

BULLETIN

DU

CONGRÈS INTERNATIONAL DES CHEMINS DE FER

[623.245]

NOTE

SUR LE WAGON DYNAMOMÈTRE DU CHEMIN DE FER DE L'ÉTAT BELGE,

Par A. HUBERTI,

INSPECTEUR DE DIRECTION AU CHEMIN DE FER DE L'ÉTAT BELGE,
PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE BRUXELLES

et J. DOYEN,

INGÉNIEUR PRINCIPAL AU CHEMIN DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

Fig. 1 à 28, p. 2536 à 2570.

Le wagon dont la description fait l'objet de la présente note a eu pour point de départ le remarquable wagon dynamomètre de la Compagnie de Paris-Orléans décrit par M. Huet, ingénieur de cette compagnie, dans le numéro de mars 1903 de la *Revue générale des chemins de fer*.

Notre étude a été grandement facilitée par l'obligeance des ingénieurs de la Compagnie d'Orléans, qui ont mis gracieusement à notre disposition non seulement les plans complets de leur wagon, mais encore les résultats de l'expérience qu'ils ont déjà acquise dans son emploi. Nous avons conservé sans modification tout le mécanisme dynamométrique très judicieusement conçu, mais nous avons apporté à l'ensemble de l'installation certaines modifications et plusieurs compléments importants qui justifient, pensons-nous, la description qui suit.

I. — Description du véhicule.

Le type de véhicule à bogies a été choisi à raison de la robustesse et de la douceur de roulement qui le caractérisent. Ces qualités ont paru prépondérantes pour un wagon appelé à rouler dans les trains à marche rapide. Au surplus, ce type laissait plus de latitude pour donner à la caisse de grandes dimensions permettant

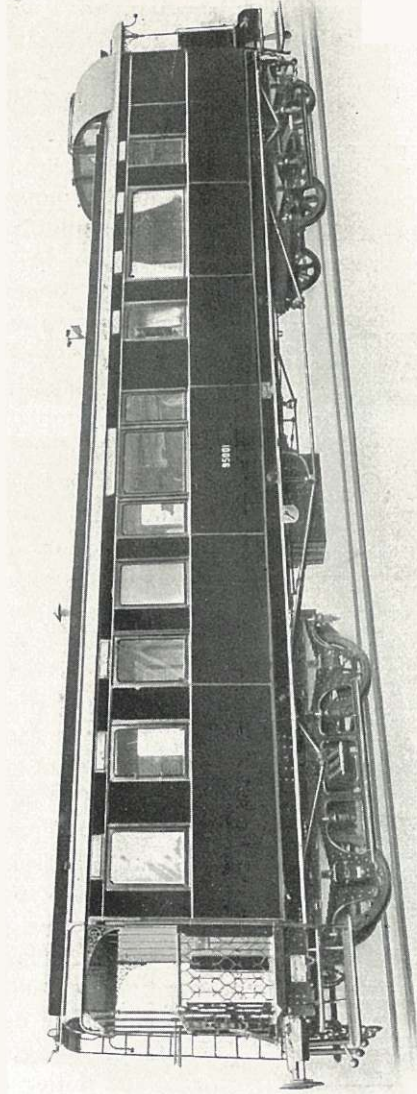


Fig. 2. — Vue extérieure du wagon.

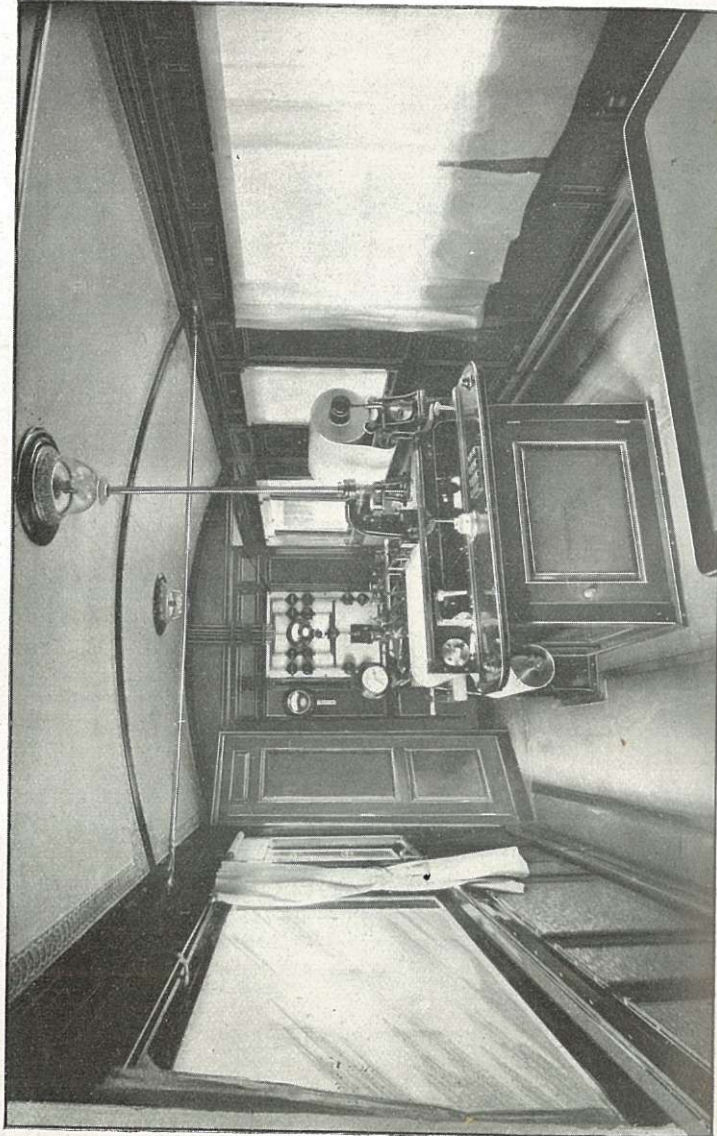


Fig. 3. — Vue intérieure du compartiment d'expériences.

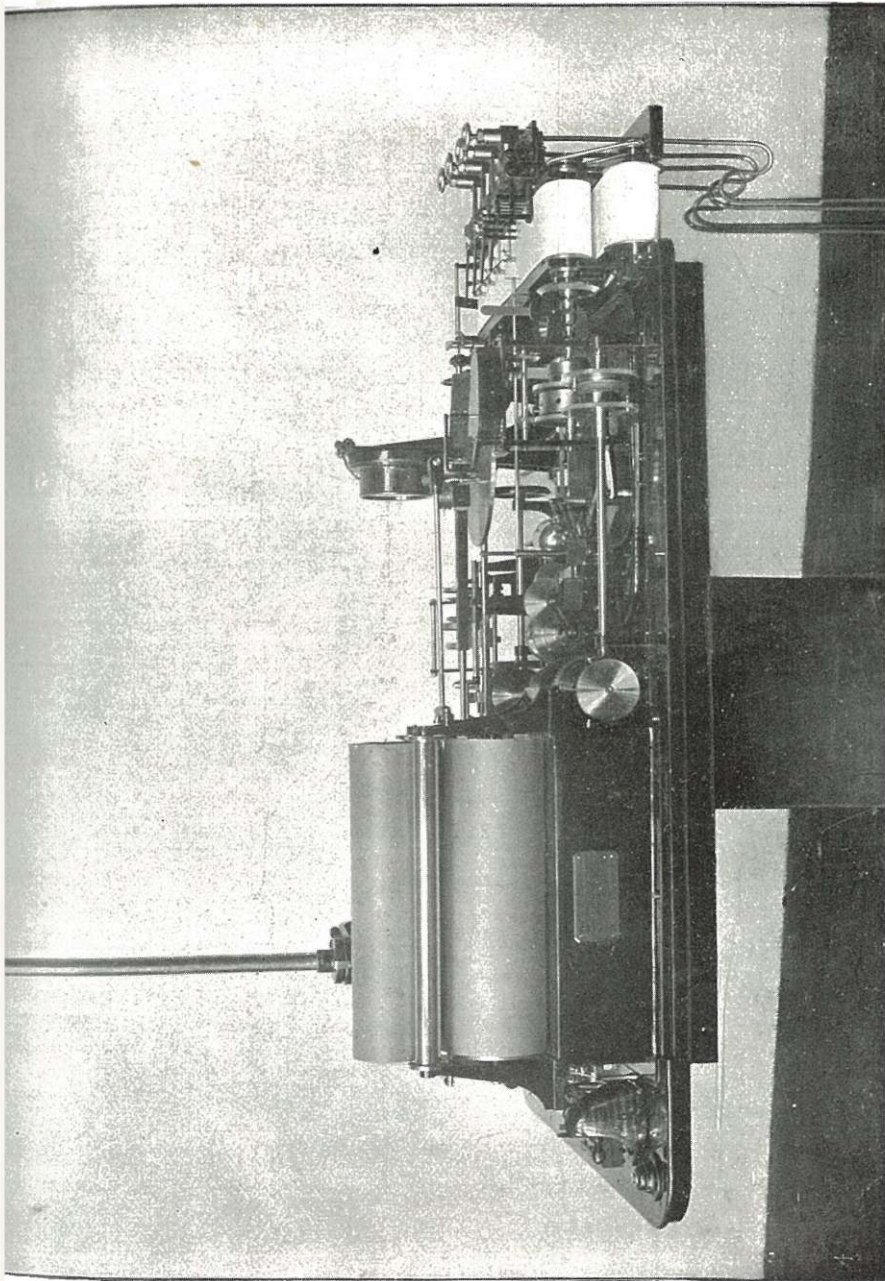


Fig. 4. — Vue de la table des appareils.

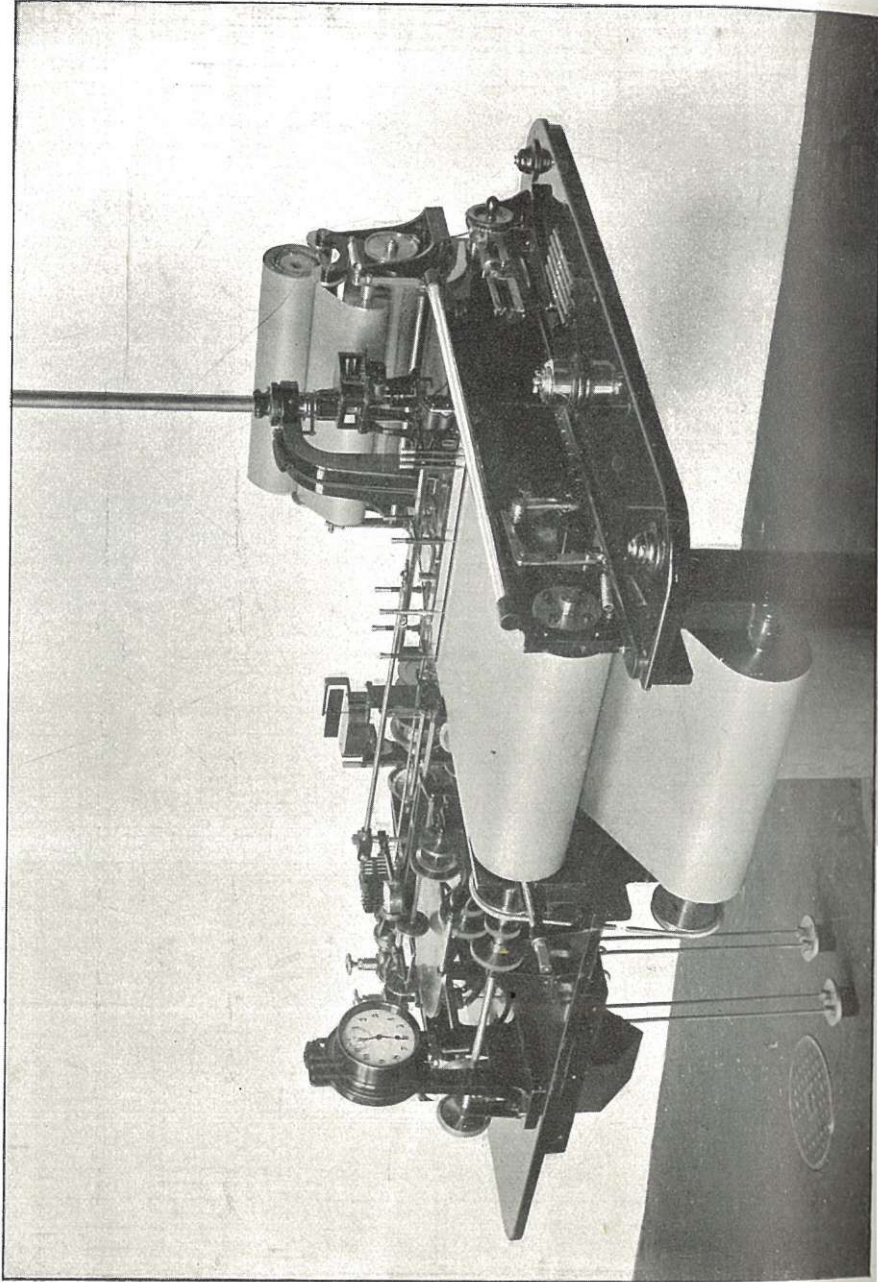


Fig. 5. — Vue de la table des appareils.

