
Nouveau Système de Transmission de Mouvement

ENTRE LES MOTEURS ET LES ESSIEUX DES LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

Par M. AUVERT,

INGÉNIEUR PRINCIPAL DU MATÉRIEL
DE LA COMPAGNIE DE PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE.

(Pl. II).

La transmission du mouvement entre les moteurs et les essieux d'une locomotive électrique présente de très grandes difficultés, qu'au début de la traction électrique on était loin de soupçonner.

La plupart des Ingénieurs électriciens et même un certain nombre d'Ingénieurs mécaniciens, cependant au courant des choses de chemins de fer, considéraient comme très imparfait le système de transmission usité dans les locomotives à vapeur, et dans lequel le mouvement alternatif des pistons est transformé en mouvement circulaire continu et transmis, depuis la crosse du piston au bouton de manivelle correspondant de l'essieu moteur, à l'aide de bielles oscillantes dont le mouvement est en réalité très complexe et difficile à équilibrer.

Le mouvement des moteurs électriques étant circulaire et celui des essieux l'étant également, on a cru que rien n'était plus facile, en prenant certaines précautions élémentaires, de transmettre le mouvement des premiers aux seconds, soit au moyen d'engrenages, soit au moyen de bielles à mouvement circulaire.

Tant qu'on n'a eu affaire qu'à des moteurs de puissances et de poids relativement faibles, les dispositions imitées plus ou moins de celles usitées depuis longtemps sur les tramways ont donné satisfaction. Mais, dès que la puissance devient importante et la vitesse considérable, les réactions sur les engrenages dues aux oscillations des essieux par rapport au châssis deviennent assez fortes pour provoquer une usure rapide des dents.

Un autre inconvénient, dans le cas des gros moteurs et des grandes vitesses, provient de ce que les carcasses des moteurs étant reliées aux essieux par des paliers, les réactions transversales sur les rails, lors des changements brusques de direction, sont très violentes en raison de l'inertie horizontale très importante de l'ensemble moteur et essieu.

Pour soustraire les moteurs aux violentes secousses verticales et horizontales qu'ont nécessairement à supporter les essieux ainsi que les organes qui leur sont rigidement reliés, on a eu l'idée de placer, entre l'essieu proprement dit et le moteur correspondant, un faux essieu tubulaire centré sur l'essieu axe et relié élastiquement avec lui.

Cette disposition, qui a été appliquée depuis longtemps déjà sur un certain nombre de locomotives électriques à courant continu de la ligne des Invalides à Versailles, s'est beaucoup répandue depuis.

Elle a donné d'assez bons résultats en ce qui concerne la suppression des réactions diverses sur les moteurs, mais comme les paliers des faux essieux tubulaires sont nécessairement de grand diamètre relativement à la puissance transmise, les frottements sont élevés et la dépense d'huile très forte.

Enfin, avec ce système de transmission, il faut autant de moteurs ou de groupes de moteurs que d'essieux moteurs.

Cette grande division de la puissance motrice a certains avantages, mais elle a aussi de sérieux inconvénients et, suivant les circonstances, on a été conduit à mettre plus particulièrement en évidence les premiers ou les seconds.

Quoi qu'il en soit, on peut être appelé à établir des locomotives électriques de grande puissance dans lesquelles le nombre des moteurs est indépendant du nombre des essieux ; on peut aussi vouloir élever notablement le centre de gravité de l'ensemble de façon à adoucir les réactions transversales sur la voie lors des entrées en courbe, ou de la circulation sur les branchements.

On obtient ce double résultat en plaçant les moteurs assez haut dans l'intérieur de la caisse et en les reliant aux essieux au moyen d'un système de transmission par bielles.

Or, dans les systèmes de transmission par bielles avec ou sans faux-essieu, tels qu'ils ont été appliqués jusqu'à présent, les oscillations de la caisse soit autour d'un axe longitudinal (roulis), soit autour d'un axe transversal (tangage) déterminent dans les bielles et boutons de manivelle des efforts énormes qui ont pour effet de déformer le châssis et souvent de provoquer la rupture des organes de transmission.

Ces systèmes exigent, d'autre part, dans le montage et l'entretien, une précision extrême, très supérieure à celle d'usage courant dans la construction des locomotives à vapeur, faute de quoi on aggrave encore les chances de rupture de bielles et boutons de manivelle et les dislocations du châssis.

Dans tous les cas, les transmissions par bielles actuellement utilisées sur les locomotives électriques manquent totalement de souplesse, contrairement à ce qui a lieu sur les locomotives à vapeur, car il ne se trouve entre les moteurs et les essieux aucun organe réellement élastique, capable de limiter les efforts sur les pièces de la transmission et susceptible en même temps d'amortir les oscillations qui ont parfois tendance à se produire sur les locomotives électriques à bielles à certaines vitesses critiques.

En raison des inconvénients ci-dessus exposés, nous avons été conduits à étudier un système de transmission par bielles, basé sur un principe nouveau, et dans lequel les oscillations de la locomotive quelles qu'en soient la cause et l'amplitude, ainsi que les défauts de montage de grandeur usuelle, n'auraient aucun effet nuisible sur le mécanisme.

Le nouveau système de transmission dont la description fait l'objet de la présente note, a été conçu en partant des considérations ci-après :

1° On peut tout d'abord admettre comme étant parfaitement établi et hors de toute contestation que le mode de *liaison des roues motrices entre elles* au moyen de bielles à mouvement circulaire, tel qu'il est établi aujourd'hui dans les locomotives à vapeur, est d'un fonctionnement très satisfaisant, pourvu qu'on laisse aux boîtes à huile un jeu suffisant dans leurs guides comme cela est de pratique courante.

2° La transformation du mouvement alternatif des pistons en mouvement circulaire continu sur les boutons de manivelles des essieux moteurs, à l'aide de bielles oscillantes, est, malgré ses défauts apparents, d'un excellent rendement et d'un fonctionnement absolument sûr.

Elle ne donne jamais lieu à des efforts exagérés soit sur les boutons de manivelle, soit sur les bielles elles-mêmes, car l'effort appliqué sur la crosse étant, si on néglige les effets de l'inertie et des frottements, déterminé par la pression de la vapeur dans le cylindre correspondant, ne peut croître brusquement et n'est pas affecté par les oscillations de la locomotive ou des essieux moteurs.

On a quelquefois reproché aux bielles motrices de provoquer des mouvements de lacets et de galop, mais tout au moins dans les machines modernes, cet effet est tout à fait négligeable.

Leur seul inconvénient est de déterminer, à cause de leur obliquité, des variations de pression périodiques des roues motrices principales sur les rails, mais si les bielles sont suffisamment longues, ces variations de pression peuvent être maintenues dans des limites assez étroites et n'ont dès lors aucune conséquence nuisible.

