l'un au-dessus de l'autre, un grand et un petit cylindre dont les pistons actionnent une crosse commune sur laquelle vient s'articuler la bielle motrice.

Dans les machines express et en général dans les locomotives présentant des roues d'un diamètre supérieur à 1^m,40 environ, le petit cylindre est superposé au grand (Fig. 2 à 5); dans les machines montées sur de petites roues c'est au contraire le grand cylindre qui est superposé au petit, afin qu'il puisse s'inscrire dans le gabarit (Fig. 1 et 6). Enfin, dans les machines de rampes très puissantes, à roues de 1^m,10 à 1^m,20, les axes des deux cylindres sont inclinés.

Les deux tiges des pistons à haute et à basse pression sont placées dans un même plan vertical et viennent se fixer sur une traverse dont les patins ont une grande longueur afin d'assurer un guidage convenable en dépit des efforts différents qui peuvent s'exercer sur les deux tiges. Les glissières sont toujours du type à quatre guides disposés deux par deux de chaque côté de la crosse, à une distance égale des deux tiges (Fig. 2 et 4).

Fig. 3.

Fig. 2. — Disposition générale des cylindres et du mécanisme.

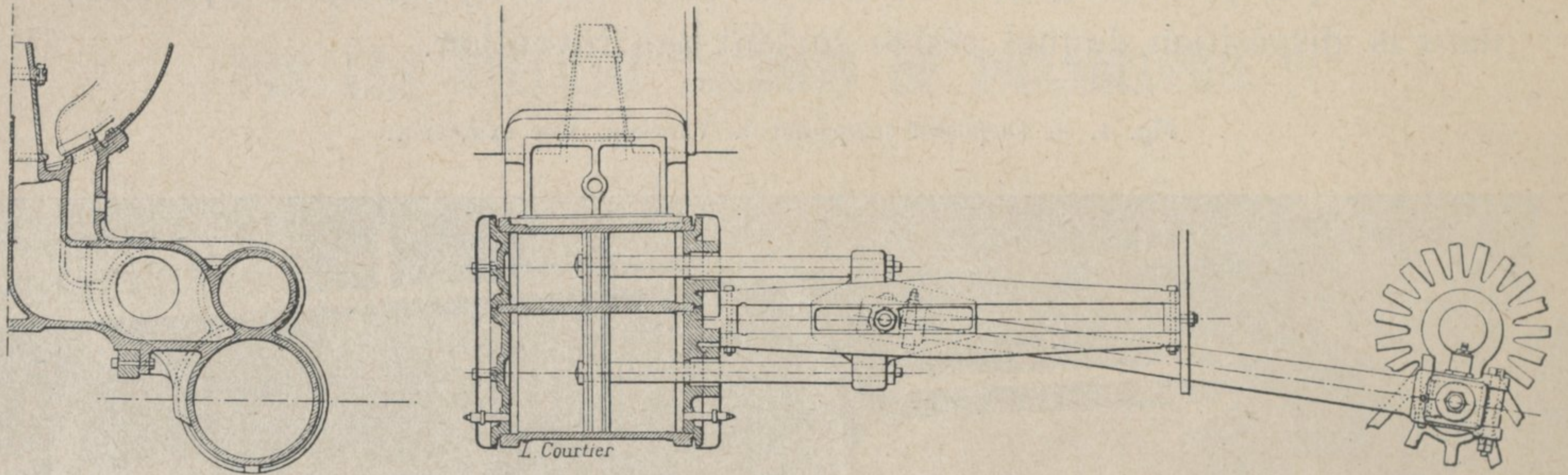


Fig. 4.

La distribution est effectuée par un tiroir cylindrique, de forme spéciale, commun aux deux cylindres, situé du côté inférieur (Fig. 3 et 7) et actionné, sans l'intermédiaire d'arbres de renvoi, par des excentriques placés entre les roues. Sous le tiroir est placée une soupape de démarrage, non automatique.

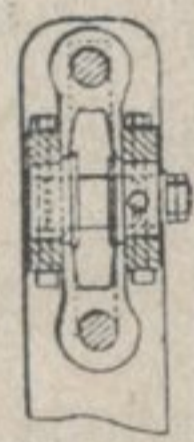
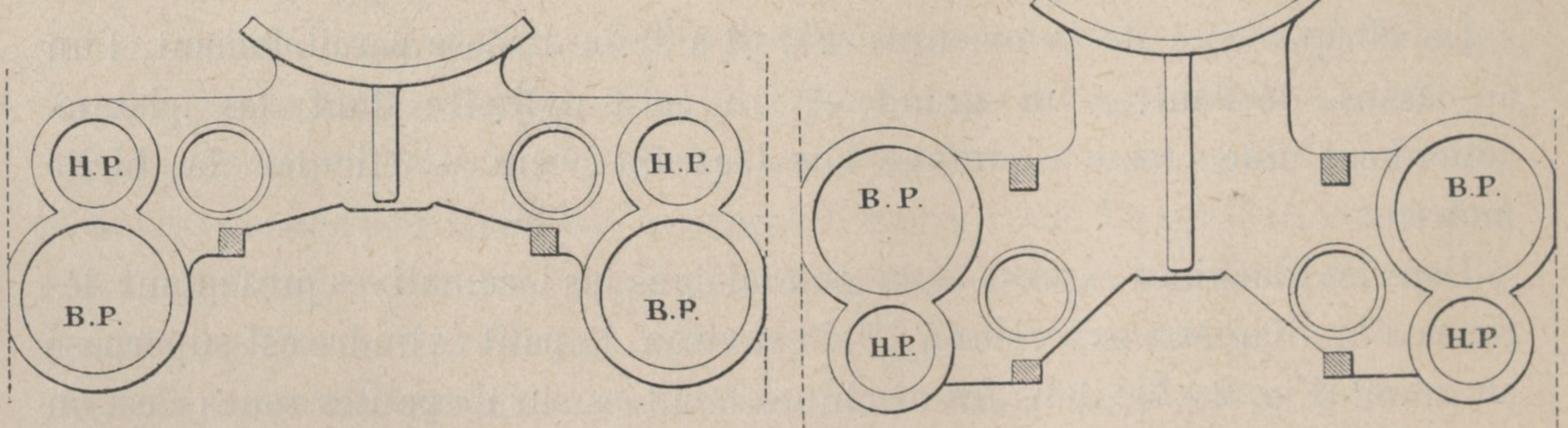


Fig. 5 et 6. — Disposition des cylindres. Vues par bout.

Fig. 5.

Fig. 6.