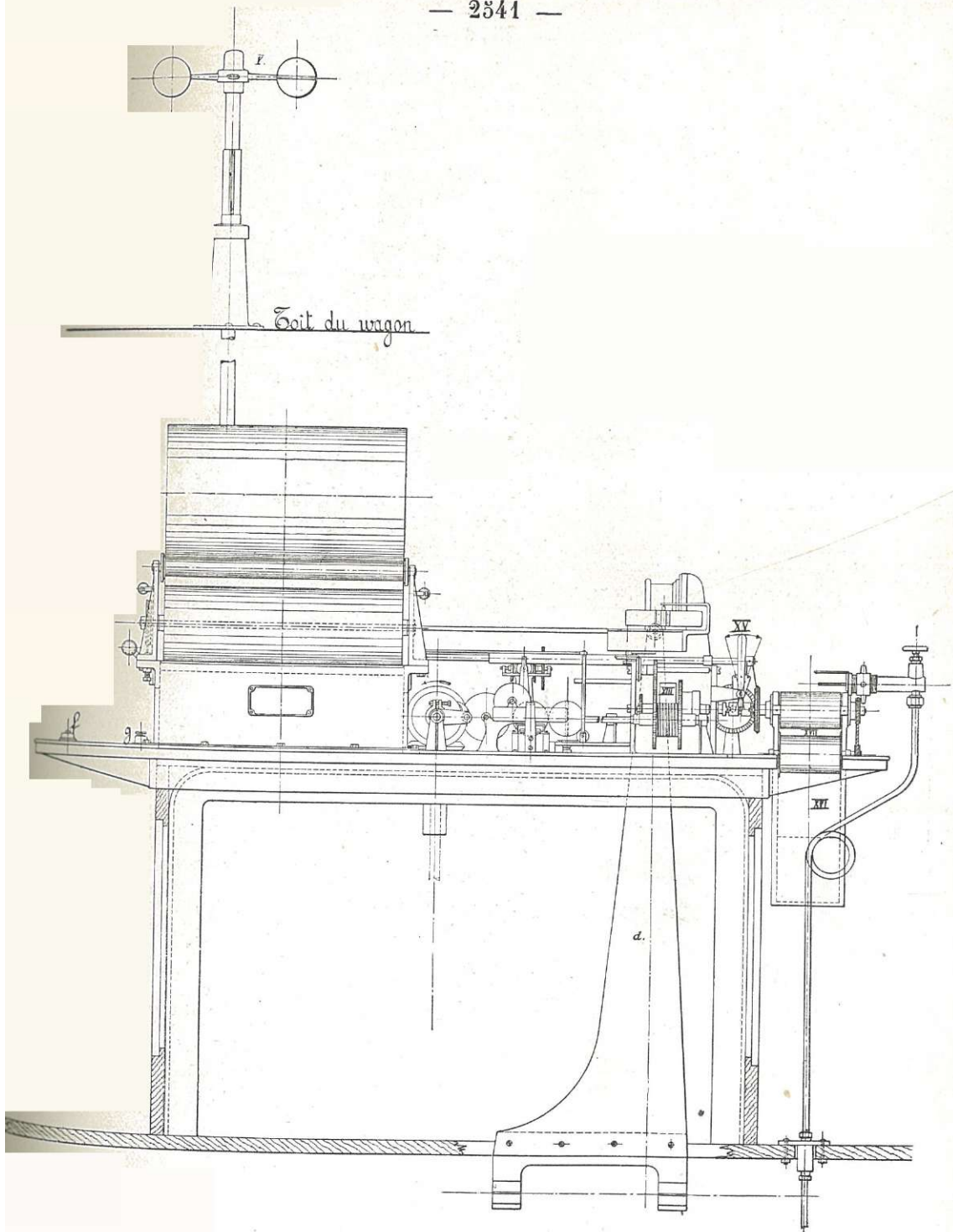


Fig. 6. — Élévation longitudinale de la table des appareils.

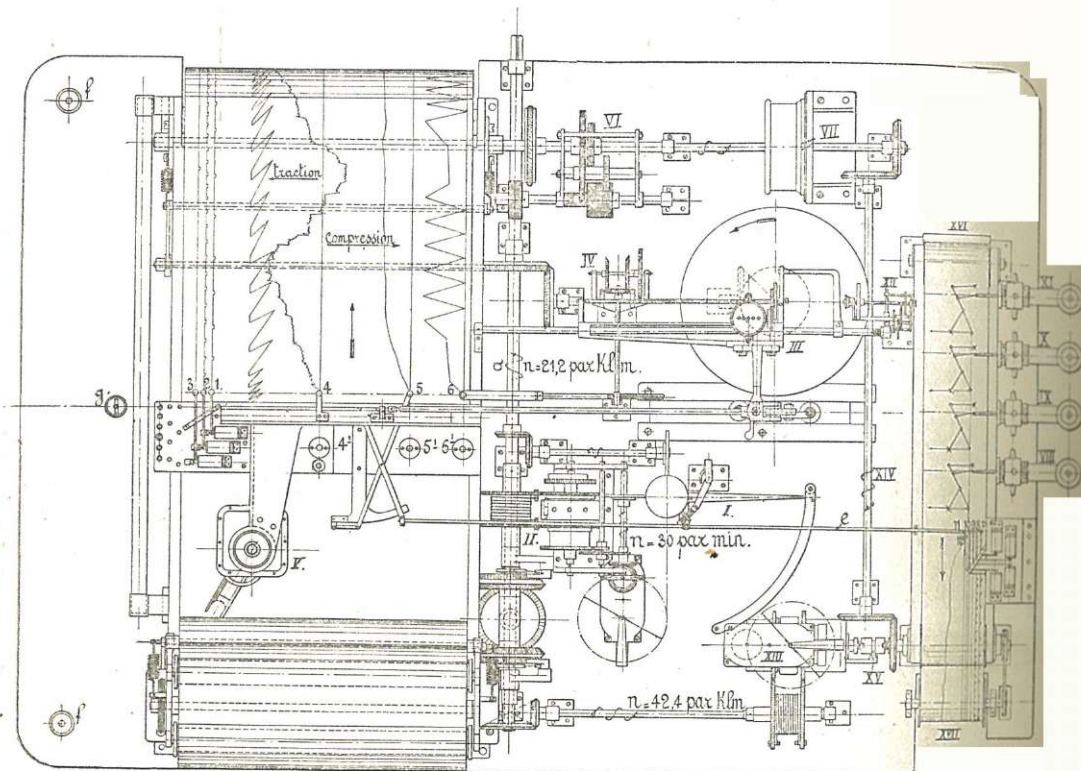


Fig. 7. — Plan de la table des appareils.

LÉGENDE DES FIGURES 6, 7 ET 8.

Appareil Amsler.

- I . . . = Indicateur de vitesse.
- II . . . = Mécanisme moteur du galet à vitesse constante.
- III . . } = Totalisateur du travail.
- IV . . }
- V . . . = Anémomètre.
- VI . . . = Mécanisme régulateur de la vitesse du papier (100 ou 300 millimètres par kilomètre).
- VII . . = Horloge à contact électrique.
- a . . . = Arbre horizontal principal.
- bbb . . } = Rouleaux guidant le déroulement du papier et son enroulement après qu'il a reçu les indications des crayons.
- ccc . . }
- d . . . = Bras vertical reliant le crayon des efforts au cadre des ressorts dynamométriques.
- e . . . = Manivelle permettant la mise en marche des appareils lorsque le wagon est en stationnement.
- f . . . = Boutons électriques pour l'inscription des kilomètres et des points de repère.

- g . . . = Commutateur des courants électriques.

Les dix crayons commandés par les appareils inscrivent sur le papier les indications suivantes :

- 1 . . . = Un trait brisé par une coche toutes les minutes.
- 2 . . . = Un trait brisé toutes les six secondes.
- 3 . . . = Un trait brisé chaque fois que l'opérateur touche un des boutons *f*.
- 4 . . . = Les efforts de traction et de poussée.
- 4' . . . = La ligne des zéros de ces efforts.
- 5 . . . = La courbe des vitesses.
- 5' . . . = La ligne des zéros de cette courbe.
- 6 . . . = Le diagramme du travail totalisé.
- 6' . . . = La ligne de base de ce diagramme.

Le 10^e crayon, visible seulement sur la figure 8, trace les indications de l'anémomètre.

Appareil Kapteyn.

- VIII . . = Enregistreur de la pression dans le cylindre à frein.
- IX . . . = Enregistreur de la pression dans la conduite générale.
- X . . . = Enregistreur de la pression des sabots sur les roues (effort normal).
- XI . . . = Enregistreur de l'effort tangentiel développé au contact des roues et des sabots.
- XII . . = Indicateur du chemin parcouru pendant la durée du freinage.
- XIII . . = Mécanisme donnant au papier la vitesse uniforme de 15 millimètres par seconde.
- XIV . . = Arbre raccordant le déroulement du papier au mécanisme régulateur n° VI et permettant de donner au papier Kapteyn l'une des deux vitesses de 50 ou de 300 millimètres par kilomètre.
- XV . . . = Embrayage qui permet de raccorder le déroulement

du papier soit au mécanisme XIII, soit à l'arbre XIV (vitesse : 50 ou 300 millimètres par kilomètre).

- XVI . . } = Organe de déroulement et d'enroulement du papier
- XVII . }

Outre les crayons des enregistreurs VIII, IX, X et XI, six autres crayons inscrivent les indications suivantes :

- 7 . . . = Un trait brisé par une coche toutes les six secondes.
- 8 . . . = Un trait brisé toutes les demi-secondes.
- 9 . . . = Un trait brisé par une coche au commencement du freinage.
- 10 . . . = Un trait brisé par une coche à la fin du freinage.
- 11 . . . = La courbe des vitesses.
- 12 . . . = Une ligne de base.