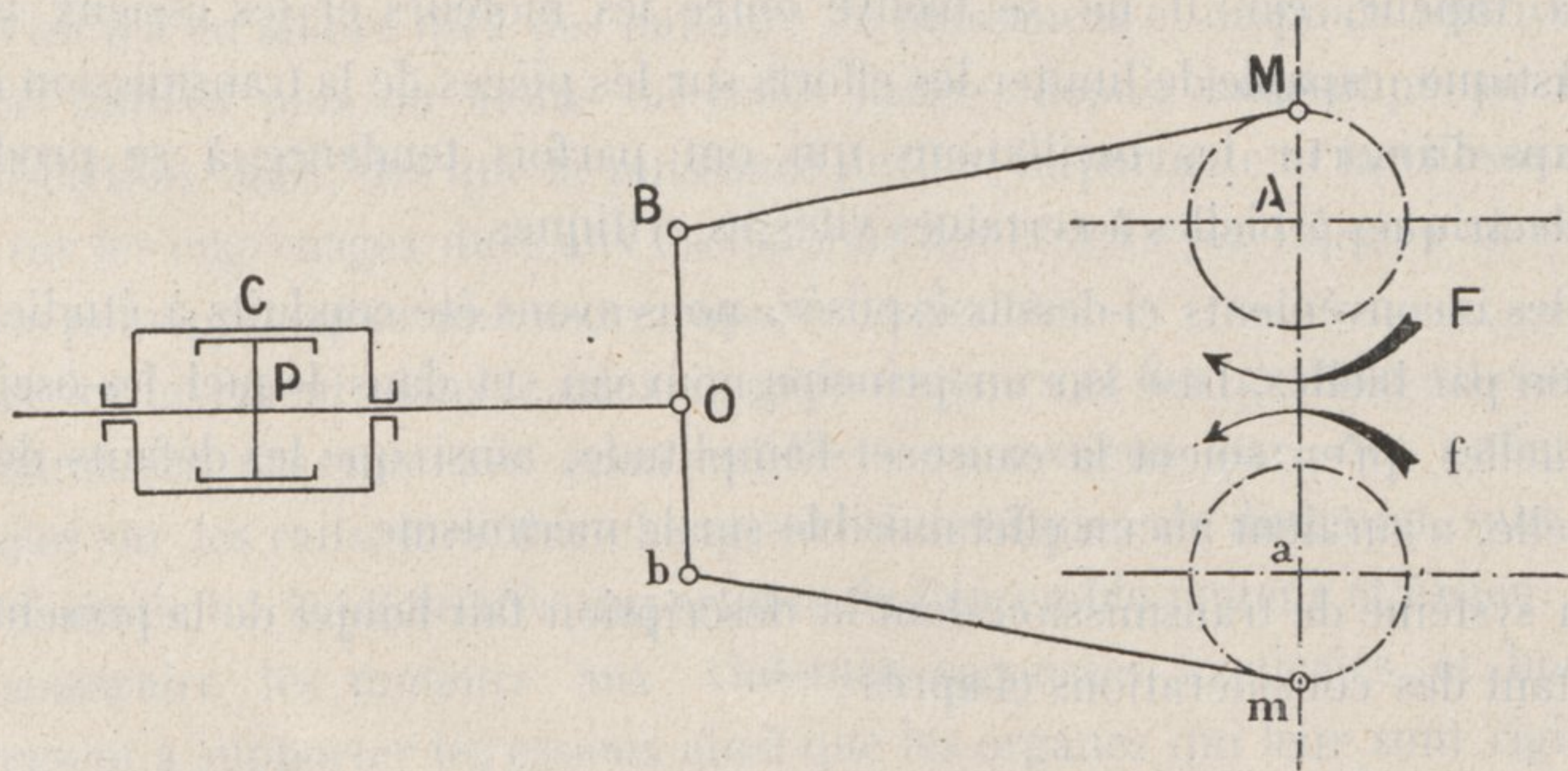
En résumé, les qualités éprouvées du système de transmission de mouvement employé dans les locomotives à vapeur, sont dues principalement à ce que la vapeur exerce d'une façon parfaitement élastique son effort sur les pistons, de sorte que cet effort ne peut subir de variations importantes pour de petits déplacements des organes de la transmission, quelle que soit d'ailleurs la cause de ces déplacements.

Dans le nouveau système de transmission, nous sommes parvenus à réaliser les mêmes conditions d'élasticité et de souplesse que dans les locomotives à vapeur, de la façon suivante :

Nous admettrons tout d'abord que chaque locomotive comporte un ou deux arbres moteurs principaux, qui peuvent d'ailleurs être constitués par les axes mêmes des moteurs dans le cas où il n'est pas fait usage d'une réduction par engrenage.

Chaque arbre moteur principal A (Fig. 1) est muni de deux manivelles M calées à 90° l'une par rapport à l'autre et la liaison entre chacune de ces manivelles M et la manivelle

Fig. 1.



correspondante m de l'essieu moteur commandé a est faite au moyen de bielles oscillantes à mouvements inverses, agissant respectivement sur les extrémités d'un balancier Bb dont l'axe d'oscillation O au lieu d'être fixe est susceptible de se déplacer de part et d'autre de sa position moyenne.

Cet axe d'oscillation O est placé sur la crosse d'un piston P qui peut se mouvoir à l'intérieur d'un cylindre C rempli d'air comprimé.

Ainsi qu'il sera expliqué en détail plus loin, le cylindre C est en communication avec un réservoir d'air comprimé au moyen d'un distributeur non représenté sur la Figure 1, commandé par la crosse du piston ; les choses sont disposées de telle sorte que lorsque le piston est écarté de sa position moyenne dans le cylindre, la pression de l'air augmente sur l'une de ses faces, tandis qu'elle diminue sur l'autre face.