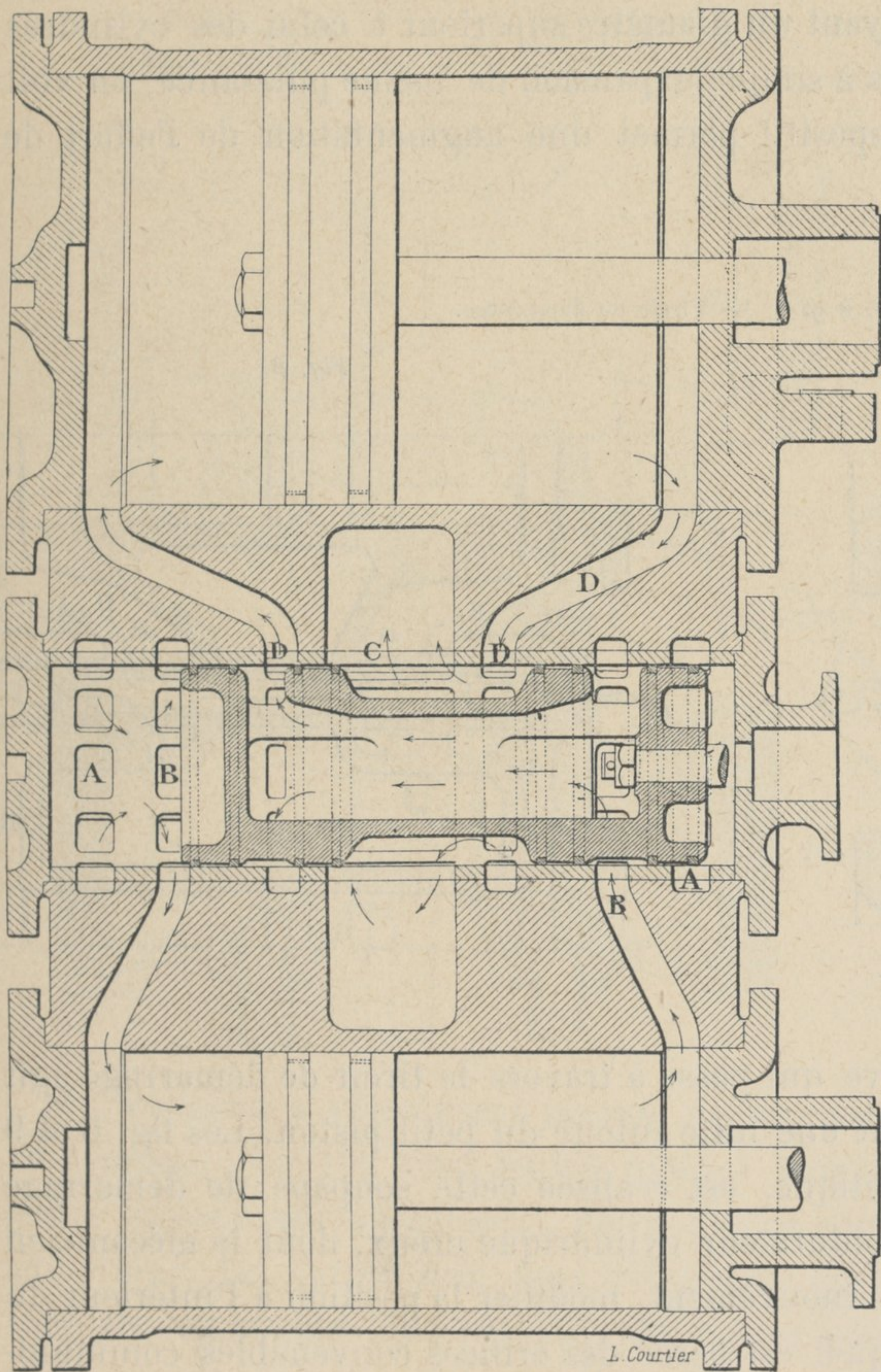


Le tiroir de distribution, situé sensiblement dans le même plan horizontal que le petit cylindre, se compose de deux pistons reliés par une large tubulure entraine. Les orifices A communiquent directement avec le tuyau de vapeur;

les orifices B correspondent aux lumières du petit cylindre et les orifices D aux conduits du grand cylindre. L'échappement du cylindre de détente s'opère par l'orifice C. Lorsque le tiroir est dans la position de la figure, la vapeur entre par A, vers la gauche, et pénètre par la lumière B, découverte, à l'intérieur du petit cylindre.

De l'autre côté, sur la face arrière du petit piston, l'échappement est commencé et la vapeur, déjà partiellement détendue, se rend par l'orifice B

Fig. 7. — Coupe longitudinale des cylindres et de la boîte à tiroir.



puis à travers le tiroir, jusque dans l'orifice opposé D du grand cylindre, suivant le sens des flèches.

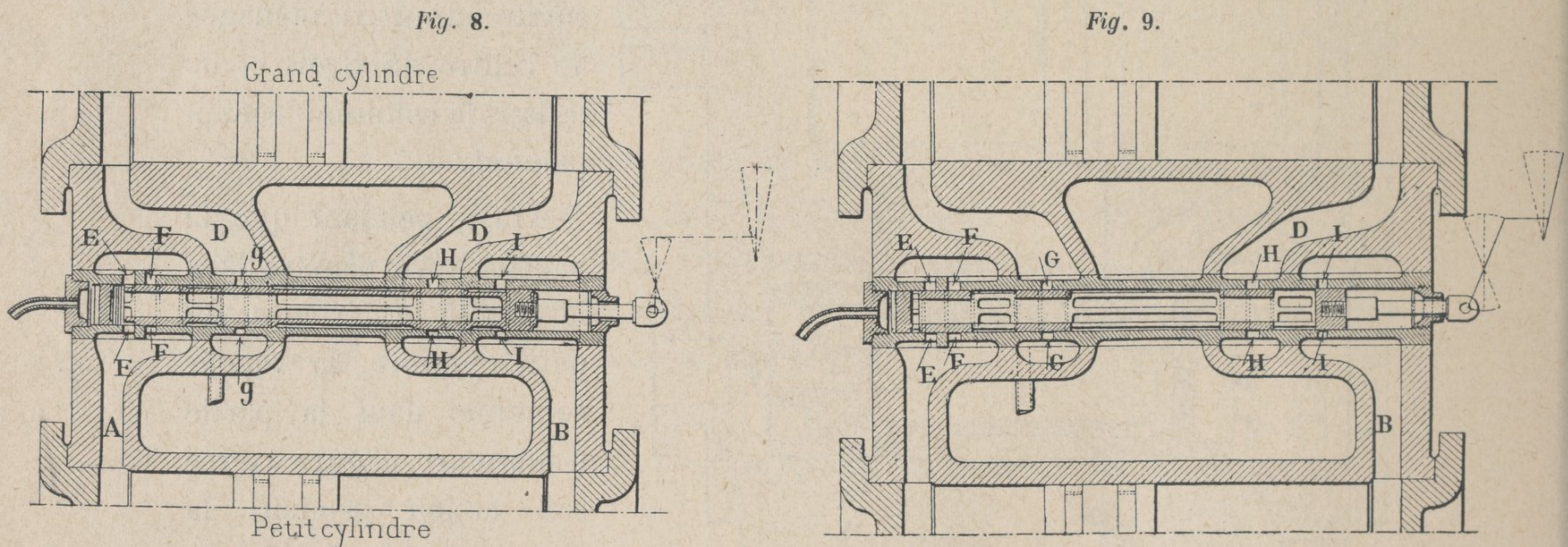
L'échappement dans l'atmosphère se produit sur la face arrière du grand piston, à l'intérieur de la cavité annulaire ménagée au centre du tiroir et de là dans la colonne d'échappement.

Ainsi, pendant que la vapeur vive pénètre dans la partie antérieure du petit cylindre, la vapeur contenue dans la partie postérieure, et qui a exercé son action pendant la course précédente, s'échappe dans la partie antérieure du grand cylindre alors que l'échappement final au dehors s'opère à l'autre bout, et ainsi de suite, alternativement, sur les deux faces des pistons.

Pour opérer le démarrage, on introduit directement de la vapeur vive dans le grand cylindre à l'aide d'une petite soupape spéciale. Quand cette dernière est ouverte, elle permet à une partie de la vapeur de passer dans le grand cylindre après avoir traversé le cylindre admetteur, comme si le fonctionne-

ment avait lieu en compound, mais une dérivation partielle de vapeur se rend en outre dans le conduit opposé du petit cylindre, alors ouvert à l'échappement et, de là, dans le grand cylindre où elle vient augmenter la pression. Dès que le démarrage est opéré, la vitesse des pistons devient rapidement trop considérable pour que la faible section donnée à la soupape de démarrage puisse débiter un volume de vapeur suffisant pour augmenter sensiblement la pression au grand cylindre. Au contraire si le démarrage est lent et pénible, la pression sur le grand piston peut devenir égale à celle qui règne dans la chaudière au moment considéré. Les cylindres de détente des locomotives compound Baldwin ayant un diamètre supérieur à celui des cylindres appartenant aux locomotives à simple expansion de même puissance, on voit que l'application de ce dispositif permet une augmentation de l'effort de traction initiale.