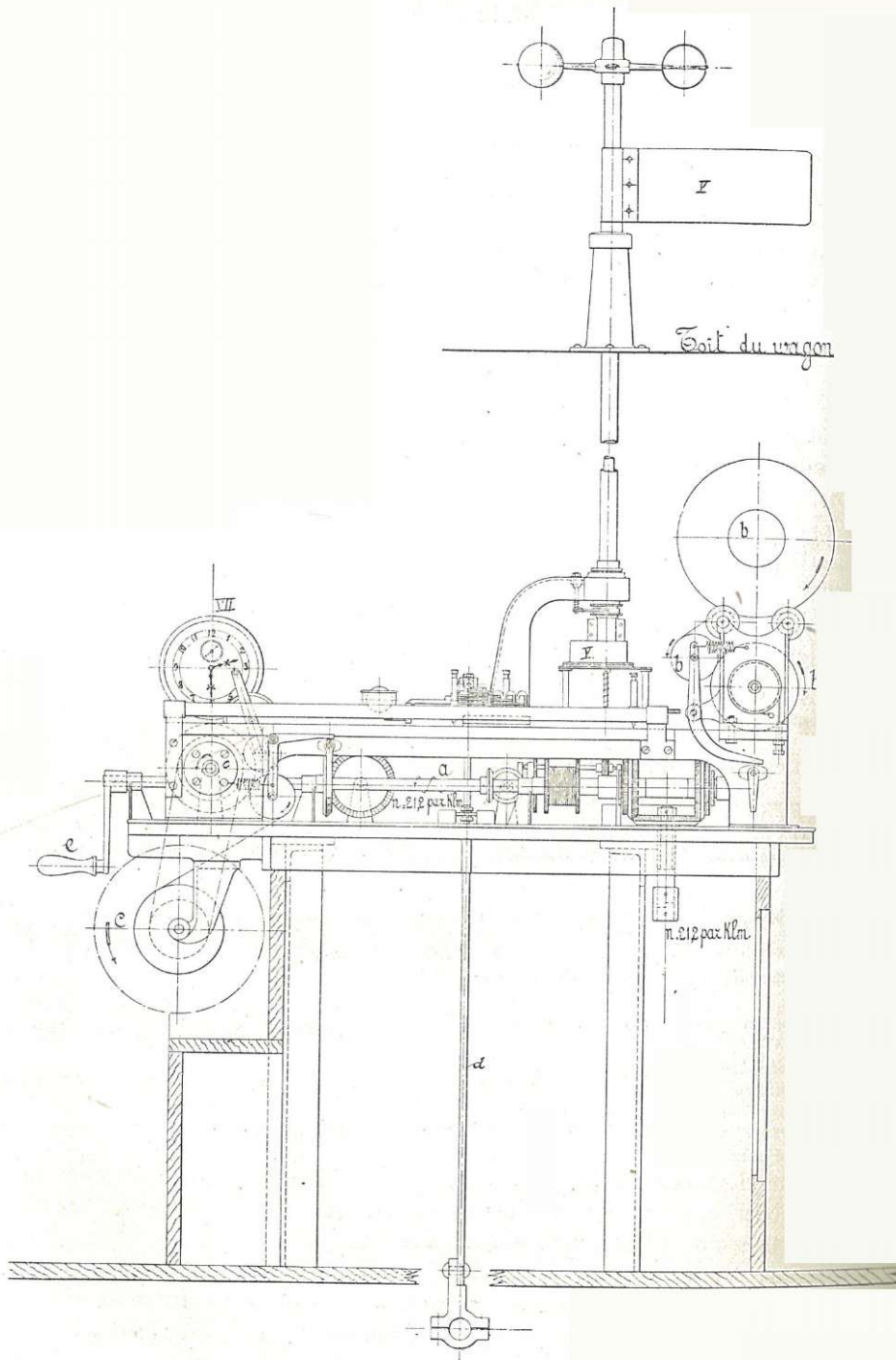


Fig. 8. — Élévation transversale de la table des appareils.

II. — Appareils de mesure et d'exploration.

L'ensemble des appareils installés dans le wagon se divise en quatre groupes :

- A. Les appareils dynamométriques;
- B. Le dynamomètre d'inertie de Desdouits;
- C. Les appareils affectés à l'étude des freins;
- D. Les appareils Sabouret pour l'exploration de la voie.

A. — APPAREILS DYNAMOMÉTRIQUES.

Le mécanisme dynamométrique proprement dit est identique à celui de la Compagnie d'Orléans.

Les appareils enregistreurs et de mesure étudiés et construits par MM. Amsler-Laffon et fils, de Schaffhouse, donnent :

A chaque instant :

- La vitesse du train;
- L'effort au crochet de traction (résistance du train) ou la poussée des buttoirs (différence entre la résistance de la locomotive et celle du train);
- Le travail développé au crochet de traction.

Toutes les trente secondes :

La direction et l'intensité de la résistance de l'air.

Ces données sont fournies :

Par des *indicateurs* : 1° indicateur de vitesse; 2° compteur et totalisateur numérique du travail,

Et par des *enregistreurs* traçant, sur une bande de papier qui se déroule, des courbes représentant : 1° les efforts de traction ou la poussée des buttoirs; 2° la vitesse; 3° le travail; 4° la résistance de l'air.

Les figures 6, 7 et 8 montrent l'ensemble de ces appareils et des enregistreurs Kapteyn montés sur la même table.

1° Mécanisme dynamométrique.

Le mécanisme dynamométrique est combiné de manière à mesurer les efforts de traction au crochet ou les efforts de poussée sur les buttoirs, c'est-à-dire les efforts positifs ou négatifs qui s'exercent sur l'attelage du wagon.

Ce résultat est obtenu comme suit :

Un cadre métallique AA (fig. 9) placé verticalement dans l'axe du véhicule est relié, d'une part, à la barre de traction T, et d'autre part, par l'intermédiaire du

balancier B, aux tiges de buttoir C (pour simplifier le schéma, on s'est borné à représenter les tiges de buttoir par un trait interrompu). Ce cadre est donc sollicité à se déplacer dans un sens ou dans l'autre, suivant qu'il est tiré vers l'avant par la barre de traction ou poussé vers l'arrière par les tiges de buttoir; ses déplacements sont limités, comme on va le voir, par les ressorts dynamométriques.

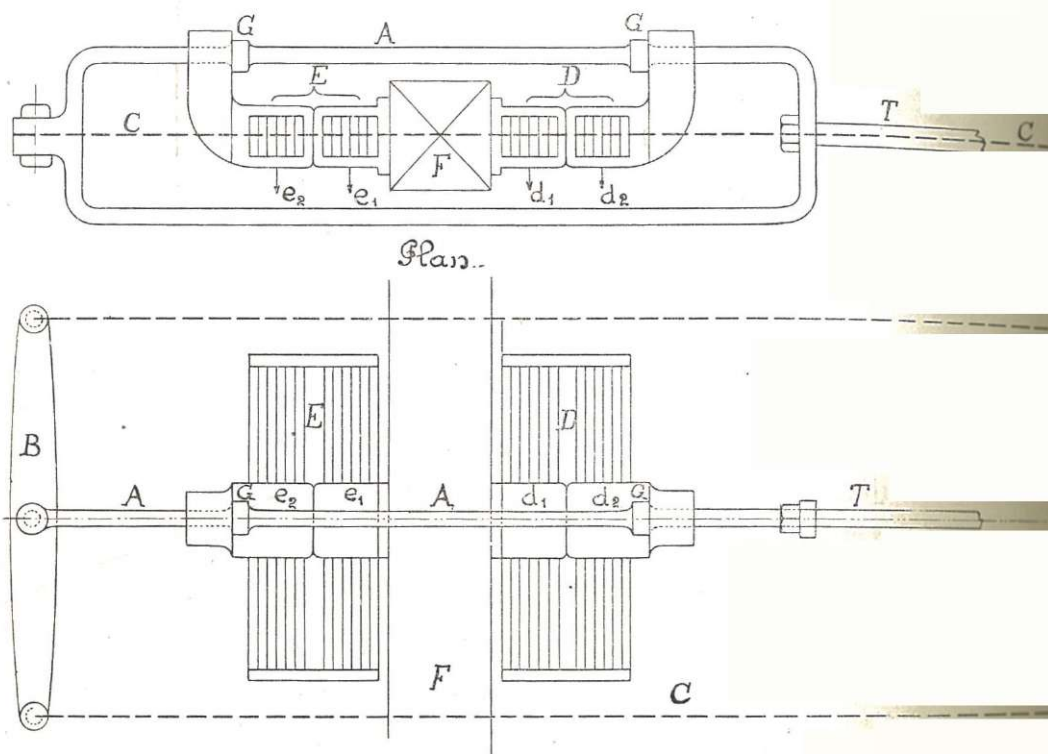


Fig. 9. — Schéma du mécanisme dynamométrique.

Ceux-ci, au nombre de deux, l'un D pour les efforts de traction, l'autre E pour les efforts de poussée, sont formés chacun de deux groupes de feuilles (sept pour la traction, six pour le choc), chaque groupe ayant une bride distincte. Les deux groupes d_1 et e_1 sont fixés à la traverse principale F de la caisse, tandis que les groupes d_2 et e_2 sont reliés au cadre et rendus solidaires des déplacements de celui-ci par les embases GG. Il résulte de ce mode de transmission de l'effort que le mouvement du cadre vers l'avant est sans action sur le ressort de choc et son mouvement vers l'arrière sans action sur le ressort de traction.

Les quatorze feuilles du ressort de traction ainsi que les douze feuilles du ressort de choc sont réunies entre elles par leurs extrémités. Les barres qui les relient sont

disposées de manière à rendre facile le découplément des feuilles, ce qui permet de faire varier la flexibilité du ressort selon l'intensité des efforts à mesurer.

Par suite de ces dispositions tout effort exercé sur la barre de traction fait avancer le cadre vers l'avant, donnant ainsi au ressort une flèche proportionnelle à l'effort à mesurer et inversement, toute poussée sur les buttoirs fait reculer le cadre et fléchir le ressort de choc d'une quantité proportionnelle à l'effort de poussée. Un crayon, relié au cadre par une pièce verticale très rigide, enregistre ces déplacements sur la bande de papier qui se déroule sur la table. Les ordonnées de la courbe ainsi tracée sont donc, à chaque instant, proportionnelles aux efforts de traction ou aux efforts de poussée suivant qu'elles se trouvent au-dessus ou au-dessous de la ligne des zéros.

Les détails de construction de ce mécanisme, étudié par M. Huet, sont décrits par cet ingénieur dans la *Revue générale des chemins de fer* de mars 1903. Nous l'avons emprunté sans aucune modification au wagon du Paris-Orléans. C'est la première fois, à notre connaissance, qu'on réalise dans un wagon dynamomètre la mesure de la poussée qu'exerce sur le train la locomotive à régulateur fermé. Cette heureuse innovation a permis à M. Conte, ingénieur de la Compagnie de Paris-Orléans, de déterminer le travail à la jante des locomotives par la méthode décrite par lui dans la *Revue générale des chemins de fer* de juillet 1904. Le mécanisme dynamométrique combiné par M. Huet réalise encore un autre avantage. Il permet de serrer à fond l'attelage entre le tender et le wagon sans fausser les indications des appareils de mesure. Ce résultat est précieux quand le wagon est placé dans des trains à grande vitesse et n'avait pas encore été obtenu. Il est facile de voir (fig. 9) que quand on serre l'attelage du tender au wagon, l'effort exercé sur la barre de traction T détermine une réaction égale sur les tiges de buttoir et que, par conséquent, le cadre ne se déplace pas; l'ensemble du système se comporte comme un bloc rigide dans lequel n'interviennent pas les ressorts. Par contre, tout effort exercé sur la barre T par une traction de la locomotive n'étant pas équilibré par une réaction sur les buttoirs, le cadre se déplace d'une quantité proportionnelle à cet effort. Les efforts de poussée sur les buttoirs se traduisent de même, mais en sens inverse, par des déplacements du cadre proportionnels à leur intensité.