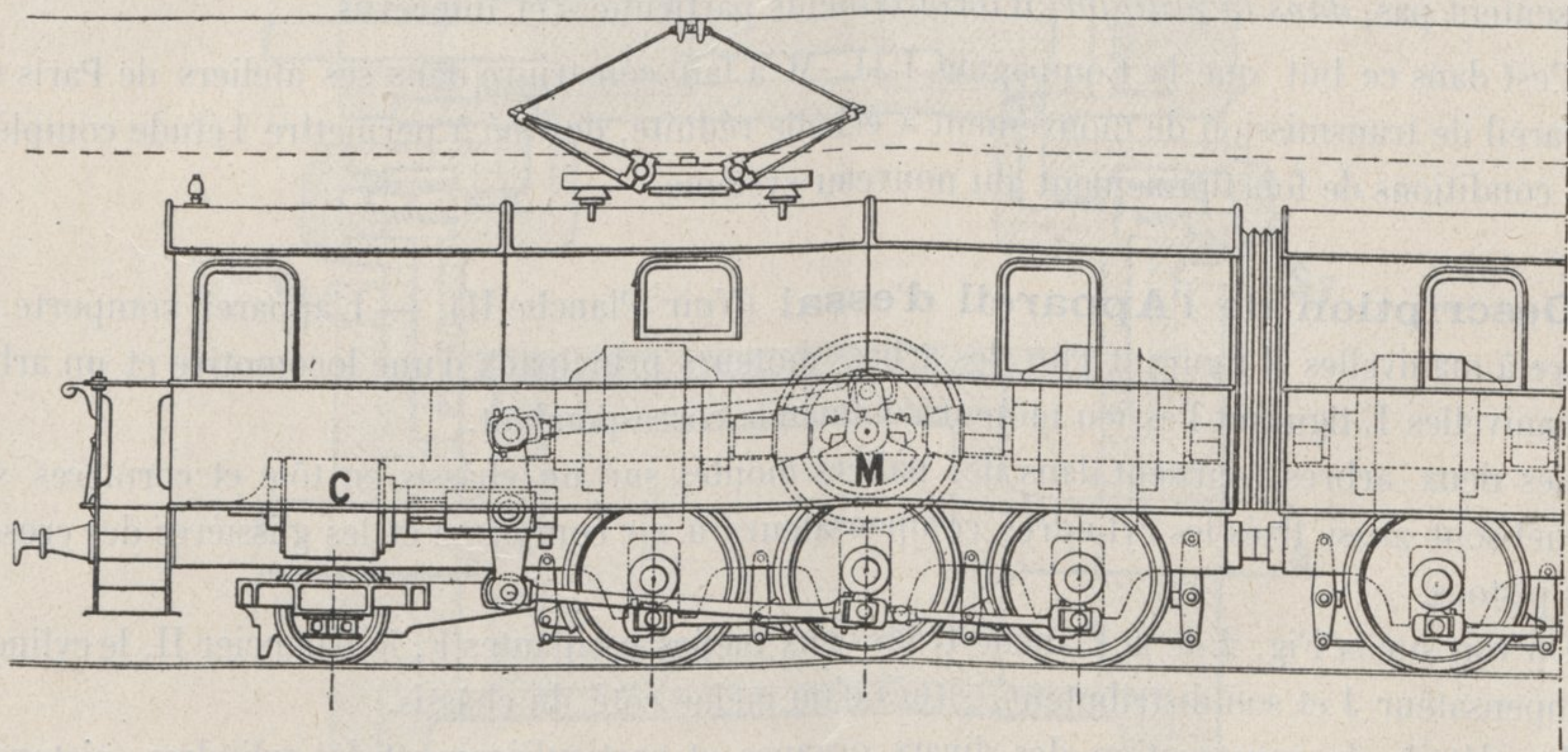
Le piston tend donc à être ramené dans sa position moyenne avec une force d'autant plus grande que l'écart est plus grand, et très rapidement croissante avec cet écart.

Ceci posé, on comprend que si on fait tourner l'arbre moteur A dans le sens de la flèche F , par exemple, on exercera sur la bielle MB , des efforts alternatifs qui se transmettront par l'intermédiaire du balancier Bb à la bielle oscillante mb qui, de son côté, forcera l'essieu a à tourner dans le sens de la flèche f . Le point O , au lieu de rester fixe, se déplacera de part et d'autre de sa position moyenne sous l'effet de la résultante des composantes horizontales des efforts exercés par les bielles MB et mb et comme il a été dit précédemment, ce déplacement toujours assez petit si les proportions des organes du mécanisme ont été judicieusement calculées, sera fonction de cette résultante.

On voit également que les positions angulaires simultanées des manivelles de l'essieu a et de l'arbre moteur A seront, par suite de ce déplacement, décalées l'une par rapport à l'autre, soit en arrière, soit en avant, suivant que la machine fonctionne comme motrice en tirant le train, ou comme génératrice en retenant le train.

La Figure 2 montre, à titre d'exemple, une application du nouveau système de transmission à une locomotive électrique d'une puissance normale unihoraire de 2.000 chevaux, constituée

Fig. 2.



par deux trucks symétriques montés chacun sur trois essieux moteurs de $1^m,500$ de diamètre et un bissel.

Chaque truck comporte un axe moteur principal M , parallèle aux essieux et commandé par deux moteurs à courant continu de 500 chevaux dont les axes de rotation sont disposés

longitudinalement, de sorte que la liaison entre les moteurs et l'axe moteur principal est faite au moyen d'engrenages coniques.

Dans l'exemple choisi, les moteurs ont été placés longitudinalement afin d'éviter toute limitation gênante dans le dimensionnement des inducteurs, des induits, des collecteurs et des paliers, et d'annuler l'effet gyroscopique aux grandes vitesses, mais il est clair qu'on pourrait aussi disposer les moteurs parallèlement à l'axe principal M.

La Figure 2 montre les positions respectives des bielles motrices supérieure et inférieure ainsi que du balancier qui les réunit ; le cylindre C qui sert à fournir l'effort qui tend à ramener dans sa position moyenne le centre d'oscillation du balancier, aurait dans le cas particulier examiné, 65 cm de diamètre et serait alimenté avec de l'air à la pression de 8 kg.

Le déplacement maximum du piston de part et d'autre de sa position moyenne serait égal à 10 cm ; cette amplitude ne serait atteinte d'ailleurs que lorsque la locomotive exercerait son effort maximum ; il serait en marche normale beaucoup plus faible.

On voit que les essieux pourraient osciller exactement comme dans une locomotive à vapeur, lors du passage sur les dénivellations de la voie, sans qu'il en résulte aucun effort anormal pour le mécanisme.

Tous les déplacements relatifs des pièces du mécanisme résultant de ces dénivellations auraient pour effet un léger mouvement des pistons dans les cylindres et seraient compensés par ce mouvement sans variation appréciable des efforts sur les bielles ou les boutons de manivelles.

On voit, par tout ce qui précède, que, *théoriquement*, le nouveau système de transmission de mouvement par bielles avec compensation pneumatique, est exempt des inconvénients que présentent à des degrés divers la plupart des transmissions par bielles, actuellement appliquées sur les locomotives électriques.

Il restait à démontrer que les combinaisons cinématiques sur lesquelles il repose, ne présentent pas, *dans la pratique*, d'inconvénients particuliers et imprévus.

C'est dans ce but que la Compagnie P.-L.-M a fait construire dans ses ateliers de Paris un appareil de transmission de mouvement à échelle réduite, destiné à permettre l'étude complète des conditions de fonctionnement du nouveau système.

Description de l'Appareil d'essai (Voir Planche II). — L'appareil comporte un arbre à manivelles M figurant l'un des arbres moteurs principaux d'une locomotive et un arbre à manivelles E figurant l'essieu moteur commandé correspondant.

Ces deux arbres tournent dans des paliers montés sur un châssis en tôle et cornières sur lequel sont aussi fixés les cylindres compensateurs à air comprimé et les glissières des crosses des pistons.

On voit sur la Fig. 2 de la Planche II les deux bielles oscillantes F, le balancier H, le cylindre compensateur J et son distributeur, situés d'un même côté du châssis.

Les détails de construction des divers organes et particulièrement des cylindres, pistons et distributeurs sont visibles sur les Figures 3 et 5 de la Planche II.

Les Figures 3 et 4 ci-contre montrent schématiquement la disposition du cylindre à air comprimé avec son piston, son distributeur, ses soupapes de retenue et les conduits d'air.

Le distributeur K est relié par un système de biellettes et un petit balancier à la crosse du

piston P de manière à avoir un mouvement exactement inverse de celui du piston (voir les Figures 2 et 5 de la Plaque II). Quand le piston est au milieu du cylindre, le distributeur est

Fig. 3.