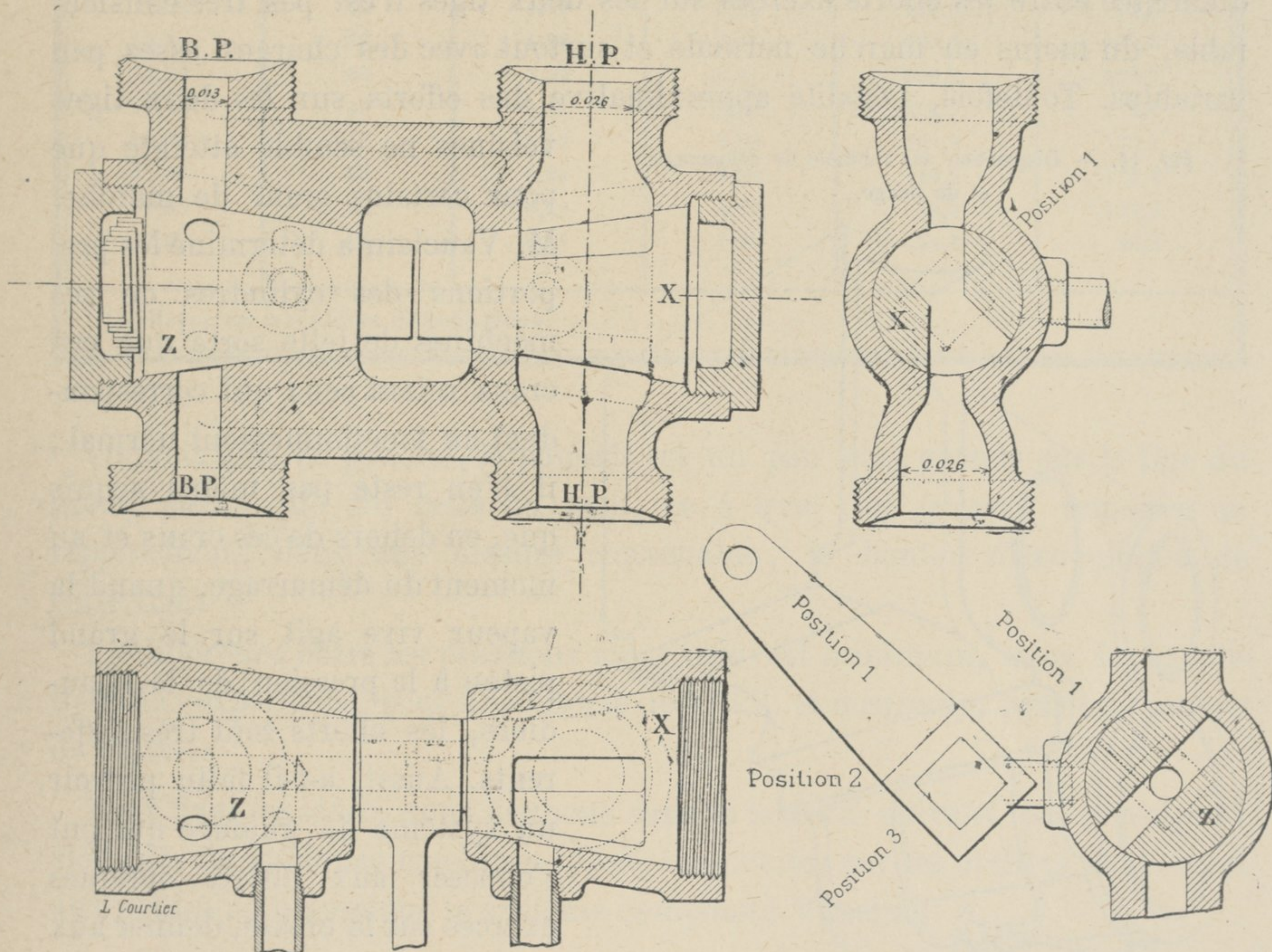
Fig. 8 et 9. — Tiroir de démarrage.



En résumé, la vapeur vive qui passe à travers le tiroir de démarrage agit exactement comme le ferait une fuite autour du petit piston. Les fig. 8 et 9 indiquent comment, en pratique, est réalisée cette soupape de démarrage constituée par une sorte d'obturateur cylindrique creux, dont le mécanicien peut, à l'aide d'un renvoi de mouvement, modifier la position à l'intérieur du tube alésé qui l'entoure lequel est percé des orifices convenables communiquant avec les conduits des deux cylindres. Quand la soupape est dans la position de la première figure (Fig. 8) la vapeur peut pénétrer à la fois sur les deux faces du petit piston qui communiquent entre eux par le conduit ménagé au centre de la valve; cette position correspond au démarrage. La seconde

figure indique la position que doit occuper le tiroir de démarrage quand le fonctionnement a lieu suivant le mode compound. Cette valve peut enfin prendre ou occuper une troisième position (fond de course sur l'arrière) dans laquelle elle établit une communication entre les deux côtés du cylindre à haute pression et l'atmosphère, grâce à un petit tuyau servant normalement de purgeur.

Fig. 10. — Robinets de démarrage et de purge.

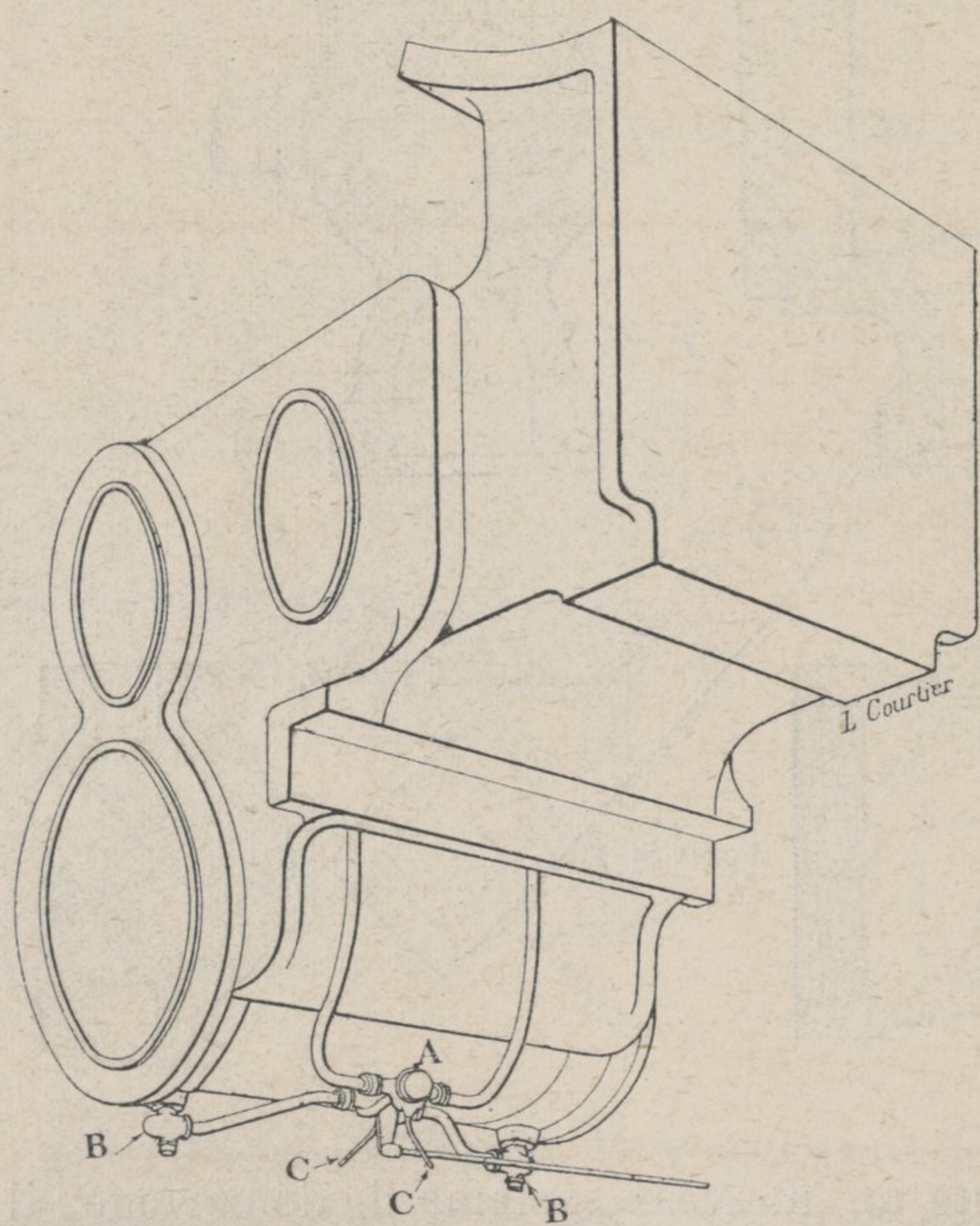


M. Vaucrain a récemment breveté un nouveau système de démarrage ; il se compose (Fig. 10) d'un double robinet à deux voies commandant quatre petits tuyaux qui aboutissent, deux d'entre eux aux conduits du cylindre admetteur, les autres aux deux extrémités du grand cylindre. Un de ces robinets commande l'introduction de vapeur pour le démarrage et l'autre la purge du cylindre de détente. Ces robinets sont placés vers le dessous du grand cylindre, du côté intérieur (Fig. 11) ; ils sont commandés par un tringlage à la main du mécanicien.