Les ressorts dynamométriques sont en acier Wolfram : leurs conditions d'établissement sont les suivantes :

Charge maximum supportée en service par chaque lame en son milieu	1,666 kilogrammes.
Flèche d'une lame sous la charge maximum	75 millimètres.
Flexibilité par tonne et charge maximum :	
Avec 14 feuilles	12,85 millimètres et 11,666 kilogrammes.
— 12 —	15 — 10,000 —
— 10 —	18 — 8,333 —
— 8 —	22 — 6,666 —
— 6 —	30 — 5,000 —
— 4 —	45 — 3,333 —
— 2 —	90 — 1,666 —

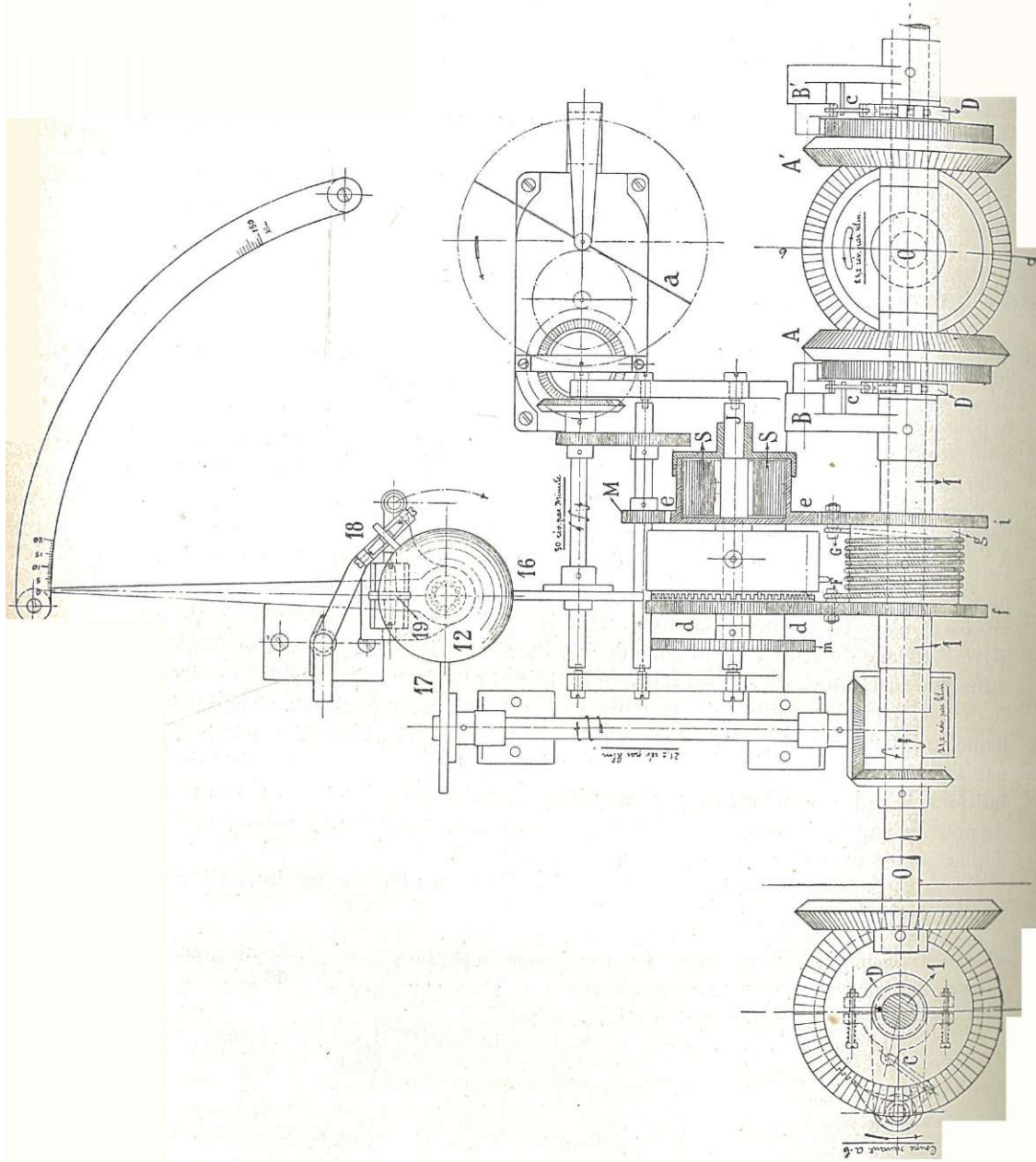


Fig. 10. — Plan de l'indicateur de vitesse et du redresseur du mouvement.

Le galet 19 correspond au galet 24 de la figure 11.

2° *Prise de mouvement des appareils.*

La prise de mouvement des appareils est semblable à celle du wagon de la Compagnie d'Orléans. Elle est faite sur l'essieu extérieur du bogie d'avant (côté de la guérite) à l'aide d'une vis sans fin calée sur cet essieu et d'une roue hélicoïdale que l'on peut débrayer de l'intérieur du wagon, même pendant la marche. Cette roue communique le mouvement à un arbre vertical, moteur de tous les appareils, par un système de trois arbres dont deux sont pourvus de joints à la Cardan. Ce montage est plus compliqué que celui de l'Orléans, mais il a été imposé par la flexibilité plus grande que nécessitent les déplacements relatifs notables de la caisse et de l'essieu d'un véhicule à bogies.

Le wagon pouvant rouler dans les deux directions, tandis que l'arbre qui commande les appareils doit toujours tourner dans le même sens, il fallait un dispositif redresseur du mouvement. Ce dispositif est visible sur la figure 10.

L'arbre vertical O actionné par l'essieu peut tourner dans les deux sens. Il commande l'arbre principal 1 (dont le sens de rotation doit être constant) par deux pignons d'angle A et A'. Ces pignons sont fous sur l'arbre 1 et rendus solidaires de celui-ci par deux roues à rochet faisant corps avec eux. La denture de ces deux roues est de même sens. Les rochets sont montés sur les supports B et B' clavetés sur l'arbre 1. Quel que soit le sens de la rotation de l'arbre O, il résulte de cet arrangement qu'il y a toujours une des roues, et une seulement, qui entraîne son rochet et avec lui l'arbre 1. Le sens de la rotation de cet arbre dépend donc, non du sens de la rotation de l'arbre O, mais du sens de la denture des roues à rochets.

Afin de maintenir constamment en prise celui des deux rochets dont la roue tourne dans le sens convenable et de soulever l'autre pour éviter qu'il ne saute de dent en dent, les rochets sont articulés dans leurs supports B et B' et portent une queue fixée à une bielle C, reliée elle-même à un collier D monté à frottement dur sur la roue à rochet; la bielle C fait engrener le rochet ou le soulève suivant le sens de la rotation.

L'arbre O et l'arbre 1 tournent quinze fois moins vite que l'essieu. Ils font 21.2 tours par kilomètre, ce qui correspond à 318 tours de roues pour un diamètre au roulement de 1.001 mètre. Les roues sont tournées à 1.002 mètre (circonférence 1,001.06 mètres) et pourront s'user jusqu'à 1 mètre (circonférence 999.16 mètres), sans que l'erreur sur l'évaluation des longueurs dépasse 1 mètre par kilomètre, c'est-à-dire $\frac{1}{1000}$. Le papier se déroule sur une table horizontale à deux vitesses différentes, 100 et 600 millimètres par kilomètre.

3° *Mesure et enregistrement de la vitesse.*

L'indicateur et l'enregistreur de la vitesse sont de l'invention de M. Alfred Amsler et constituent une des solutions les plus originales et les plus élégantes qui aient été données au problème de la mesure des vitesses.

Le dispositif, visible sur les plans d'ensemble (fig. 6, 7 et 8), est représenté à une échelle plus grande (fig. 10) et sous une forme schématique (fig. 11).

Il se compose essentiellement d'une sphère en acier 12 (fig. 11) maintenue par les trois galets 16, 17 et 34, de manière que son centre soit fixe. Un quatrième petit galet 18, qui n'est pas figuré au schéma ne sert qu'à empêcher les déplacements de la sphère sous l'influence des secousses.

Les galets 16 et 17 ont le même diamètre. Leurs axes de rotation sont perpendiculaires entre eux et situés dans le plan horizontal passant par le centre de la sphère. Le poids de celle-ci est tel que son adhérence contre les galets suffit pour qu'elle soit entraînée par eux sans glissement. Le galet 16 tourne avec une vitesse uniforme; le galet 17 avec une vitesse proportionnelle à celle du train.

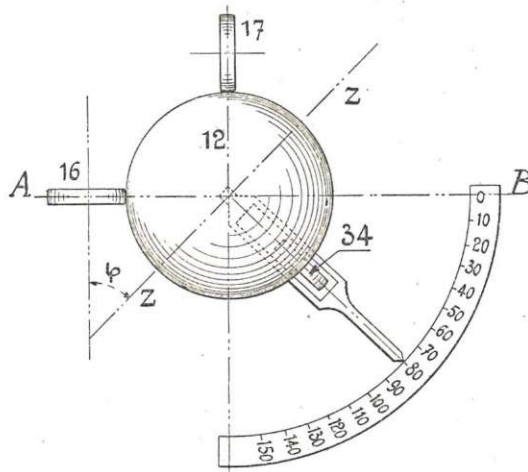


Fig. 11. — Schéma de l'indicateur de vitesse.

Le galet 34 est monté sur un léger bâti qui tourne très librement autour d'un axe vertical dont le prolongement passerait par le centre de la sphère; entraîné par celle-ci, il se place nécessairement dans la position où la résistance qui s'oppose à son mouvement est la moindre. Cette position est celle où son axe de rotation est parallèle au diamètre autour duquel tourne la sphère, puisqu'alors le mouvement du galet est un roulement sans glissement. A chaque instant, l'axe de rotation de la sphère et celui du galet 34 sont donc parallèles. Le bâti se prolonge par une aiguille dont la pointe chemine sur un cercle gradué.

Tout cela posé, il est facile de comprendre que si l'un ou l'autre des galets 16 et 17 tournait seul, la rotation de la sphère s'effectuerait autour d'un diamètre parallèle à l'axe du galet en mouvement. Mais comme ils tournent ensemble, cette rotation s'effectuera autour d'un axe zz dont la position est facile à déterminer par la règle de composition des rotations.

Il suffit en effet pour connaître l'angle φ que fait cet axe zz avec l'axe de rotation du galet 16, de composer les rotations des galets 16 et 17 selon la règle du parallélogramme, c'est-à-dire de porter sur leurs axes des longueurs égales à leurs vitesses angulaires ω_1 et ω_2 . La diagonale du parallélogramme (ou dans l'espèce du rectangle) ainsi formé donne la position du diamètre zz autour duquel tourne la sphère.

Si nous appelons D le diamètre de la sphère, d celui des galets 16 et 17, n_1 et n_2 , les nombres de tours qu'ils effectuent par seconde, nous aurons :

$$\omega_1 = \pi n_1 d,$$

$$\omega_2 = \pi n_2 d,$$

d'où

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\pi n_1 d}{\pi n_2 d} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Les intervalles entre les divisions du cercle gradué sont donc proportionnelles aux valeurs de $\operatorname{tg} \varphi$, c'est-à-dire au rapport $\frac{n_1}{n_2}$ du nombre de tours des deux galets 16 et 17.

La vitesse uniforme du galet 16 est obtenue par le mécanisme visible sur la figure 40 et représenté schématiquement figure 12.