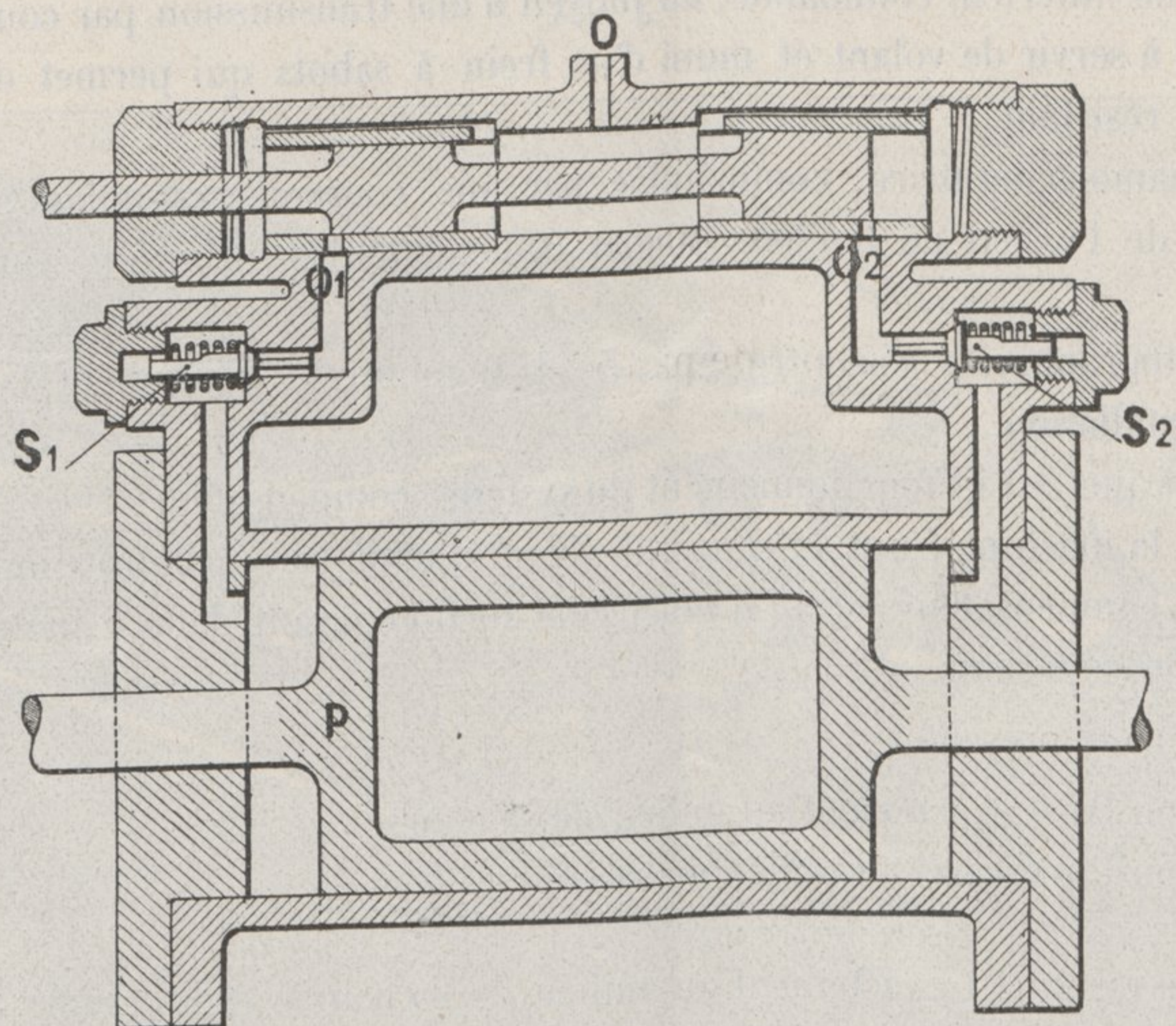
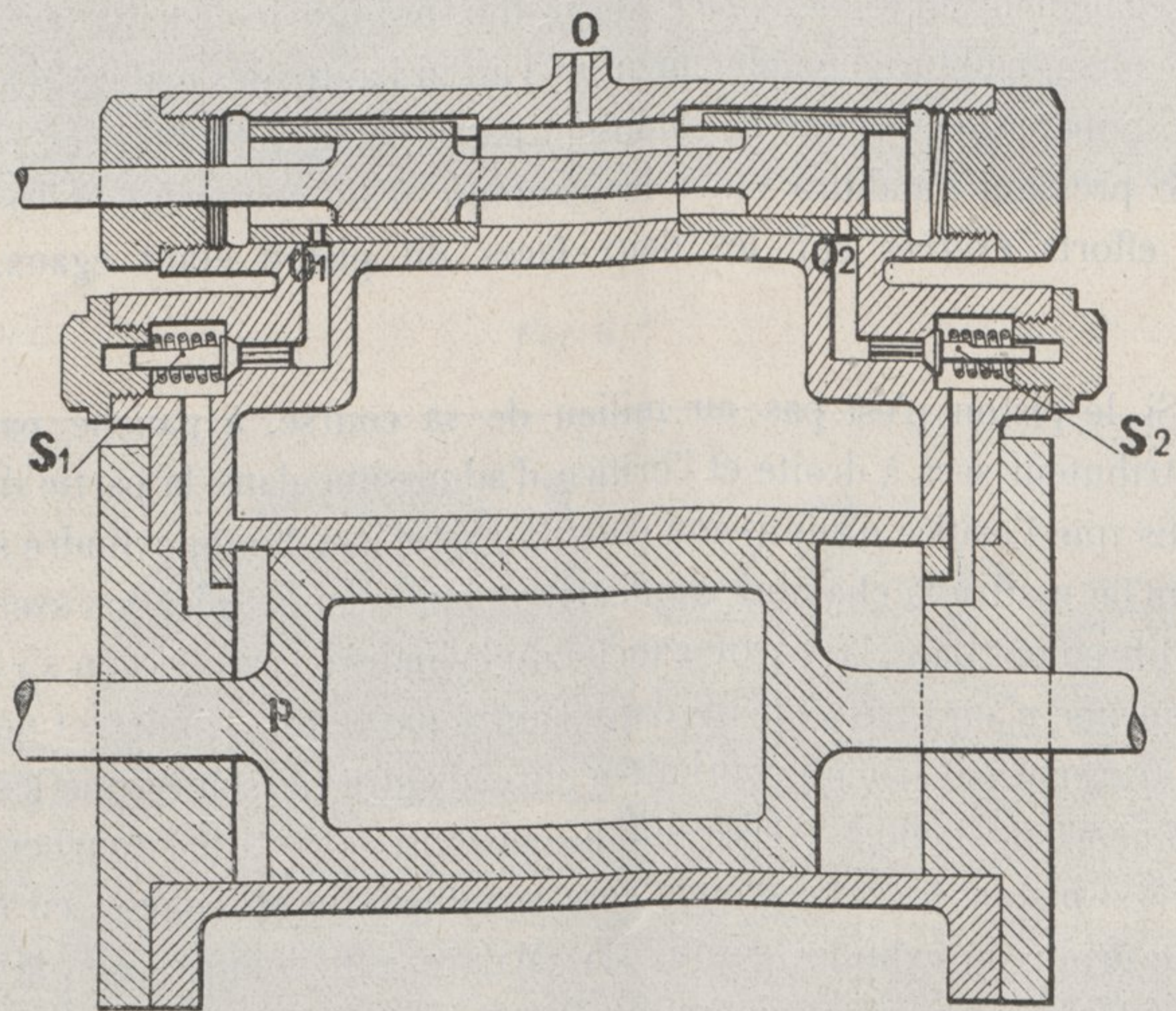


Fig. 4.



aussi au milieu de sa course et obture presque complètement à la fois les deux orifices d'admission de O_1 et O_2 .