Ce système, on le voit est assez simple puisqu'il ne comporte, de chaque

côté de la machine, qu'une crosse, qu'une bielle motrice et qu'une distribution; l'appareil de démarrage est aussi fort peu compliqué. D'autre part, le point caractéristique du système Vaucrain, à savoir la commande d'une bielle commune par deux tiges de piston parallèles, placées à une distance égale ou supérieure à 0^m,500 d'axe en axe et qui peuvent être soumises à des efforts différents, prête le flanc à la critique, mais d'une manière peut-être moins absolue qu'on ne pourrait le croire de prime abord. Les très nombreux diagrammes relevés en cours de fonctionnement semblent indiquer que la différence entre les efforts exercés sur les deux tiges n'est pas très considérable, du moins en marche normale et surtout avec des charges assez peu variables. Toutefois, l'égalité approximative des efforts sur les deux tiges

Fig. 44. — Disposition des robinets de démarrage et de purge.



voisines ne semble atteinte que pour certains crans de marche. M. Vaucrain a déterminé les proportions des cylindres de ses machines de telle sorte que ces crans soient ceux qui correspondent au fonctionnement normal; il n'en reste pas moins acquis que, en dehors de ces crans et au moment du démarrage, quand la vapeur vive agit sur le grand piston à la pression de la chaudière, les efforts sont très différents. Aussi, a-t-il fallu prévoir un système de guidage qui put s'opposer aux efforts obliques exercés sur la crosse, donner aux tiges de piston un diamètre relativement considérable pour leur

assurer toute la rigidité nécessaire et établir très solidement leur emmanchement sur la traverse par de longs bossages. Il semble que l'inventeur soit parvenu à surmonter ces difficultés d'une manière suffisante pour les besoins de la pratique.

Nous donnons ci-après, pour des allures diverses, les pressions effectives exercées sur chacun des pistons, d'après les ordonnées mesurées sur des diagrammes relevés en cours de route.

PRESSION à la CHAUDIÈRE.	VITESSE EN KIL. à l'heure.	PRESSIONS MOYENNES		PUISSANCE INDIQUÉE	
		Cyl. HP.	Cyl. BP. (1)	Cyl. HP.	Cyl. BP.
Kg.	Kil.	Kg.	Kg.	Chx.	Chx.
12,37	77	2,70	2,81	142,4	145,2
12,37	77	2,91	2,45	141,4	127,3
11,95	66	2,81	3,10	135,3	141,1
11,95	71	3,66	2,95	169,4	145,6
11,81	70	3,34	4,12	162,9	191,3
12,23	45	4,52	5,15	134,0	144,5
12,44	59	4,83	4,40	173,0	168,3
12,30	60	4,92	5,91	199,7	227,7
12,44	49	5,27	4,88	172,7	171,1
12,02	47	5,53	5,38	164,4	170,1
12,30	35	5,80	7,74	146,9	175,6
11,95	22	5,70	8,01	96,4	127,8
12,37	14	8,17	9,05	74,7	88,3

(1) Rapportée à la surface du petit piston.

On voit que, en général, la poussée est un peu plus grande sur la tige du grand piston que sur celle du petit, ce à quoi l'on pourrait remédier en rapprochant, dans une mesure convenable, le bouton d'articulation de cette tige.

La différence entre les pressions moyennes est minimum, dans les conditions de l'expérience, pour une vitesse de 47 kil. et maximum pour une vitesse de 22 kil.

Pour fixer les idées, nous donnons dans le tableau suivant les principaux éléments de quelques machines-types, construites par les ateliers Baldwin et auxquelles on a appliqué le système compound Vaucrain.

	EXPRESS 4 roues acc. « Wootten »	EXPRESS 4 roues acc. C.R.N.J.	EXPRESS 4 roues acc. « Columbia »	Marchandises 8 roues acc. « Consolidation »	Fortes Rampes 10 roues acc. « Wootten »	VOIE de un mètre 4 roues acc.
Surface de grille.....	7 ^m ,06	3 ^m ,60	2 ^m ,30	2 ^m ,90	8 ^m ,31	0 ^m ,93
Surface de chauffe totale.....	133,31	157,00	137,00	174,50	227,00	80,00
Timbre.....	12 ^k ,65	12 ^k ,65	12 ^k ,65	12 ^k ,65	12 ^k ,65	12 ^k ,65
Diamètre des cylindres HP...	0 ^m ,330	0 ^m ,330	0 ^m ,330	0 ^m ,356	0 ^m ,406	0 ^m ,229
— — BP...	0 ^m ,559	0 ^m ,559	0 ^m ,559	0 ^m ,610	0 ^m ,686	0 ^m ,381
Course commune.....	0,610	0,620	0,610	0,610	0,711	0,50
Poids adhérent.....	37 ^t ,50	38 ^t ,00	37 ^t ,70	54 ^t ,70	78 ^t ,00	16 ^t ,80

On trouvera ci-dessous, avec plus de détail en ce qui concerne la distribution, les dimensions principales d'une locomotive du système Vaucrain, à six roues accouplées et à bogie, construite pour la Compagnie du *Norfolk and Western Railroad* :

Longueur intérieure du foyer	2 ^m ,60
Surface de grille	2 ^m ,61
Nombre de tubes.....	270
Longueur utile des tubes	4 ^m ,27
Diamètre extérieur des tubes.....	0,051
Diamètre minimum du corps cylindrique	1,574
Surface de chauffe totale.....	196 ^m ²,85
Diamètre des cylindres à haute pression (2).....	0 ^m ,355
— — à basse pression (2).....	0 ^m ,610
Course commune.....	0,610
Rapport des volumes.....	2,93
Espaces morts du petit cylindre (%).....	7,7
— grand —	13,6
Course maximum des tiroirs.....	0 ^m ,117
Course des tiroirs au point mort.....	0 ^m ,060
Avance à la vapeur (coulisses abaissées), H. P.....	0 ^m ,003
— — — B. P.....	0 ^m ,009
Recouvrements extérieurs, H. P.....	0 ^m ,022
— — B. P.....	0 ^m ,016
Recouvrements intérieurs, H. P.....	0
— — B. P.....	0
Diamètre des tuyères doubles d'échappement.....	0 ^m ,089
Diamètre des roues motrices.....	1 ^m ,829
Poids adhérent.....	45 ^t ,36
Poids total en service, machine et tender.....	92 ^t ,90

Résultats obtenus en service. — Les machines compound du système Vaucrain ont été soumises à de très nombreux essais effectués dans les conditions normales du service et par comparaison avec des machines non compound des mêmes types, munies de chaudières identiques ou fort peu différentes ; les expériences que nous relatons ci-dessous ont été conduites par les Compagnies qui avaient tout intérêt à opérer avec la plus grande rigueur pour se fixer sur la valeur du système compound en général et du dispositif Vaucrain en particulier. Le mode compound a donné, d'après ces essais, des résultats économiques très marqués, dus en partie à ce que les machines américaines à simple expansion fonctionnent normalement avec une faible détente et un très violent tirage augmentant leur consommation par unité de travail effectif produit. Aux États-Unis, l'avantage principal du mode compound appli-

qué aux locomotives consiste beaucoup moins dans l'amélioration des conditions physiques suivant lesquelles s'opère la détente que dans l'établissement d'un degré minimum d'expansion rendant impossible la marche à grande introduction préférée par des mécaniciens qui ne reçoivent ni allocations ni primes de combustible. Pour un travail donné, la consommation de vapeur se trouve ainsi diminuée et l'utilisation de la chaudière est meilleure.

Les essais les plus complets ont été effectués par la C^{ie} du *Northern Pacific*, sur des machines à six roues accouplées, l'une, N° 584, à cylindres égaux de 0^m,457 × 0^m,610, l'autre du système compound Vaucrain ayant des cylindres de 0^m,292 et de 0^m,482 avec une course commune de 0^m,610. Les surfaces de chauffe et de grille des deux machines, le diamètre des roues, les poids adhérents et totaux étaient les mêmes pour les deux locomotives, comme on le voit dans le tableau suivant.

DIMENSIONS PRINCIPALES DES LOCOMOTIVES SUR LESQUELLES ONT PORTÉ LES ESSAIS.