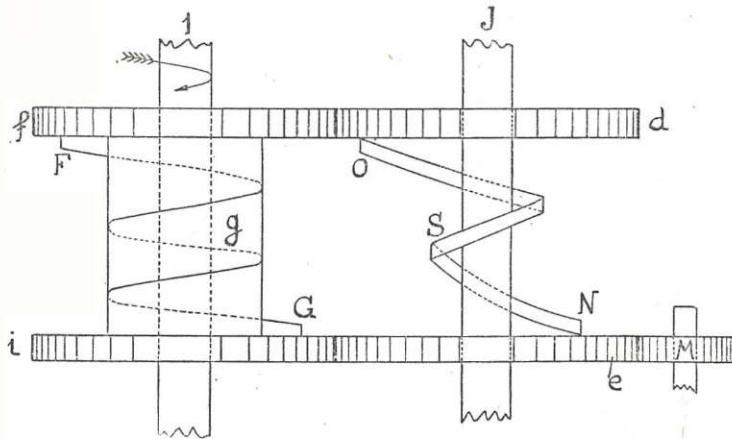


Fig. 12. — Schéma du dispositif réglant la vitesse uniforme du galet.

Sur l'arbre moteur 1 des appareils est calé un tambour g . Les roues f , i , d et e , folles sur les arbres 1 et J, engrènent entre elles deux à deux, f avec d et e avec i . Une ficelle, enroulée sur le tambour dans le sens de la rotation de l'arbre moteur 1, relie les deux roues f et i , et un ressort en spirale S, enroulé dans le même sens, relie les deux roues d et e ; le point d'attache O de ce ressort à la roue d peut être déplacé à l'aide d'un dispositif à rochet qui n'est pas représenté sur le schéma, ce qui permet de faire varier la tension du ressort et, par suite, celle de la ficelle. Ces

deux tensions se faisant équilibre, les quatre roues restent immobiles tant que l'arbre 1 est au repos.

La roue e engrène en outre avec une roue M qui commande, par une série d'engrenages, le galet 16 dont la vitesse doit être constante et un moulinet à ailettes. Cet ensemble d'organes oppose au mouvement de la roue e une résistance qui, pour chaque vitesse angulaire de cette roue, prend une valeur déterminée R .

Il est facile de voir, d'après la description qui précède, que la roue e est sollicitée par trois forces que nous supposons ramenées à la valeur qu'elles auraient si elles étaient appliquées au point N : la tension ψ du ressort S ; la résistance R de la roue M , des engrenages, du galet 16 et du moulinet; la tension λ du bout G de la ficelle.

La résultante φ de ces forces a pour expression.

$$\varphi = \psi - R - \lambda$$

d'où

$$\varphi + \lambda = \psi - R \dots \dots \dots (I)$$

La tension du ressort est réglée, au moyen du rochet, de manière que sa valeur corresponde à celle que prend la résistance R pour la vitesse ω_1 que l'on désire maintenir constante et que nous appellerons *vitesse de régime*.

On a donc

$$\psi = R_{\omega_1}$$

en appelant R_{ω_1} la valeur de la résistance R à la vitesse ω_1 .

Il résulte de là :

1° Que quand la vitesse de régime est atteinte par la roue e :

$$\varphi + \lambda = \psi - R_{\omega_1} = 0,$$

pour autant bien entendu que ψ reste constant, point sur lequel nous reviendrons plus loin ;

2° Que cette équation :

$$\varphi + \lambda = \psi - R = 0,$$

reste vraie pour toute valeur de ω supérieure à la vitesse de régime ω_1 ; attendu que $\psi - R$ tend à diminuer quand la vitesse augmente mais ne peut jamais être négatif puisque ψ étant la cause et R l'effet, R ne peut jamais dépasser ψ ;

3° Que pour toute vitesse ω_2 inférieure à ω_1 on a :

$$\varphi + \lambda = \psi - R > 0$$

car ψ est alors plus grand que R_{ω_2} .

Reportons-nous maintenant à l'arbre moteur 1. Dès que cet arbre est mis en mouvement, le frottement (adhérence) de la ficelle sur le tambour g tend l'extrémité F de celle-ci, ce qui provoque l'entraînement des roues f et d . Mais par l'effet du même frottement, l'extrémité G se détend, et comme la ficelle est peu élastique, l'effort λ qu'elle exerce sur la roue i diminue très rapidement et tombe à 0 pour le moindre retard des roues e et i sur les roues d et f .

Or, nous avons vu que pour $\omega < \omega_1$ on a :

$$\varphi + \lambda > 0$$

et par conséquent pour $\lambda = 0$

$$\varphi > 0.$$

Entre les limites de vitesse 0 et ω_1 , le moindre retard des roues e et i soumet donc la roue e à un effort positif qui accélère la vitesse et fait disparaître le retard.

Par conséquent, aussi longtemps que $\omega < \omega_1$, c'est-à-dire tant que la vitesse de l'arbre est plus petite que la vitesse de régime, *la roue e tourne avec la même vitesse que l'arbre 1.*

Mais aussitôt que ω atteint ou dépasse ω_1 , on a :

$$\varphi + \lambda = 0$$

ou $\varphi = 0$ à raison de la rapide décroissance de λ .

La résultante des efforts qui sollicitent la roue e étant nulle pour $\omega =$ ou $> \omega_1$, *cette roue tourne à vitesse constante.*

Mais, comme nous l'avons dit plus haut, cette conclusion n'est exacte que si ψ reste constant : pour qu'il en soit ainsi, il faut et il suffit que les roues f et d , dont la rotation tend à augmenter la tension du ressort, tournent aussi à la vitesse ω_1 et ne puissent la dépasser car la tendance à l'augmentation de tension du ressort en 0 correspond toujours alors à la détente produite en N par la rotation de la roue e ⁽⁴⁾. Or, c'est précisément ce qui a lieu. En effet, pour que la vitesse des roues f et d pût dépasser ω_1 , il faudrait que f prit de l'avance sur i , ce qui est impossible. car si cette dernière a la moindre tendance à rester en retard, la ficelle se lâche, son frottement sur le tambour diminue et elle glisse sur celui-ci. Ce glissement de la ficelle apparaît très clairement dès que la vitesse de l'arbre dépasse ω_1 .

Le galet 16 ne prend une vitesse constante que pour une vitesse angulaire de l'arbre moteur égale à la vitesse de régime ω_1 et, par suite, l'aiguille ne donne des indications exactes qu'à partir de la vitesse du train correspondante, soit environ 40 kilomètres à l'heure.

Nous avons supposé, pour simplifier l'exposé, que la roue e est folle sur l'axe J. En réalité, elle est calée sur cet axe qui porte en outre une roue à rochet (*m. fig. 10*) empêchant la roue e de tourner en sens inverse. Quand on parle de la rotation de la roue e , il faut donc entendre la rotation de cette roue de son axe et de la roue à rochet, ce qui revient absolument au même.

Le tic-tac produit par le rochet sautant de dent en dent sert à régler la tension du ressort. Celle-ci doit être telle que le tic-tac donne 120 battements à la minute.

⁽⁴⁾ Nous serions tentés de dire que le ressort se remonte au fur et à mesure qu'il se détend si cette manière de s'exprimer n'avait l'inconvénient de supposer une intermittence qui n'existe pas, les deux phénomènes, augmentation de tension et détente étant connexes et se compensant à chaque instant.

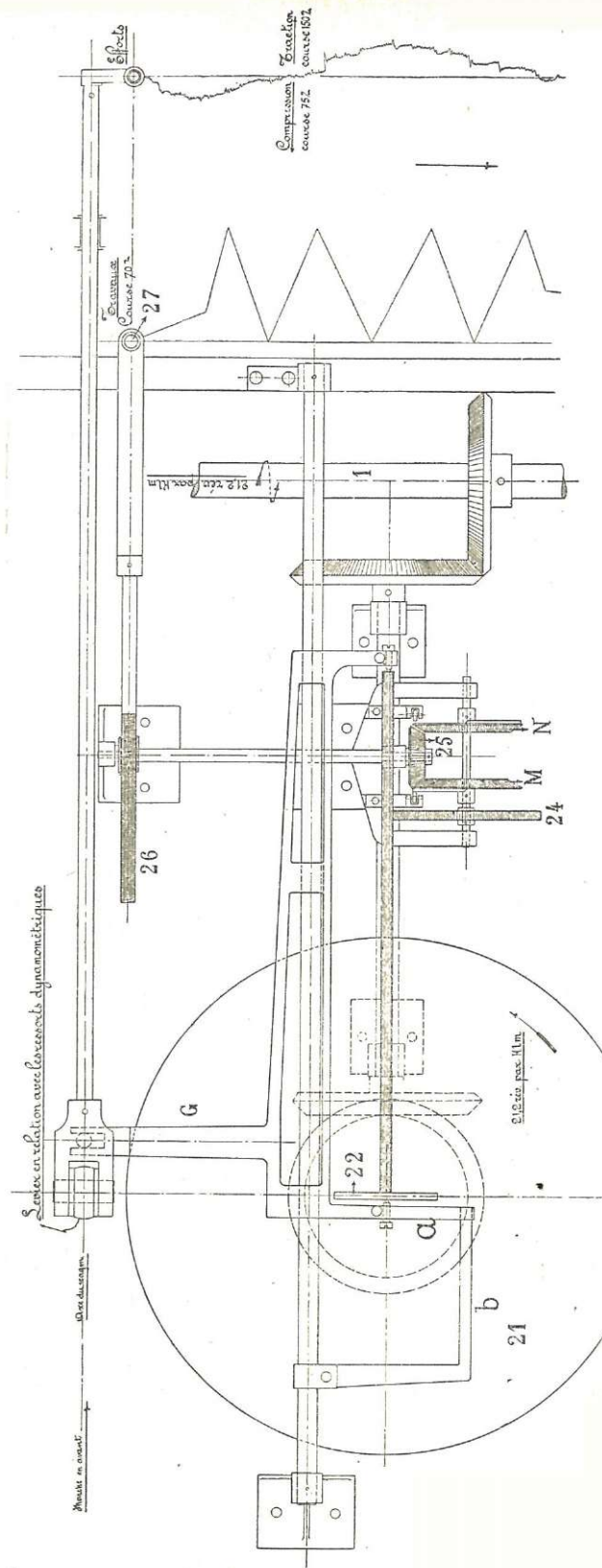


Fig. 13. — Plan du totalisateur de travail.

4° *Mesure et enregistrement du travail.*

Le dispositif qui sert à mesurer le travail est représenté figure 13. Il se compose essentiellement d'un plateau 21 qui reçoit son mouvement de l'arbre principal 1 et tourne comme celui-ci à raison de 21.2 révolutions par kilomètre. Sur ce plateau repose un galet 22 fixé au bras G solidaire du crayon des efforts. Quand le crayon est au zéro, le galet est au centre du plateau et par conséquent immobile : mais dès que le crayon se déplace, traçant sur le papier une ordonnée positive, le galet se déplace de la même quantité : il tourne alors avec une vitesse proportionnelle à celle du train et d'autant plus grande qu'il s'éloigne davantage du centre. Le nombre de tours qu'il décrit est donc proportionnel à la fois à l'effort de traction et au chemin parcouru c'est-à-dire au travail.

Il suffit par conséquent de compter ce nombre de tours pour connaître, à une constante près, le travail effectué depuis le commencement de l'expérience. Cet office est rempli par un compteur dont chaque unité correspond à un tour du galet 22.

La constante dépend du nombre de feuilles du ressort dynamométrique et a pour valeurs :

Pour 14 feuilles accouplées	116,600
— 12 — —	100,000
— 10 — —	83,333
— 8 — —	66,666
— 6 — —	50,000
— 4 — —	33,333
— 2 — —	16,666

Une molette graduée permet d'estimer les $\frac{1}{100}$ de tours du galet, soit 1,000 kilogrammètres pour le ressort de 12 feuilles, par exemple.