Enfin, les soupapes de retenue S_1 et S_2 sont disposées sur les conduits d'air reliant les orifices

d'admission aux fonds de cylindre, de manière à permettre l'arrivée de l'air sur les faces du piston mais non son échappement.

L'arbre à manivelles supérieur M est commandé au moyen d'une transmission par courroie, par un moteur électrique à excitation shunt qui figure ici les moteurs d'une locomotive. L'arbre à manivelles inférieur commande, au moyen d'une transmission par courroie, un essieu de tender destiné à servir de volant et muni d'un frein à sabots qui permet de faire varier à volonté le couple résistant.

Enfin, une dynamo-génératrice, commandée par une courroie s'enroulant sur un tambour monté sur l'axe de l'essieu de tender, permet également d'absorber une quantité de travail variable.

Les vues photographiques ci-contre Fig. 5 et 6 montrent clairement la disposition de l'ensemble de l'installation.

Ceci posé, voici quel est le fonctionnement du système compensateur.

Supposons que la machine étant au repos, il n'y ait que de l'air à la pression atmosphérique dans les cylindres compensateurs et qu'il ne circule aucun courant dans le moteur qui actionne l'arbre à manivelles supérieur.

Deux cas peuvent se présenter :

1^{er} cas : Le piston P est exactement au milieu de sa course ;

2^e cas : Le piston P n'est pas au milieu de sa course.

1^{er} Cas. — Si le piston est exactement au milieu de sa course (voir Figure 3), il en sera de même du distributeur, comme nous venons de le voir. Dès qu'on mettra par l'ouverture O la chambre du distributeur en communication avec le réservoir contenant de l'air comprimé, celui-ci arrivera également sur les deux faces du piston, puisque le distributeur étant exactement au milieu de sa course, n'obture complètement ni l'un ni l'autre des orifices d'admission, et que, d'autre part, les soupapes de retenue ne s'opposent pas à l'arrivée de l'air.

L'équilibre de pression s'établira entre le réservoir d'air comprimé et les deux parties du cylindre et les efforts exercés sur les deux faces du piston étant égaux, ce dernier ne bougera pas.

2^e Cas. — Si le piston n'est pas au milieu de sa course, à gauche par exemple (voir Figure 4) le distributeur sera à droite et l'orifice d'admission dans la partie droite du cylindre sera fermé, tandis que l'orifice d'admission dans la partie gauche du cylindre sera ouvert. Il en résulte que dès qu'on mettra la chambre du distributeur en communication avec l'air comprimé, celui-ci arrivera librement dans la partie gauche du cylindre et la pression s'y élèvera aussitôt ; comme l'air comprimé n'aura pas pénétré dans l'autre partie du cylindre et que d'autre part le moteur, n'étant traversé par aucun courant, n'offre d'autre résistance que les frottements, ce moteur sous l'influence de l'effort exercé sur les pistons, se mettra à tourner dans un sens tel que chacun de ces pistons sera repoussé vers le milieu de sa course, en comprimant l'air devant lui (partie droite du cylindre, Figure 4). Malgré cette compression, la pression dans la partie droite du cylindre restera inférieure à celle de la partie gauche, qui, jusqu'à mi-course, était restée en communication avec le réservoir.

En raison de cette circonstance, le piston dépassera très légèrement le milieu de sa course, ce qui aura pour effet de supprimer la communication de la partie gauche du cylindre avec le

réservoir et par contre de faire communiquer celui-ci avec la partie droite, où la pression s'élèvera aussitôt jusqu'à celle du réservoir.

Le mouvement du piston s'arrêtera et pourra même se renverser, après une ou deux légères

Fig. 5.