	COMPOUND N° 567		MOGUL N° 584
	H. P.	B. P.	
Diamètre des cylindres.....	0 ^m ,292	0 ^m ,482	0 ^m ,457
Course des pistons.....	0 ^m ,610		0 ^m ,610
Recouvrement extérieur des tiroirs..	0,019	0,017	0,019
Diamètre des roues motrices.....			1 ^m ,422
Poids adhérent.....			39 ^t ,00
Poids du tender à vide.....			12,80
Diamètre minimum du corps cylindrique.....			1 ^m ,422
Longueur des tubes.....			3,540
Nombre des tubes.....			233
Diamètre des tubes.....			0 ^m ,051
Longueur du foyer (int.).....			1,804
Largeur du foyer.....			0,863
Profondeur du foyer à l'arrière.....			1,930
Diamètre de la cheminée.....			0,457
Surface de chauffe totale S.....			144 ^m 2,30
Surface de grille s.....			1,55
Rapport $\frac{S}{s}$			92,6

Pour mettre les deux types de machines dans des conditions absolument comparables, les chaudières furent soigneusement lavées intérieurement avant les essais et les tubulures et les boîtes à fumée parfaitement nettoyées; les voûtes en briques furent changées ainsi que les tuyères d'échappement. Afin d'éviter toute contestation sur le jaugeage de l'eau d'alimentation, le même tender, celui de la machine N° 587, fut attelé aux deux types de locomotives pendant la durée des essais.

Nous nous bornerons à citer une partie des essais :

I

PRESSION DE RÉGIME : 12 kil. pour les deux types de machines.

DÉSIGNATION DES MACHINES.		Nombre de WAGONS.	Poids DU TRAIN.	CHARBON dépensé.	Vaporisation par kil. de charbon.	CHARGE remorquée par kil. de charbon.	DURÉE de l'essai.	CONDITIONS atmosphériques
1°	Machine à simple expansion.....	33	867T	3931K.	6K.6	220K.7	4H.50'	Vent debout.
	— Compound.....	33	852	2722	6.9	284.7	6.40	Vent de côté
2°	Machine à simple expansion.....	38	906	4851	5.5	186.8	5.17	Vent de côté.
	— Compound.....	39	823	3202	6.7	257.0	4.31	Vent debout.

Economie totale en faveur de la machine compound..... 22,5 % 27,3 %
 Augmentation de poids de vapeur produit par unité de poids de combustible brûlé..... 4,2 % 17,9 %

II

PRESSION DE RÉGIME : Mach. à simple exp. 10 k. 54
 Mach. compound..... 12 k. 00

DÉSIGNATION DES MACHINES.	NOMBRE DE WAGONS	POIDS DU TRAIN.	DÉPENSE DE CHARBON.	Vaporisation par KIL. DE CHARBON	CHARGE remarquée pa KIL. DE CHARBON	DURÉE DE L'ESSAI.	CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES.
Machine à simple expansion	118	2.426 t.	14.265 k.	6 k. 57	170 k.	23 h. 52'	Beau.
» compound.....	115	2.592	12.065	6 99	215	21 h. 53'	»

Économie totale en faveur de la machine compound..... 20,9 %
 Augmentation du poids de vapeur produit par unité de poids de charbon brûlé .. 0,6 %

III.

PRESSION DE RÉGIME : 10 k. 54 pour les deux machines.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	NOMBRE DE WAGONS.	POIDS DU TRAIN.	DÉPENSE DE CHARBON.	Vaporisation par KIL. DE CHARBON	CHARGE remarquée par KIL. DE CHARBON	DURÉE DE L'ESSAI.	CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES.
Machine à simple expansion	33	705 t.	3.234 k.	6.4	204	7 h. 1'	Pas de vent.
» compound	35	685	2.747	7.4	250	5 h. 3'	»

Économie totale en faveur de la machine compound..... 18,3 %
 Augmentation du poids de vapeur produit par unité de poids de charbon brûlé... 13,5 %

IV.

RÉSUMÉ DE DIX ESSAIS.

Machines à simple expansion N^{os} 584 et 536 ; machine compound N^o 587.

DÉSIGNATION DES MACHINES.	POIDS TOTAL des trains.	DÉPENSE de CHARBON.	Vaporisation par KIL. DE CHARBON	CHARGE remarquée par KIL. DE CHARBON.	DURÉE TOTALE des essais.	PRESSION MOYENNE à la chaudière
Machine à simple expansion..	6.895 t.	37.941 k.	6 k. 3	175 k.	52 h. 50'	10 k. 61
» compound.....	7.016	30.706	7 1	225	57 h. 50'	10 70

Économie en faveur de la machine compound..... 22,2 %

Fig. 12. — Pression à la chaudière..... 10 k. 90
Vitesse..... 65 kil.

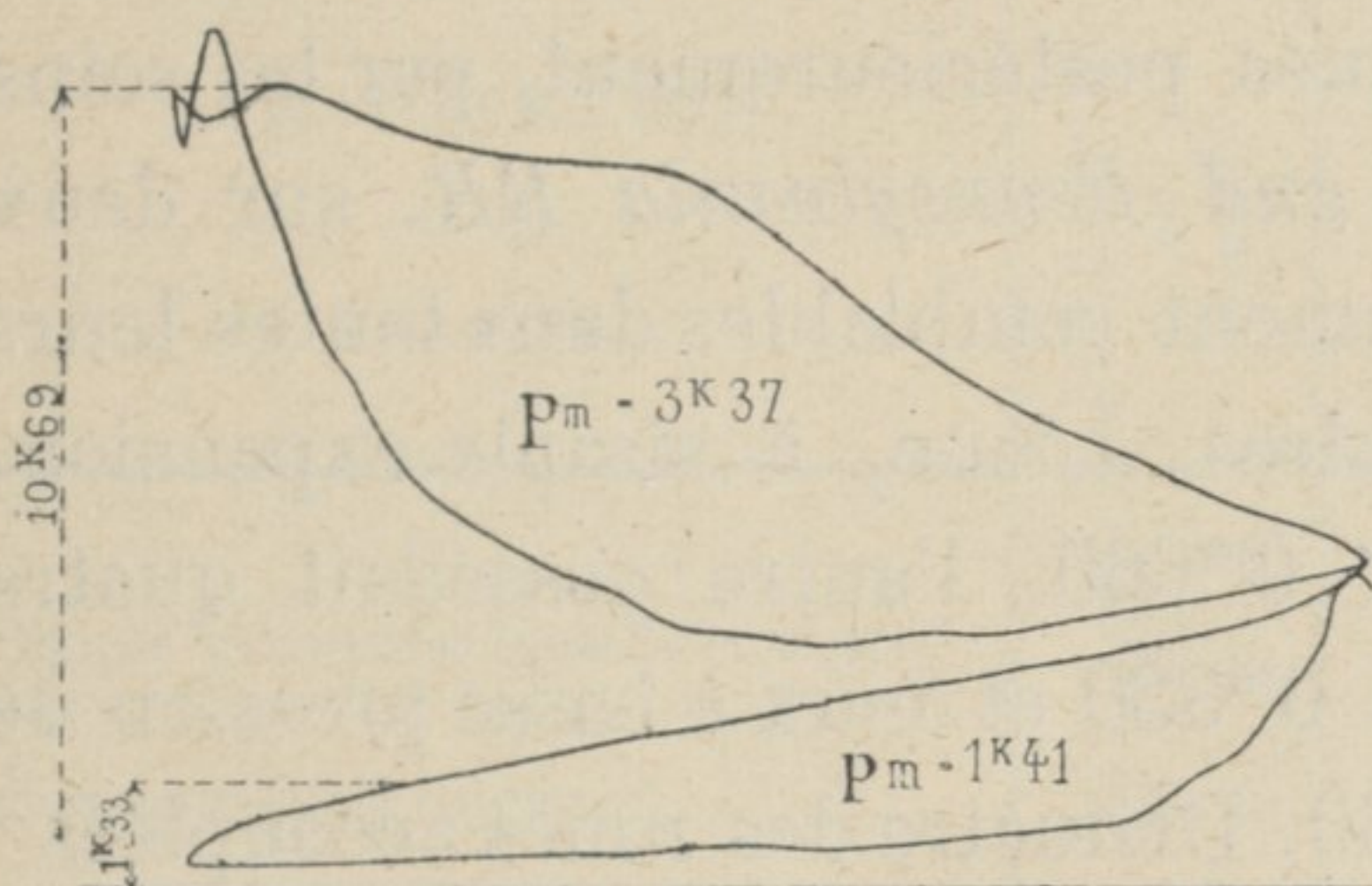


Fig. 13. — Pression à la chaudière..... 11 k. 95
Vitesse..... 48 kil.