Lorsque le crayon trace des ordonnées négatives, le galet passe de l'autre côté du centre du plateau, et s'il continuait à toucher celui-ci tournerait en sens inverse, ce qui fausserait les indications du compteur auquel on ne demande que la totalisation du travail positif. On s'est donc arrangé de manière que le galet ne porte sur le plateau que du côté correspondant aux efforts de traction. A cet effet, le bras G, support du galet, porte un prolongement *a* qui vient reposer sur l'extrémité en plan incliné du buttoir *b*, de telle sorte que le galet est soulevé et cesse de tourner dès qu'il dépasse le centre du plateau.

L'enregistrement graphique du travail se fait de la manière suivante :

L'arbre du galet 22, denté sur toute sa longueur, entraîne la crémaillère 26 par la roue 24 et par les pignons M ou N qui commandent alternativement le pignon 25. La crémaillère porte le crayon enregistreur 27 qui trace une ordonnée représentant à chaque instant le total du travail effectué. Il est facile de voir que si la roue d'angle 25 tournait toujours dans le même sens, l'ordonnée sortirait rapidement des limites du papier. Il a donc été nécessaire de changer le sens de la rotation à intervalles égaux. C'est ce qui est réalisé par les deux roues d'angle M et N qui

actionnent alternativement le pignon 25 et le font tourner tantôt dans un sens tantôt dans l'autre. Le passage de l'une à l'autre, qui a lieu à chaque tour de la roue 24, est obtenu au moyen de plans inclinés faisant saillie sur le plat des roues M et N de manière à rencontrer des roulettes fixées au bâti. A chaque demi-tour de la roue 24, une des roulettes, rencontre le plan incliné correspondant, ce qui désengrène la roue qui vient de fonctionner et engrène l'autre.

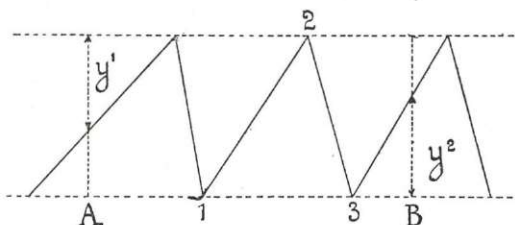


Fig. 14. — Courbe du travail.

La courbe du travail (fig. 14) se présente donc sous forme d'une suite de lignes comprises entre deux parallèles et plus ou moins inclinées selon la vitesse du train et l'intensité des efforts de traction. Pour connaître le travail effectué entre les points A et B, par exemple, il suffit de compter les points (1, 2, 3) et d'ajouter les deux ordonnées y_1 et y_2 .

5° Repérage des temps et des points intéressants de la ligne.

Les temps sont repérés au moyen de deux crayons traçant un trait interrompu par une coche toutes les six secondes et toutes les minutes. Un autre crayon muni d'un bouton électrique permet de repérer les points intéressants (bornes kilométriques, bâtiments de station, etc.).

6° Mesure de la résistance de l'air.

La résistance de l'air acquiert une importance telle aux grandes vitesses qu'il serait intéressant d'en avoir à chaque instant l'évaluation, même approximative, ne fût-ce que pour expliquer les anomalies apparentes qui se présentent dans les études dynamométriques.

C'est pour arriver à ce résultat que M. Doyen a imaginé l'anémomètre que nous allons décrire et dont l'étude et la construction ont été faites par M. Amsler. Sans prétendre que cet appareil fournit une solution complète du difficile problème dont il s'agit, nous pensons qu'il peut donner de précieuses « indications » dans l'étude des diagrammes.

L'appareil (fig. 15 et 16) comprend deux arbres concentriques qui s'élèvent au-

dessus de la toiture aussi haut que le permet le gabarit et aboutissent à petite distance du papier, à l'intérieur de la voiture.

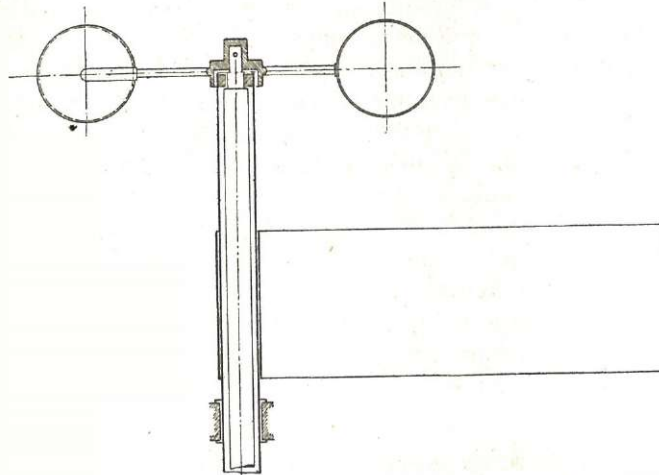


Fig. 15.

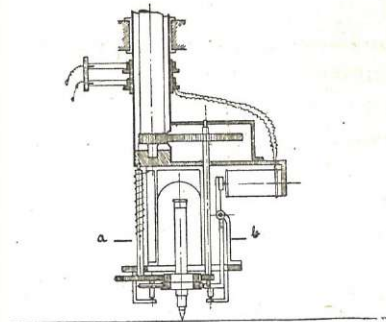
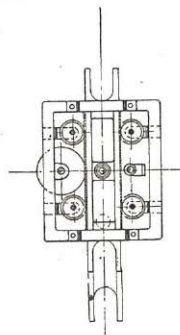


Fig. 16.



Anémomètre.

Sur l'arbre intérieur est calé un anémomètre à cuillers. Il tourne donc avec une

vitesse qui dépend de l'intensité de la résistance de l'air, résultante de la vitesse du vent et de celle du train.

L'arbre extérieur, muni d'une girouette ordinaire, porte à sa partie inférieure un petit bâti en fonte disposé de telle sorte que son axe soit dans le plan de la girouette. Cet axe est donc orienté à chaque instant dans la direction de la résistance de l'air. Un petit chariot porte-crayon, mobile suivant l'axe du bâti, est mis en mouvement à l'aide d'une crémaillère et d'un train d'engrenages par l'arbre intérieur. La vitesse de ce chariot, et par conséquent le chemin qu'il parcourt en un temps donné, dépendent donc de la vitesse de rotation de l'anémomètre à cuillers et, par suite, de l'intensité de la résistance de l'air. Toutes les trente secondes un déclenchement électrique et un ressort ramènent vivement le chariot à son point de départ. Il résulte de ces dispositions que le trait tracé sur le papier par le crayon pendant ce mouvement rétrograde représente : en direction, la direction de la résistance de l'air au moment du déclenchement et, en grandeur, une valeur proportionnelle à l'intensité moyenne de la résistance de l'air pendant les trente secondes qui ont précédé le déclenchement.

B. — DYNAMOMÈTRE D'INERTIE DE DESDOUITS.

Les rendements d'une locomotive à la jante et au crochet de traction sont les éléments qui définissent sa valeur comme machine motrice.

Le travail au crochet de traction est enregistré par l'appareil Amsler et nous avons signalé l'ingénieuse méthode employée par les ingénieurs du Paris-Orléans pour déterminer le travail à la jante ⁽¹⁾.

Le dynamomètre de Desdouits est susceptible de donner, pensons-nous, d'une façon simple et pratique une autre solution très exacte du même problème. Notre expérience est malheureusement de trop courte durée pour que nous puissions être aussi affirmatifs que nous le voudrions sur ce sujet ; mais elle suffit pour nous convaincre que le dynamomètre Desdouits est un instrument précieux pour l'étude de tous les phénomènes qui intéressent la propulsion et l'arrêt des trains. Nous espérons en tirer des résultats importants dignes de la mémoire du grand ingénieur qui l'a inventé.

Rappelons en quelques mots la théorie de l'appareil (fig. 17) :

Soit m la masse du pendule de longueur l . Dans un train en marche sous l'influence de l'accélération positive ou négative w , la masse m vient en m' où elle est en équilibre sous l'action de la force accélératrice mw et de la pesanteur mg .

Les moments de ces forces par rapport au point de suspension sont donc égaux, ce qui donne

$$mwl \cos \alpha = mgl \sin \alpha$$

(1) Voir Annexe : Note sur le travail à la jante.

d'où

$$tgz = \frac{w}{g}.$$

La longueur y , qui n'est autre que l'ordonnée tracée par le crayon commandé par le pendule, a pour valeur

$$l \cos \alpha tgz.$$

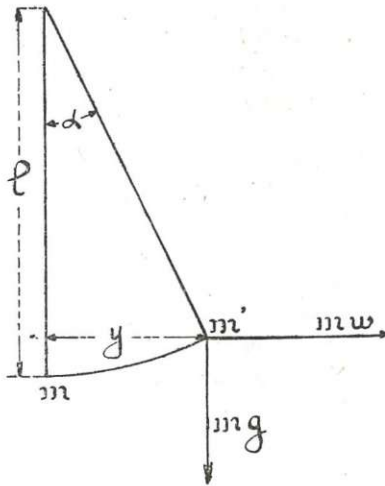


Fig. 17.

L'angle α étant toujours très petit, on peut admettre que $\cos \alpha$ est égal à l'unité et écrire

$$y = l tgz = \frac{lw}{g}$$

d'où

$$w = \frac{g}{l} y.$$

La force accélératrice Mw qu'il s'agit de mesurer, M étant la masse du train entier, vaut donc :

$$Mw = M \frac{g}{l} y = \frac{P}{l} y.$$

y et l étant mesurés en millimètres, $l = 1000$ pour le pendule de 1 mètre, 500 pour le pendule de 50 centimètres et 2000 pour le pendule de 2 mètres.

Le papier du dynamomètre Desdouts se déroule sous l'action d'un mouvement d'horlogerie, avec une vitesse uniforme.

Les ordonnées du diagramme tracé par le crayon mesurent à chaque instant l'effort accélérateur, positif ou négatif, qui sollicite le train tout entier et qu'on peut par conséquent supposer sans erreur, appliqué à la jante des roues motrices.

P étant le poids total du train en kilogrammes et y l'ordonnée mesurée en millimètres, la valeur de cet effort accélérateur (résultante de toutes les forces agissant sur le train) est :

$$F = y \frac{P}{1000} \text{ pour le pendule de } 1^{\text{m}}00.$$

$$F = y \frac{P}{500} \text{ — — — } 0^{\text{m}}50.$$

$$F = y \frac{P}{2000} \text{ — — — } 2^{\text{m}}00.$$

La position verticale du pendule placé dans un train présente un intérêt tout particulier. Elle indique que l'effort accélérateur est nul ou en d'autres termes, qu'il y a équilibre entre les efforts moteurs et les résistances. Dans cette position, le crayon trace donc la ligne des zéros à partir de laquelle on mesurera, d'un côté ou de l'autre, les résultantes positives et négatives des efforts qui sollicitent le train. Il est évident que le pendule prend cette position verticale chaque fois que la vitesse est uniforme et quel que soit le profil de la voie à cet instant.

Il est très important de déterminer l'allure de cette ligne des zéros.