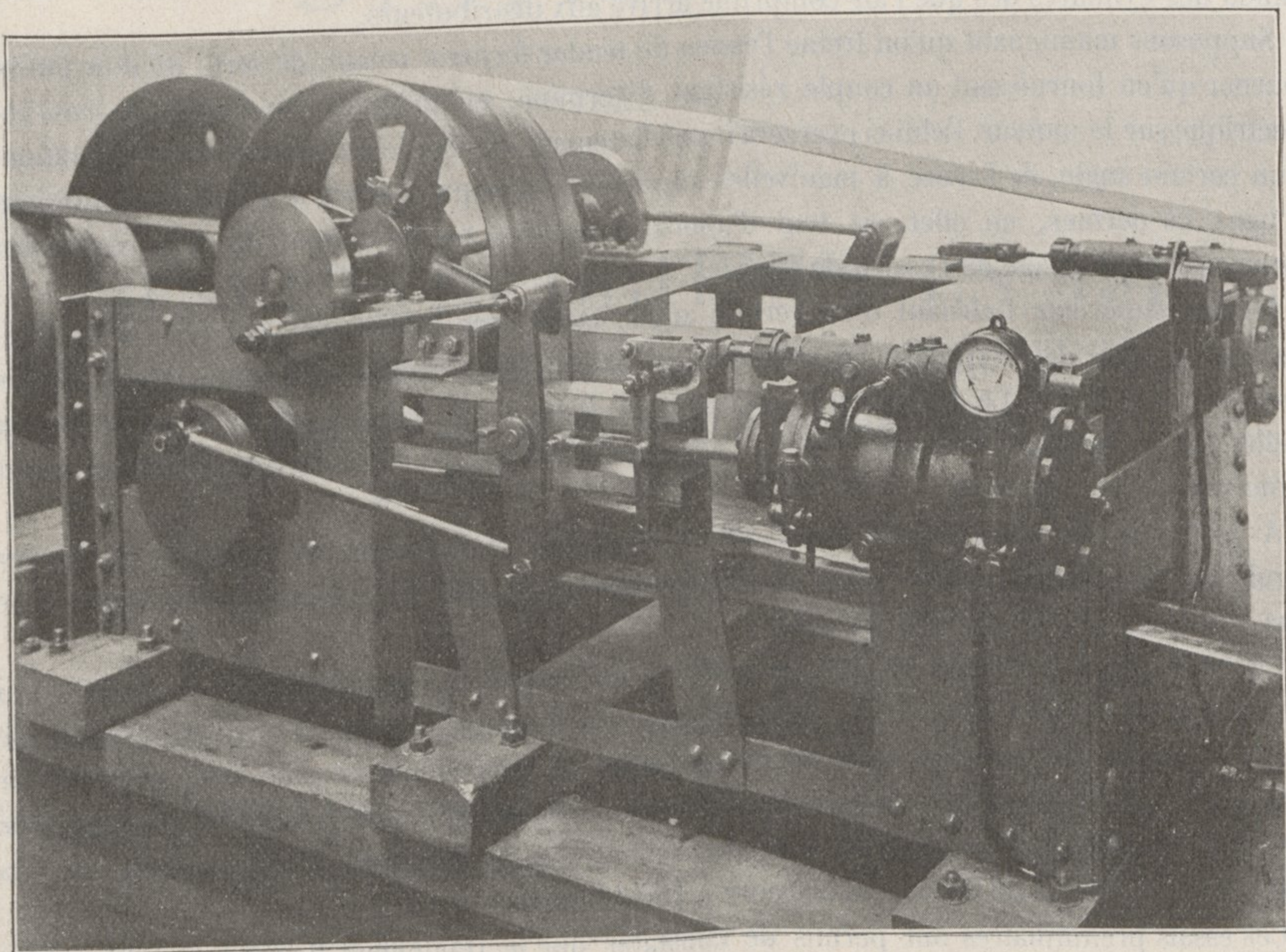
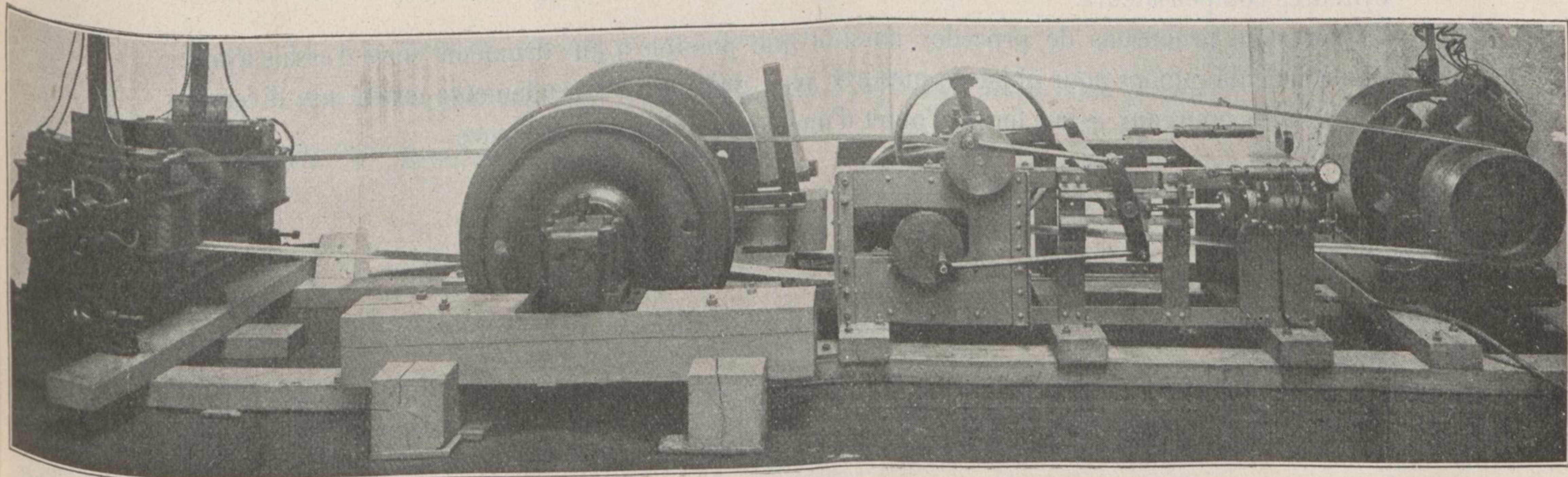


Fig. 6.



oscillations le piston s'arrêtera presque exactement au milieu de sa course, de sorte que tout se retrouvera placé comme dans le n° 1 déjà envisagé.

Il est clair que si, à l'origine, le piston s'était trouvé à droite du milieu de sa course, au lieu d'être à gauche, tout se serait passé d'une manière symétrique et le piston aurait été de même, ramené au milieu du cylindre.

Nous venons de voir que, quelle que soit la position des pistons dans les cylindres compensateurs lorsque l'appareil est au repos, ces pistons se placent automatiquement au milieu des cylindres dès que l'air comprimé arrive aux distributeurs.

Supposons maintenant qu'on freine l'essieu de tender formant volant, de sorte qu'il ne puisse tourner qu'en fournissant un couple résistant déterminé, et qu'ensuite on admette le courant électrique sur le moteur. Celui-ci exercera immédiatement un couple qui déterminera la rotation, d'un certain angle, de l'arbre à manivelles supérieur, sans que l'arbre à manivelles inférieur bouge ; ce dernier, en effet, est tout d'abord immobilisé par le couple dû aux résistances passives et au freinage de l'essieu de tender.

L'arbre supérieur tournant d'un certain angle, tandis que l'arbre inférieur reste immobile, les pistons se déplaceront dans les cylindres et la pression croîtra d'un côté, tandis qu'elle diminuera de l'autre. Ce déplacement augmentera jusqu'à ce que les efforts exercés par les bielles sur les boutons des manivelles de l'arbre inférieur déterminent un couple suffisant pour vaincre le couple résistant.

A partir de ce moment, les deux arbres supérieur et inférieur se mettront à tourner régulièrement, tandis que les pistons oscilleront légèrement dans les cylindres compensateurs de part et d'autre de leur position moyenne.

L'appareil représenté par les photographies a été soumis à une première série d'essais qui ont permis de vérifier l'exactitude des principes sur lesquels est basé le nouveau système de transmission et de constater que la transmission de mouvement se fait avec une douceur parfaite depuis le démarrage jusqu'aux plus grandes vitesses qu'il a été possible d'atteindre avec l'installation d'essai et qui, compte tenu des dimensions de l'appareil, correspondrait dans la réalité, à une vitesse de marche supérieure à 150 kilomètres à l'heure.

Ces essais préliminaires ont permis de constater que le rendement de l'appareil devait être très élevé, ce qu'il était facile de déduire de ce fait qu'après une marche prolongée, il n'y avait d'élévation appréciable de température en aucun point du mécanisme, en particulier dans les cylindres compensateurs.

Nous nous proposons de procéder aussitôt que possible à une deuxième série d'essais ayant plus particulièrement pour objet de mesurer avec précision les rendements exacts aux diverses allures ; ces nouveaux essais feront l'objet d'une communication ultérieure.