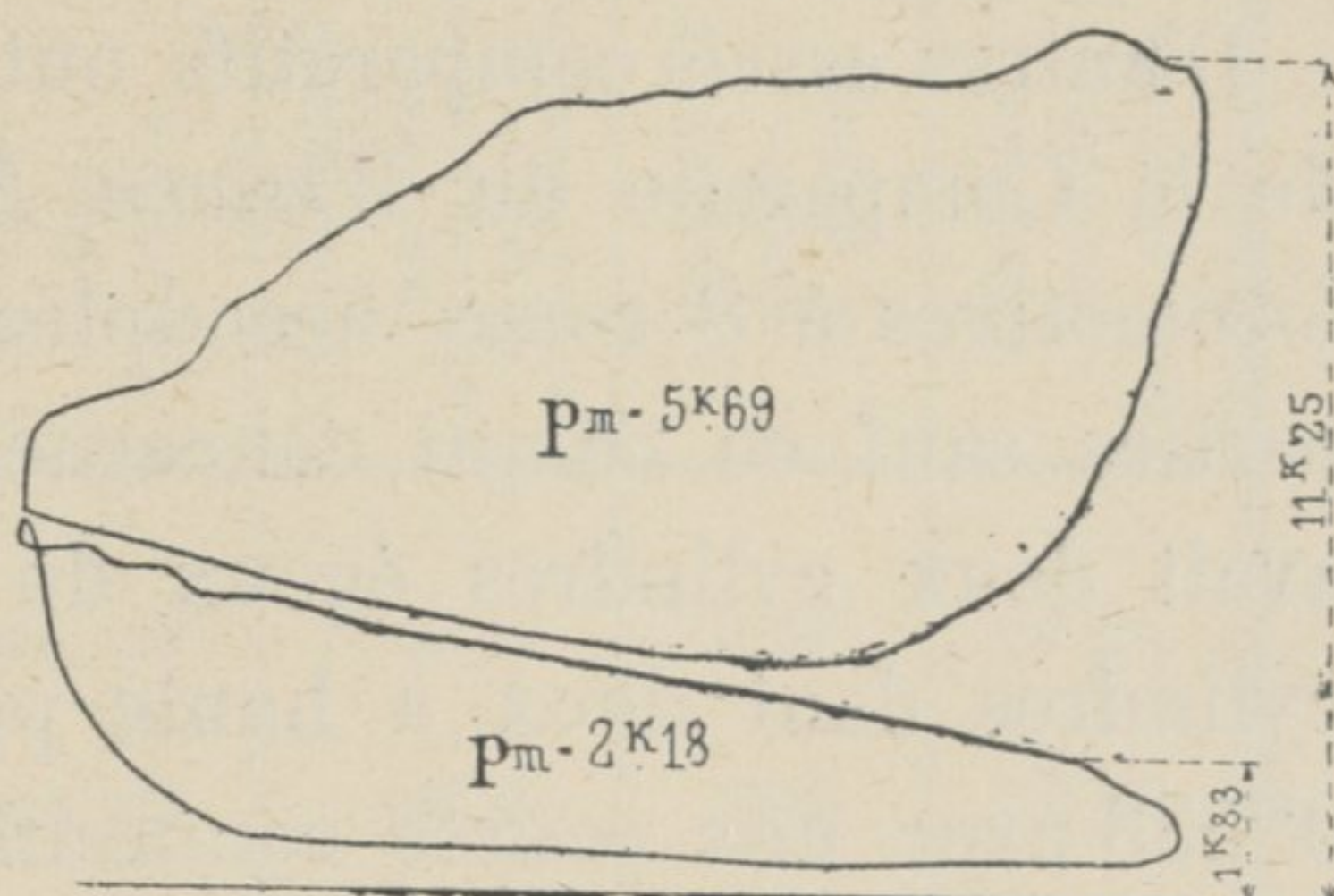


Fig. 14. — Pression à la chaudière..... 10 k. 60
Vitesse..... 37 kil.

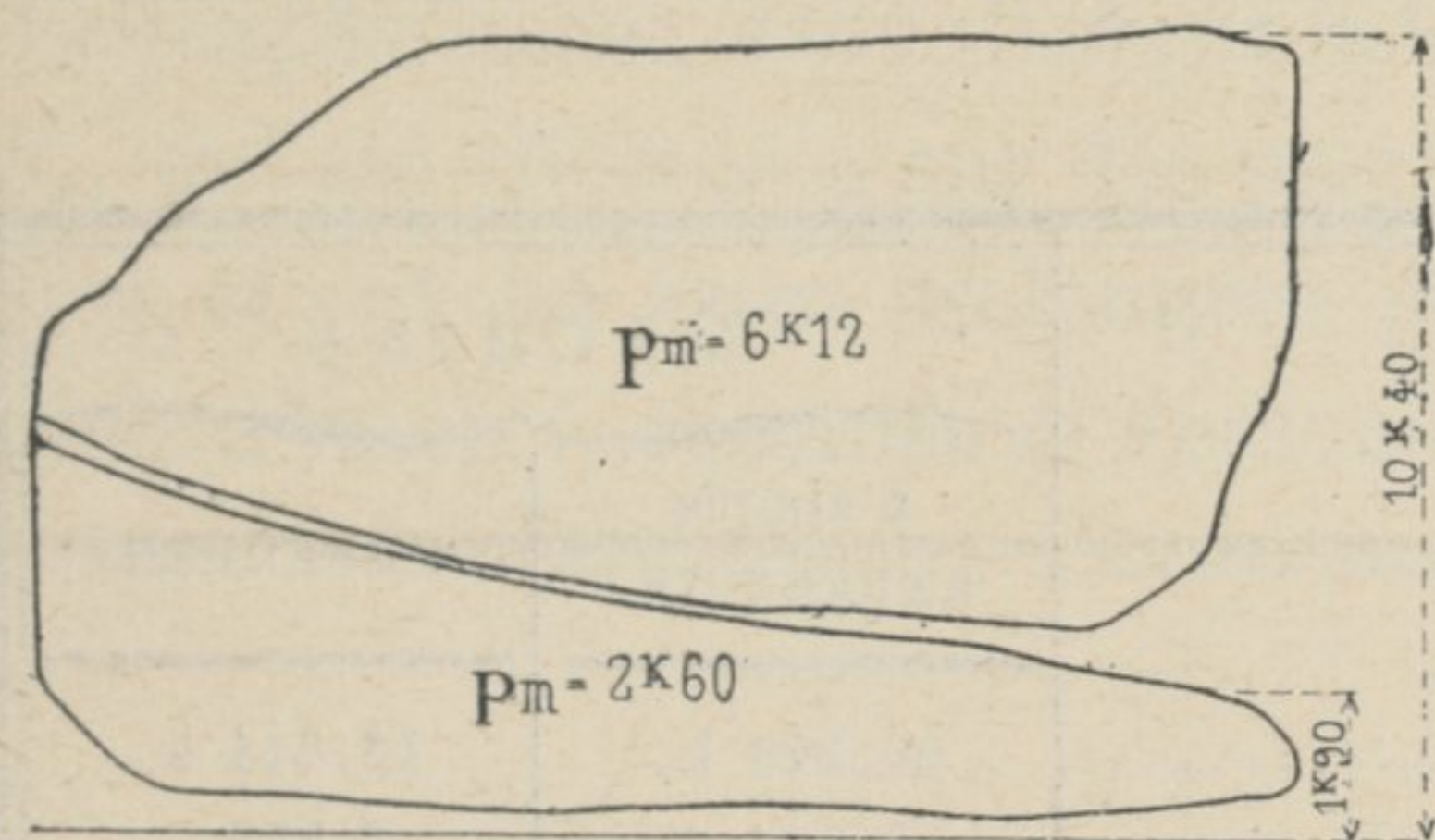


Fig. 15. — Pression à la chaudière..... 11 k. 40
Vitesse..... 24 kil.