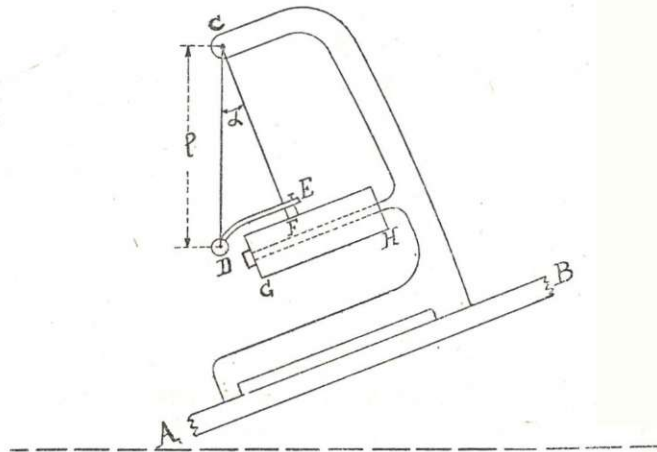


Fig. 18.

Soient AB (fig. 18) le plancher du véhicule sur lequel est établi l'appareil ; CD le pendule proprement dit de longueur l ; E le crayon, relié au pendule, qui trace le diagramme sur le papier se déroulant sur le cylindre GH.

Du point de suspension C, abaissons sur les génératrices du cylindre la perpendiculaire CF. Quelle que soit la position de l'appareil, il est clair que le lieu géométrique des points F est une ligne droite que nous appellerons *ligne de base*. A vitesse uniforme, l'angle α est constant et la ligne que trace le crayon est une droite parallèle à la ligne de base; il en résulte que sur profil constant, la ligne des zéros est toujours une droite.

Déterminons maintenant la quantité dont cette ligne des zéros se déplace par rapport à la ligne de base lorsque le profil varie, et pour cela, supposons que le plancher du wagon ou, ce qui revient au même, les génératrices du cylindre GH s'inclinent d'un angle β (correspondant à i'' millimètres par mètre) sur leur position primitive (fig. 49).

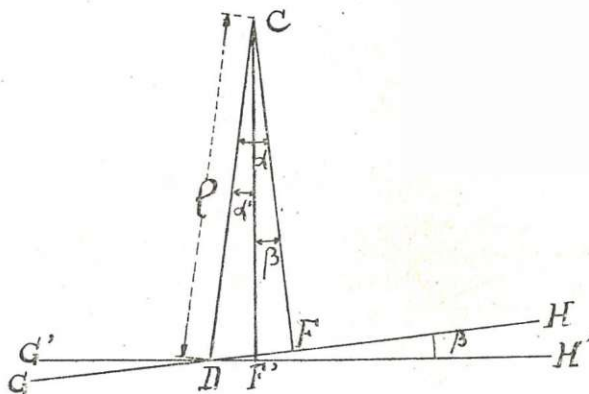


Fig. 49.

Dans cette nouvelle position le pendule ne fait plus avec la droite CF' (qui détermine la ligne de base) qu'un angle $\alpha' = \alpha - \beta$, et le point D qui commande le crayon s'est rapproché de la ligne de base de $DF - DF' = l (\sin \alpha - \sin \alpha')$. $DF - DF'$ n'est autre que l'ordonnée y tracée par le crayon au moment du changement de profil.

On peut donner une forme plus suggestive à la valeur de $DF - DF' = y$ en exprimant $\sin \alpha - \sin \alpha'$ en fonction de l'inclinaison en millimètres par mètre.

i et i' étant les inclinaisons correspondantes aux angles α et α' , on a :

$$\sin \alpha - \sin \alpha' = \frac{i - i'}{1000}$$

et par suite :

$$y = l \frac{i - i'}{1000}$$

Si on emploie le pendule de 1 mètre. $l = 1,000$ et

$$y = i - i' = i''.$$

L'ordonnée tracée par le pendule vertical lors d'un changement de profil est donc précisément égale à la variation de ce profil exprimée en millimètres par mètre si $l = 1$ mètre.

Cela posé considérons une ligne ABCDEF de profil variable parcourue à vitesse uniforme par un train portant le pendule (fig. 20).

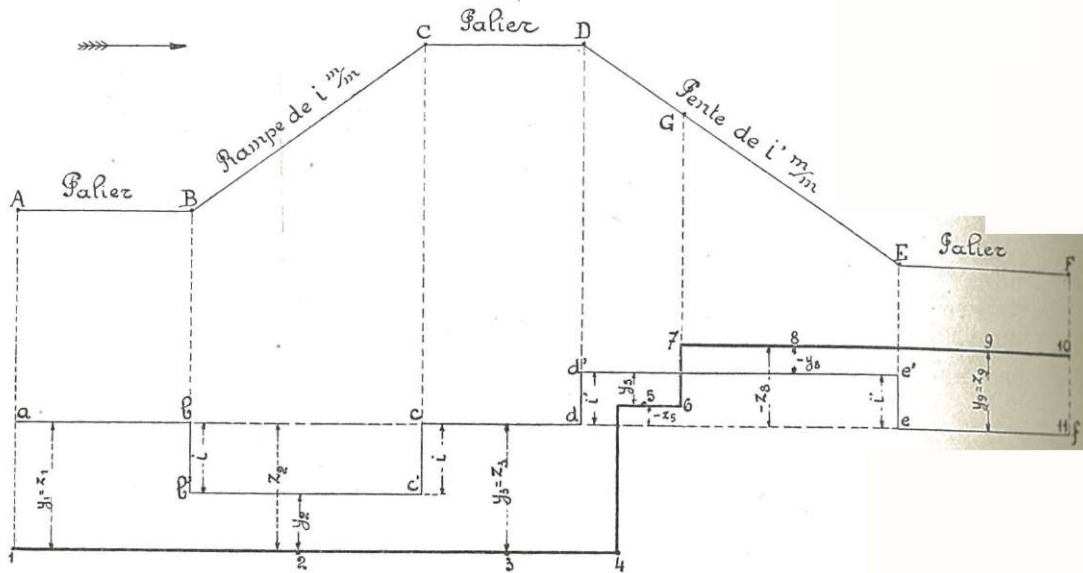


Fig. 20. — Détermination de la ligne des zéros du Desdouts.

Il résulte de ce qui précède que pendant tout le trajet, le pendule restera vertical, que le crayon tracera la ligne des zéros et que cette ligne des zéros sera $abb'c'dd'e'e'f$.

Supposons maintenant qu'un train à vitesse variable a parcouru la même voie en donnant le diagramme 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11, et déterminons la valeur des efforts résultants F aux points 1, 2, 3, 5, 8 et 9. Nous désignerons par y_1, y_2, \dots les ordonnées de ces points par rapport à la ligne brisée des zéros, et par z_1, z_2, \dots les distances de ces mêmes points à la ligne af qui serait la ligne des zéros si le profil avait été constamment en palier. Les efforts F peuvent s'exprimer sous les formes suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Au point 1.} \quad F_1 &= \frac{P}{1000} y_1 = \frac{P}{1000} z_1 \\ \text{— 2.} \quad F_2 &= \frac{P}{1000} y_2 = \frac{P}{1000} (z_2 - i) = \frac{P}{1000} z_2 - \frac{P}{1000} i \\ \text{— 3.} \quad F_3 &= \frac{P}{1000} y_3 = \frac{P}{1000} z_3 \end{aligned}$$

En point 5 . $F_5 = \frac{P}{1000} y_5 = \frac{P}{1000} (i' - z_5) = -\frac{P}{1000} z_5 + \frac{P}{1000} i'$

8 . $F_8 = -\frac{P}{1000} y_8 = -\frac{P}{1000} (z_8 - i') = -\frac{P}{1000} z_8 + \frac{P}{1000} i'$

9 . $F_9 = -\frac{P}{1000} y_9 = -\frac{P}{1000} z_9.$

On voit clairement que les termes en i de ces équations représentent les composantes de la gravité. Les termes en z expriment donc la résultante de toutes les autres forces qui sollicitent le train. Il en résulte, quel que soit le profil de la voie, que les ordonnées d'un diagramme comptées à partir de la ligne droite qui serait tracée en palier par le pendule mesurent la résultante de toutes les forces qui agissent sur le train, à l'exception de la gravité.

Par conséquent, chaque fois qu'il s'agira de mesures relatives à l'effort du moteur, à la résistance au roulement, à la résistance de l'air, à l'effet des freins, etc., on comptera les ordonnées à partir de la ligne des zéros en palier, que dorénavant nous appellerons *LIGNE DES ZÉROS et cela sans s'inquiéter du profil.*

C'est cette propriété précieuse que Desdouits définissait dans la phrase suivante :

« Nous supposons ici, pour simplifier les énoncés, qu'on opère en palier; mais il importe de remarquer que les indications du dynamomètre d'inertie sont *indépendantes de l'inclinaison de la voie*, et expriment toujours la *résultante des efforts moteurs et résistants du train*, abstraction faite de l'action éventuelle de la pesanteur. En effet, la composante statique introduite par la gravité est identiquement détruite, en marche, par sa composante d'inertie. Ainsi se trouve éliminée une cause d'erreur ou d'incertitude grave pour la mesure des efforts de traction ⁽¹⁾. »

L'indicateur de vitesse du wagon dynamomètre signalant les moments où la vitesse est constante, il est facile de déterminer la ligne des zéros et d'en vérifier la position en cours de route aussi souvent qu'on le veut.

On ne devra recourir à la ligne des zéros réelle, que nous appellerons *ligne des zéros des efforts effectifs*, que pour apprécier les variations de vitesse ou déterminer les chemins parcourus.

Mais dans le wagon dynamomètre, la ligne des zéros des efforts effectifs ne devra jamais être utilisée, d'autres appareils donnant, plus commodément que le Desdouits, les variations de la vitesse et le chemin parcouru.

Nous sommes maintenant en mesure d'analyser le diagramme (fig. 21) supposé obtenu sur une voie de profil quelconque.

Le train arrive en A à régulateur ouvert : celui-ci est fermé de C en D et rouvert jusqu'en G. En G il est fermé de nouveau et en K les freins sont appliqués et restent

(1) *Revue générale des chemins de fer*, 2^e semestre, 1883, p. 222. (Note.)

serrés jusqu'à l'arrêt en M. Les lignes AC, DF, GI mesurent l'effort de la vapeur reporté à la jante au moment des fermetures et des ouvertures du régulateur.

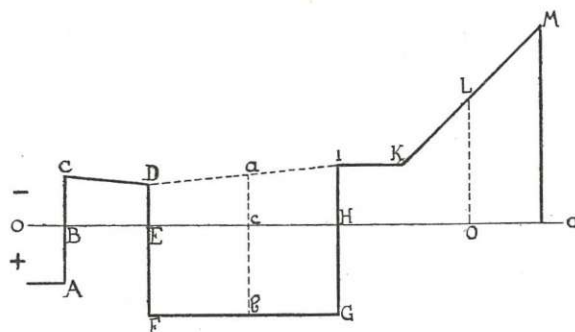


Fig. 21.

Joignons DI et admettons que les résistances au roulement du train entre ces deux points varient suivant la loi représentée par la droite DI. (C'est là une erreur légère, mais qui ne pourrait être évitée que si l'on connaissait exactement la loi de la variation de ces résistances pour le train soumis à l'essai.)

Toute droite ab , perpendiculaire à la ligne des zéros, donne en kilogrammes la mesure de l'effort à la jante au moment considéré, et, comme le papier se déroule proportionnellement au temps, la surface du quadrilatère DFGI donne en kilogrammes-secondes la quantité de mouvement développée à la jante pendant le temps correspondant au parcours DI. En divisant cette surface par le temps t , on obtient l'effort moyen à la jante et en multipliant celui-ci par le nombre de mètres parcourus, on a le travail à la jante.