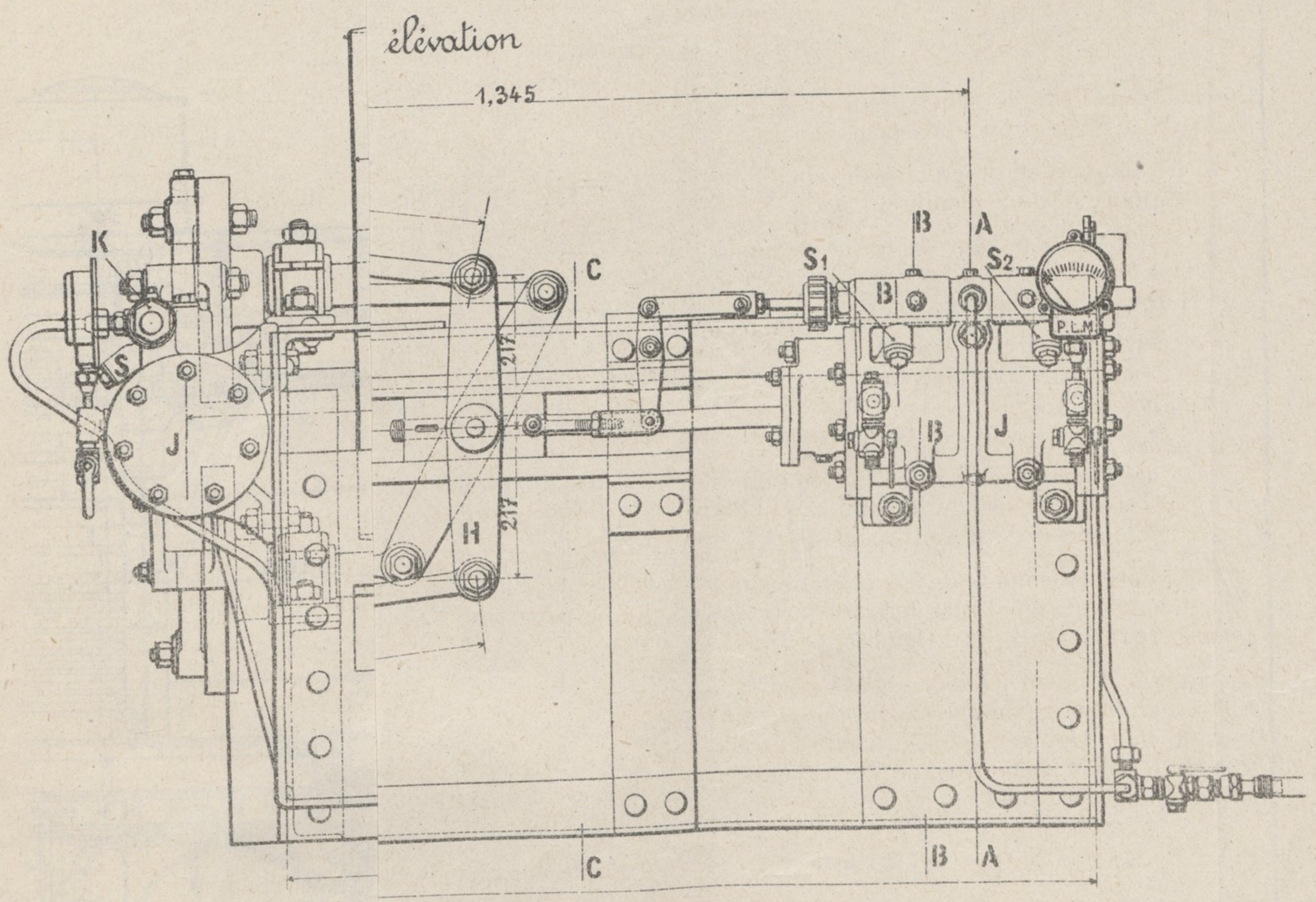


Fig. 5
 1/2 Coupe *ndre à air* Coupe par: DDDDD

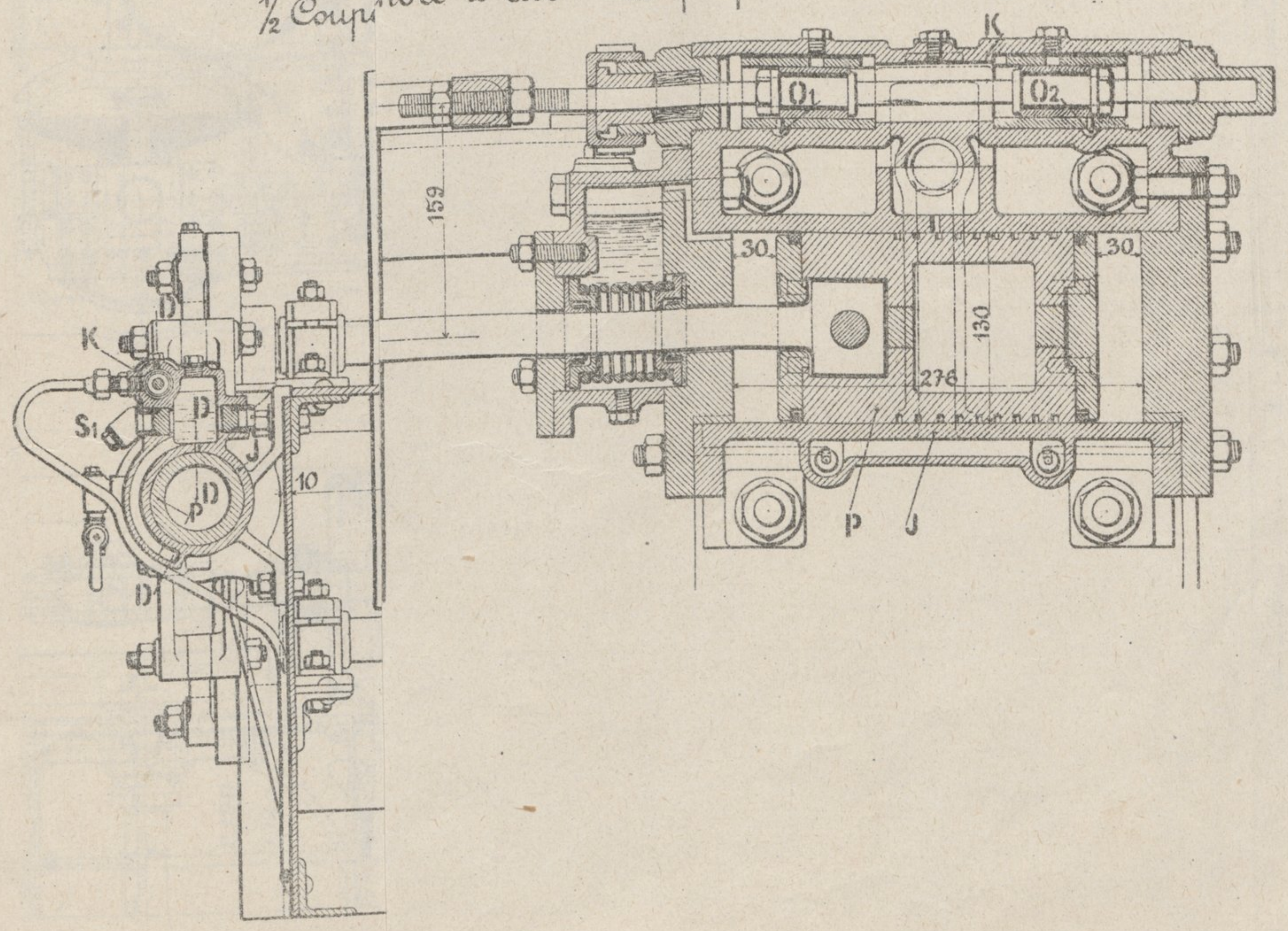


Fig. 2
Vue en élévation