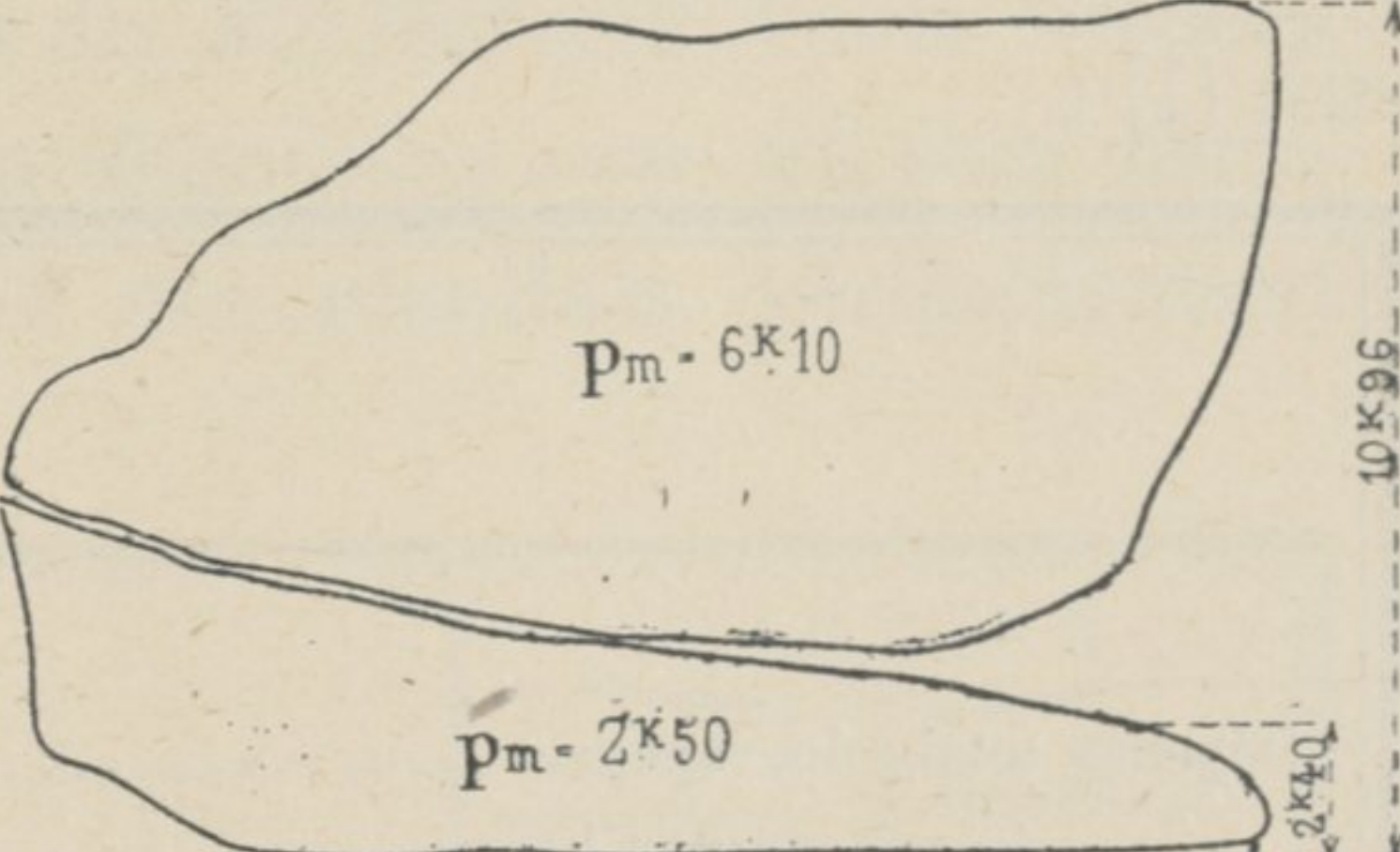
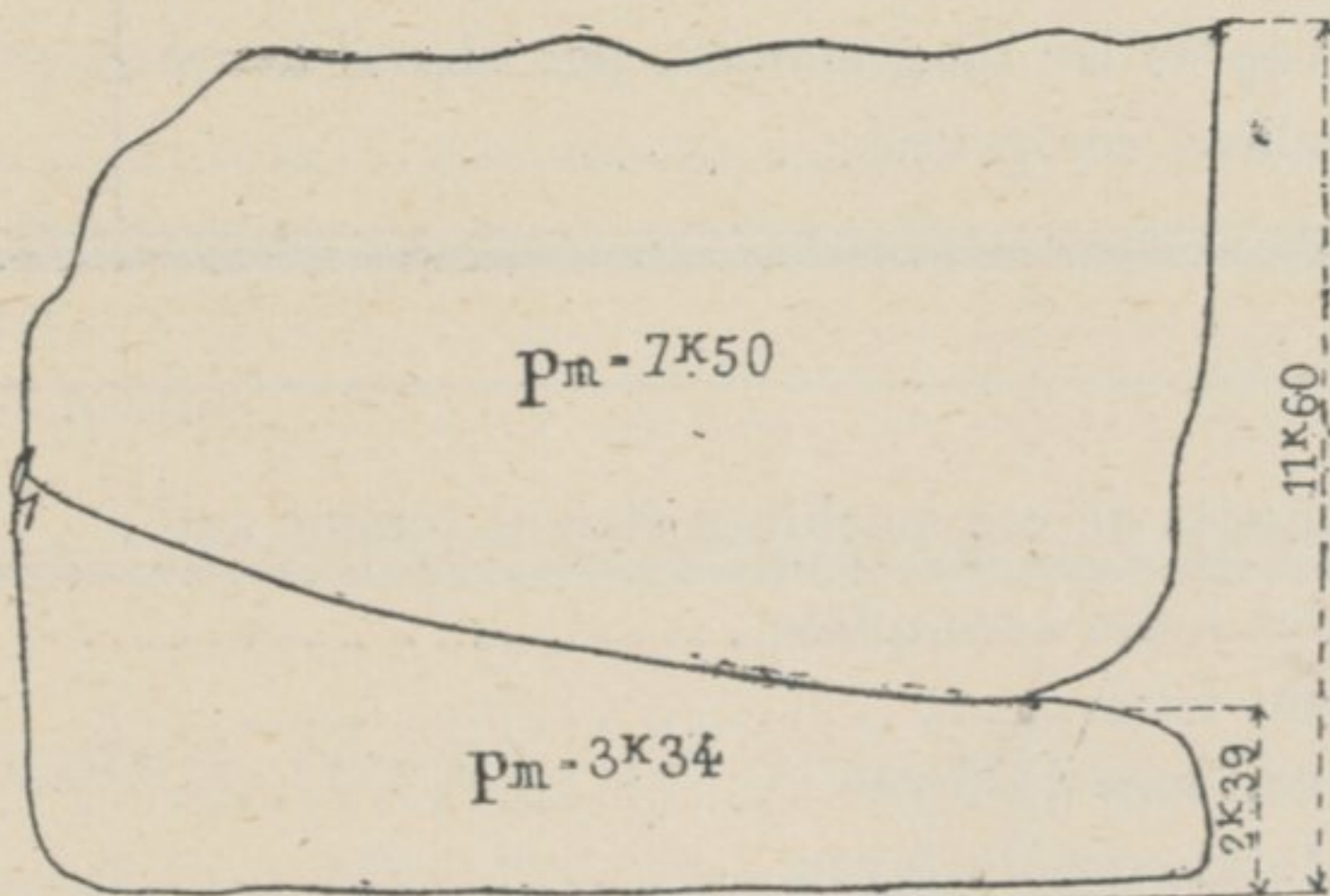


Fig. 16. — Pression à la chaudière..... 11 k. 95
Vitesse..... 16 kil.