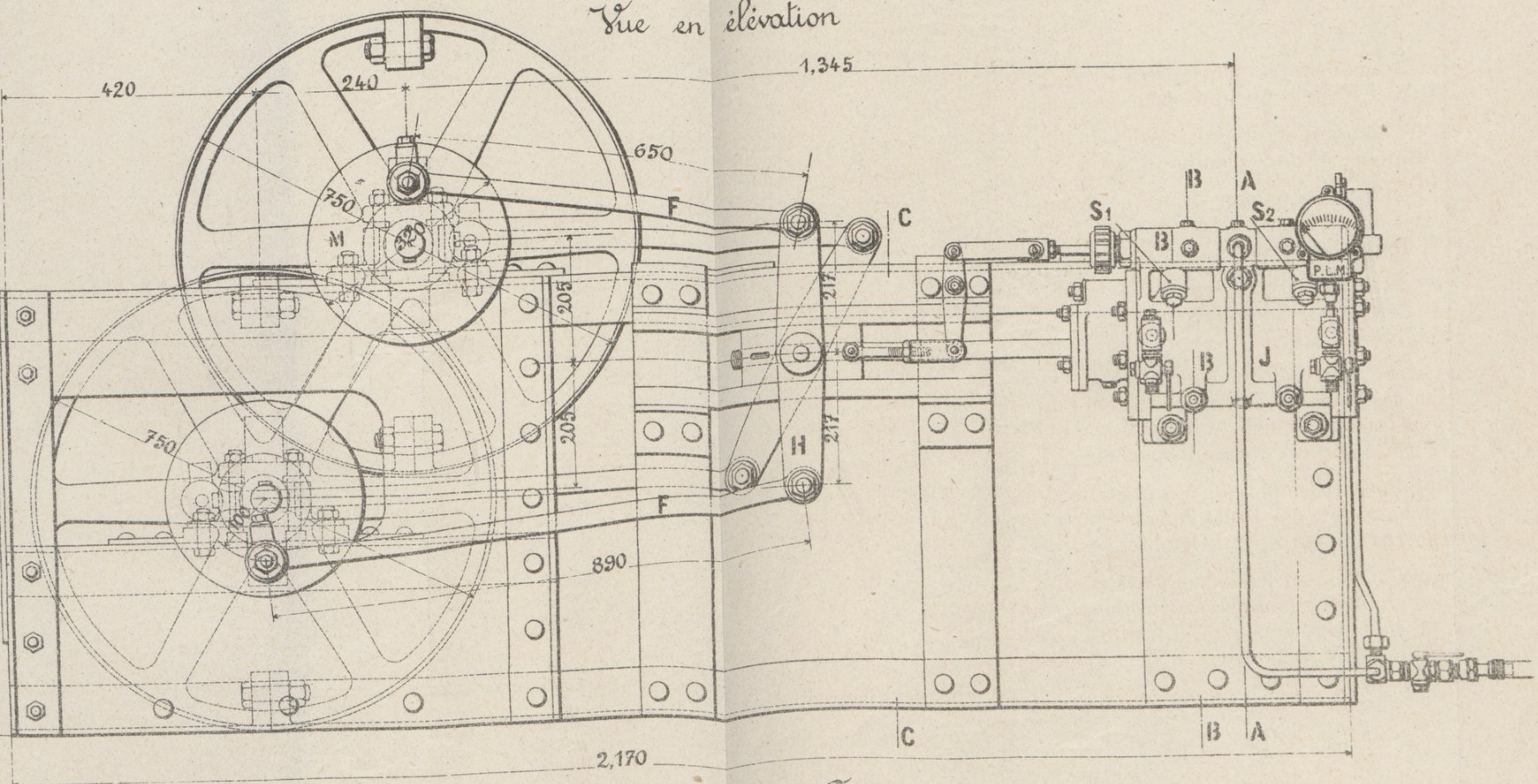


Fig. 4
1/2 Coupe par: CC

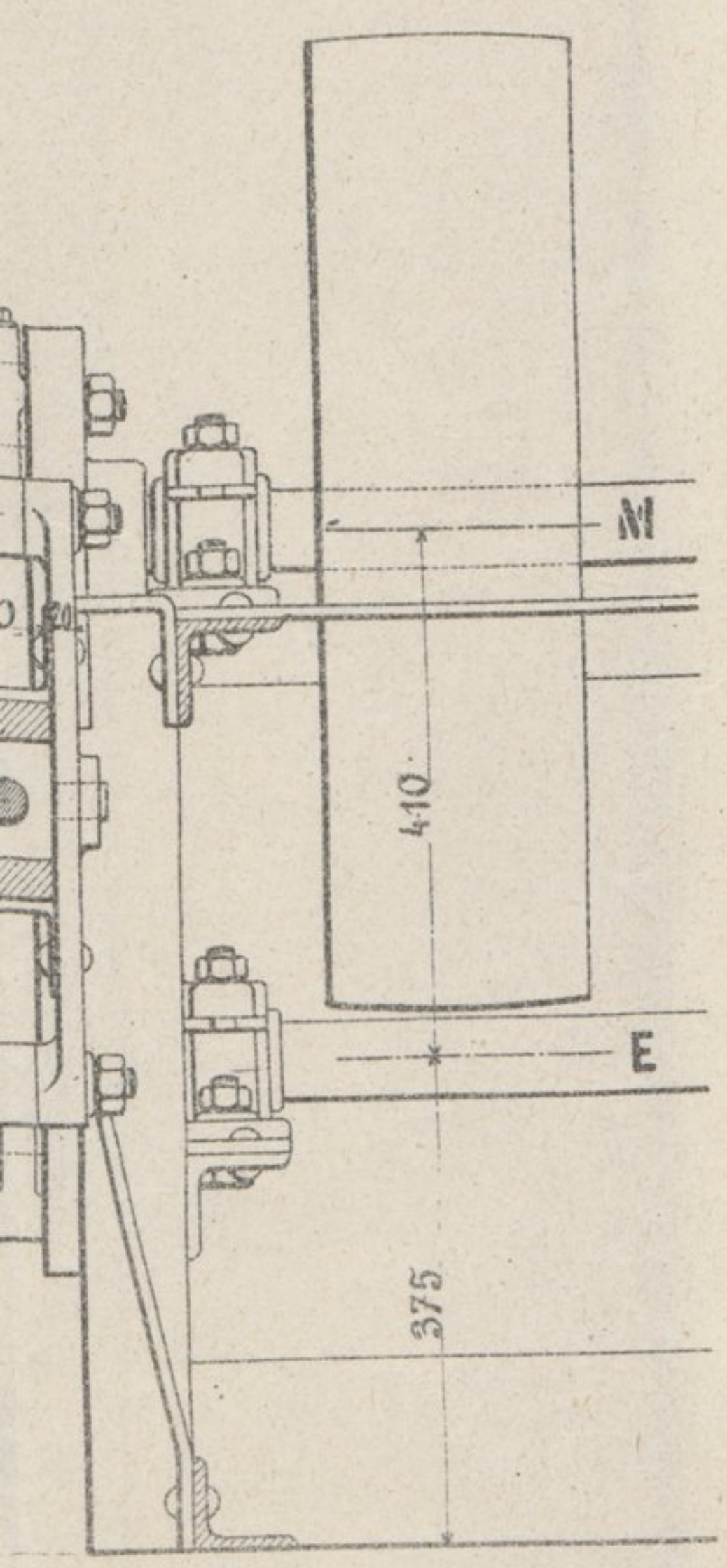


Fig. 5
Cylindre à air Coupe par: DDDD