De nombreux diagrammes ont été relevés dans les cylindres au cours de ces essais, nous en reproduisons un certain nombre pris à des vitesses différentes (Fig. 12 à 16). L'analyse de ces diagrammes et de ceux qui ont été

simultanément relevés sur les machines à simple expansion donne les résultats moyens consignés dans le tableau ci-dessous :

	MACHINE	
	à simple EXPANSION.	COMPOUND.
Pression à la chaudière.....	11,11 k.	11,20 k.
Température de l'eau d'alimentation.....	15°	15°
Pourcentage d'eau dans la vapeur.....	1,4	0,4
Poids de vapeur sensible par cheval (d'après les diagrammes)....	10,05 k.	8,16 k.
Poids de vapeur réellement dépensé par cheval indiqué.....	12,43	10,44
Économie en faveur de la machine compound.....		18,8 %

D'autres essais comparatifs ont été effectués postérieurement, par les soins de la Compagnie du *Western New-York and Pennsylvania RR.* sur deux locomotives à 8 roues accouplées, entièrement semblables dans toutes leurs parties sauf en ce qui concerne les cylindres. L'une, à simple expansion, avait deux cylindres égaux de 0^m482 × 0^m660, l'autre possédait quatre cylindres dont deux à haute pression de 0^m330 et deux à basse pression de 0^m533 avec une course commune de 0^m660. Diamètre des roues accouplées : 1^m276; timbre: 11 k. 25 pour la locomotive à simple expansion et 12 k. 30 pour la machine compound. Les résultats obtenus peuvent se résumer comme suit (1) :

	MACHINE	
	à simple EXPANSION.	COMPOUND.
Dépense totale de vapeur.....	20.320 k.	16.614 k.
— de vapeur par heure.....	8.834	7.552
Puissance moyenne indiquée réelle.....	684,5 ch ^x	702,5 ch ^x
Dépense de vapeur par cheval-heure	12,91 k.	10,75 k.
Dépense de vapeur sensible d'après les diagrammes, par cheval-heure.	10,43	8,17
Avantage en faveur de la machine compound.....		16,6 %

(1) Les autres dimensions principales de ces machines étaient comme suit :

Diamètre des roues accouplées.....	1 ^m 276
Empattement total.....	6 ^m 620
Largeur intérieure du foyer.....	1 ^m 047
Longueur intérieure du foyer.....	2 ^m 580
Surface de grille.....	2 ^m 209
Nombre de tubes.....	261
Longueur des tubes.....	3 ^m 960
Surface de chauffe totale.....	174 ^m 250

D'autres essais effectués par la même Compagnie, avec des trains de marchandises d'un poids de 350 tonnes à 1.400 tonnes ont donné en faveur des machines compound une économie variant de 30 à 44 %, chiffres évidemment très élevés, mais que peuvent justifier les considérations énoncées plus haut. En effet, dans ces expériences, on constata que la vaporisation par unité de poids de combustible brûlé était, pour les machines compound, supérieure à celle des locomotives ordinaires, dans la proposition de 13 % au minimum à 26 % au maximum. L'économie résultant simplement de la meilleure utilisation de la vapeur dépensée ne serait plus alors que de 17 % dans le premier cas et de 18 % dans le second.

Voici, du reste, les résultats moyens résultant de l'ensemble de ces essais :

DÉSIGNATION de la MACHINE.	POIDS MOYEN du TRAIN.	NOMBRE D'HEURES de l'essai y compris les stationnements.	DURÉE de la MARCHÉ.	KILOGRAMMES DE TRAIN remorqués sur toute la longueur du parcours par 1 kil. de houille.	VAPORISATION PAR KIL. de houille.	PRESSION MOYENNE à la chaudière.
Simple expansion (quatre voyages) ..	801 t.	21 h. 51'	16 h. 38'	122 ^k ,6	6,31	10 ^k ,40
Compound (six voyages)	872 t.	34 h. 57'	24 h. 25'	192 ^k ,2	7,69	11 ^k ,67

Les expériences, conduites par la Compagnie du *Norfolk and North Western RR.*, ont été effectuées sur des machines à marchandises avec un soin particulier, et ont été assez prolongées pour donner des résultats véritablement dignes d'intérêt, résumés ci-dessous :

	MACHINE	
	A SIMPLE EXPANSION.	COMPOUND.
Pression moyenne à la chaudière	9,77 k.	12,73 k.
Nombre moyen de wagons remorqués	17,5	13,2
Poids brut du train	483 t.	416 t.
Dépense de charbon par tonne kilométrique	0 ^k ,068	0 ^k ,043
Vaporisation par kilog. de charbon	8,03	8,19
Avantage en faveur du mode Compound	38 %	

On a effectué, sur le même réseau, de nombreux essais avec la locomotive express à six roues accouplées N° 82, dont les dimensions principales sont relatées plus haut. Les résultats, obtenus en service courant avec des trains de voyageurs, se trouvent résumés ci-contre.

MOYENNE DE DIX VOYAGES ALLER ET RETOUR. — TRAINS N^{os} 1 ET 2.

Poids total de charbon brûlé.....	4.078 kg.
Poids total d'eau vaporisée.....	30.600
Température de l'eau d'alimentation.....	7° C.
Pression moyenne à la chaudière.....	12,86 kg.
Durée moyenne d'un voyage.....	5 h. 1 m.
Durée de la période de marche.....	4 h. 13 m.
Vitesse moyenne de marche.....	58 kil.
Poids total net du train pendant la première partie du trajet.....	340 t.
— — — seconde —.....	294 t.
Pertes de vapeur (les soupapes ont craché pendant 42').....	2.400 kg.
Consommation nette de vapeur.....	28.200 kg.
Vide moyen dans la boîte à fumée.....	146 ^m / _m d'eau.
Consommation de vapeur par tonne kilométrique.....	0,381 kg.
— de charbon —.....	0,051 kg.
Vaporisation par kil. de charbon.....	7,47
Nombre de kilomètres pendant lequel le régulateur est resté ouvert.....	136,8 k.
Vitesse maximum.....	90,24
Dépense de charbon par heure pendant la marche à la vitesse maximum.....	2.691 kg.
Consommation correspondante de vapeur.....	20.166 kg.
Consommation correspondante de charbon par mètre carré de surface de grille et par heure.....	1.038 kg.

Les diagrammes relevés à la vitesse de 54 kil. à l'heure ont indiqué une puissance de 797 chevaux avec une consommation par cheval de 10,2 kg. de vapeur sensible et 12,45 kg. de vapeur réellement dépensée.

Dans plusieurs des expériences relatées ci-dessus, on a cherché à déterminer la mesure dans laquelle l'emploi du mode compound réduisait la température et le vide dans les boîtes à fumée.

Dans les essais du *Northern Pacific*, la température maximum de la boîte à fumée s'éleva à 461° C. pour les locomotives à simple expansion et seulement à 307° C. pour les machines compound.

Sur le *Western New-York*, on a constaté les chiffres suivants :

VITESSE EN KIL. A L'HEURE.		VIDE DANS LA BOITE A FUMÉE EN ^m / _m D'EAU.		CHARGE DES TRAINS. WAGONS VIDES.	
SIMPLE EXPANS.	COMPOUND.	SIMPLE EXPANS.	COMPOUND.	SIMPLE EXPANS.	COMPOUND.
16	27	173	51	47	50
25	32	101	89	»	»
29	24	203	25	»	»
37	37	178	76	»	»

Ces chiffres ne permettent d'établir aucune relation entre les vitesses et les dépressions obtenues (d'autant plus que les expérimentateurs n'ont pas noté les variations du profil), mais ils montrent en tous cas que, d'une manière absolue, les dépressions sont considérablement moindres dans les boîtes à fumée des compounds.

La même Compagnie a relevé en service les chiffres indiqués ci-dessous :

POIDS DU TRAIN.	TYPE DE MACHINE.	TEMPÉRATURE moyenne dans la boîte à fumée.	DÉPRESSION DANS LA BOÎTE A FUMÉE	
			MOYENNE.	MAXIMUM.
325 t.	Ordinaire... N° 169	343° C	138 m/m	241 m/m
454	Compound.... 175	308	65	178
1.433	Ordinaire..... 169	372	167	265
1.432	Compound.... 175	310	92	178
473	Ordinaire..... 169	367	165	279
494	Compound.... 175	328	43	165
1.180	Ordinaire..... 169	363	180	279
1.300	Compound.... 175	335	95	152

Ces chiffres semblent indiquer que, tout au moins entre les limites de l'expérience, l'emploi du système compound entraînait une réduction considérable (jusqu'à 400 %) de la dépression dans la boîte à fumée, mais que la diminution correspondante de température était beaucoup plus faible.

Les résultats relatés ci-dessus ne sont pas spéciaux au système Vaucrain et contribuent à montrer quel est l'avantage que l'on peut dériver de l'application rationnelle du mode compound aux locomotives, dans un pays où la vaporisation est poussée jusqu'aux dernières limites et dans lequel les mécaniciens ne sont pas directement intéressés aux économies de combustible. Le système compound entraîne dans l'espèce une double économie, parce qu'il réduit la production de la chaudière et impose *un degré minimum de détente*, celle-ci s'effectuant en outre dans des conditions physiques un peu plus satisfaisantes. Le bénéfice que l'on peut en attendre dans ces conditions se monterait, nous l'avons vu, à un minimum de 16 % et pourrait exceptionnellement s'élever jusqu'à 44 %. On ne doit pas perdre de vue toutefois que, dans ce qui précède, les locomotives compound sont comparées à des machines à simple expansion, fonctionnant normalement avec de très grandes introductions et un violent tirage, peu économiques par conséquent.