Remarquons que si l'on se propose seulement de déterminer le travail à la jante, il est inutile de connaître la ligne des zéros. Il suffit de joindre les points D du diagramme, qui marquent l'ouverture du régulateur, aux points I indiquant la fermeture de cet organe, puis de planimétrer les quadrilatères obtenus. La ligne des zéros n'est nécessaire que pour mesurer les lignes BC, DE, IH (qui représentent les résistances au roulement au moment des fermetures et des ouvertures de régulateur), les lignes AB, EF, GH (représentant les efforts disponibles de la vapeur qui, combinés avec la gravité, donnent les efforts résultants effectifs) et la ligne LO (qui mesure l'effort de freinage augmenté des résistances au roulement).

Le pendule Desdouts, dans sa forme définitive, est, au point de vue de la construction, absolument différent de l'appareil décrit par l'inventeur dans la *Revue générale* de 1883. Nous donnons (fig. 22) la photographie du spécimen que possèdent les chemins de fer de l'État belge (1).

(1) Voir les articles de DESDOUTS : *Revue générale des chemins de fer*, 1883, 1884, 1890, 1894, 1898 et 1900.

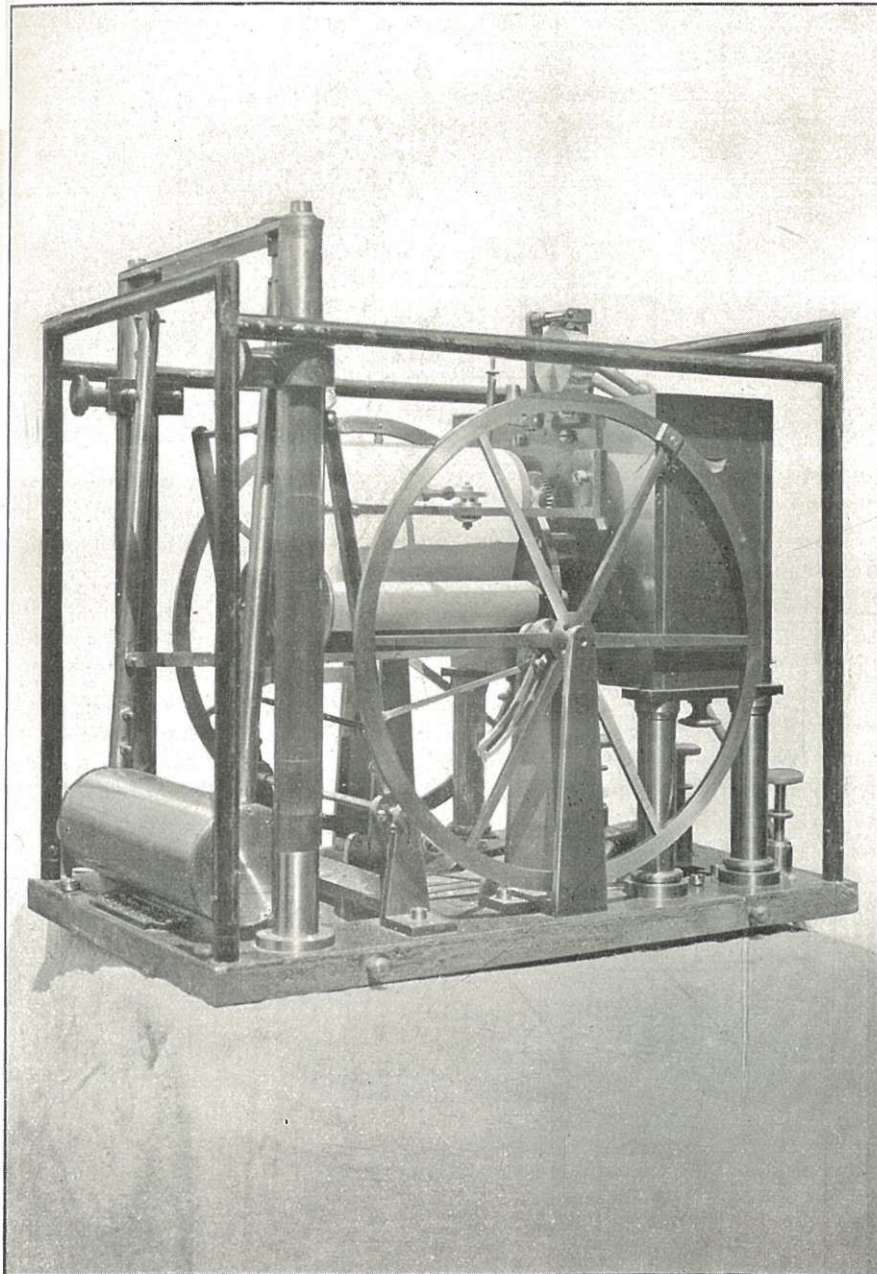


Fig. 22. — Dynamomètre d'inertie de Desdoutils.

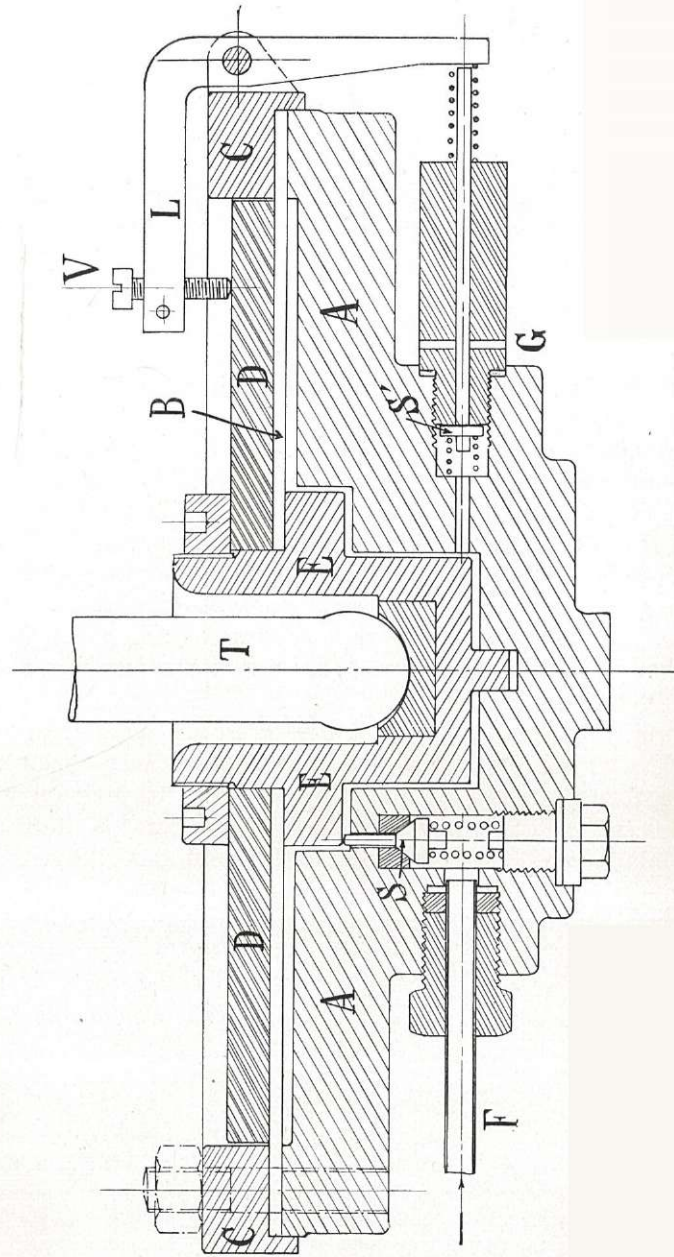


Fig. 23. — Dynamomètre à diaphragme et à air comprimé.

C. — APPAREILS KAPTEYN & DOUGLAS-GALTON POUR L'ÉTUDE DES FREINS.

Les appareils Kapteyn ont été utilisés dans presque tous les essais de frein importants : ils sont assez connus pour qu'une description sommaire suffise à rendre compte des dispositions que nous avons adoptées.

L'appareil, décrit notamment dans le *Portefeuille économique des machines* de mai 1889, enregistre les pressions dans le réservoir auxiliaire, dans la conduite générale et dans le cylindre à frein. Ces pressions sont mesurées à l'aide d'indicateurs genre Richard, reliés par des tuyaux flexibles au réservoir, à la conduite et au cylindre. On a ainsi tous les éléments nécessaires à la détermination du rôle de l'air comprimé dans le freinage, mais on ne connaît rien de la pression exercée par les sabots sur les roues, ni de l'effort tangentiel développé à leur contact. Or, la connaissance de ces éléments est indispensable pour l'étude du coefficient de frottement, dont les variations ont une influence prépondérante sur le freinage des trains.

Cette étude n'a été poussée par Douglas-Galton que jusqu'à la vitesse de 96 kilomètres (1) et il serait intéressant de la prolonger jusqu'aux vitesses plus grandes qui, actuellement, sont atteintes couramment dans la pratique. Nous nous sommes donc décidés à reprendre les dynamomètres à diaphragme employés dans les célèbres expériences de 1878 (2), en les transformant en dynamomètres à air.

Le dynamomètre, représenté en coupe (fig. 23), se compose d'une boîte cylindrique en fonte A dont le couvercle est formé par un diaphragme en caoutchouc B, fortement serré par l'anneau C contre le bord de la boîte. Ce diaphragme est consolidé par un plateau D qui porte au centre une chape métallique E au fond de laquelle la tige T transmet l'effort à mesurer.

La boîte porte trois tubulures : la première F est en communication avec un réservoir d'air comprimé : une soupape conique S, s'ouvrant de haut en bas, est maintenue normalement fermée par un ressort à boudin. La pression de l'air dans le réservoir doit être suffisante pour équilibrer les plus grands efforts à mesurer. Une deuxième tubulure, qui n'est pas visible sur le dessin, met l'intérieur de la boîte en communication avec l'indicateur Richard qui trace le diagramme. La troisième tubulure G, fermée normalement par la soupape S', peut mettre la boîte en communication avec l'extérieur.

Quand un effort est transmis par la tige T au fond de la chape, le diaphragme s'abaisse, ouvre la soupape S et permet à l'air comprimé d'affluer dans la boîte et

(1) Il est même à remarquer que les expériences de Douglas-Galton, effectuées à des vitesses supérieures à 50 milles (80 kilomètres), sont en très petit nombre.

(2) *Proceedings of the meeting of the institution of mechanical engineers*, juin 1878 : « On the effect of brakes upon railway trains », by captain DOUGLAS GALTON. Ce remarquable mémoire a été reproduit ou commenté dans la plupart des publications techniques de l'époque et réédité comme volume séparé par la Compagnie Westinghouse. La même compagnie a publié en 1904, sous le titre *Air Brake tests*, une intéressante compilation de tous les grands essais de freins ; les mémoires de Douglas-Galton, reproduits intégralement, figurent en tête de ce volume.

dans l'indicateur : la pression de cet air étant supérieure à l'effort à mesurer, le diaphragme se relève et dès qu'il dépasse sa position normale, vient buter contre la vis V qui, par l'intermédiaire du levier L, ouvre la soupape S' et donne issue à l'air en excès. La vis V permet de régler la position d'équilibre du diaphragme avec autant de précision qu'on le désire, de telle sorte que la tension de l'air comprimé contenu dans la boîte équilibre à chaque instant la pression de la tige T.

Pour évaluer cette pression en kilogrammes, il suffit de connaître la flexibilité du ressort de l'indicateur et le rapport des surfaces du diaphragme et du piston de l'indicateur :

f étant la flexibilité du ressort par kilogramme, λ la flèche que prend le ressort, D et d les diamètres du diaphragme et du piston de l'indicateur, l'effort F à mesurer est donné par la relation

$$F = f\lambda \frac{D^2}{d^2}.$$

Le croquis de la timonerie (fig. 24 et 25) montre la disposition des deux dynamomètres mesurant la pression sur les blocs et l'effort tangentiel que produit la friction des blocs sur les roues.

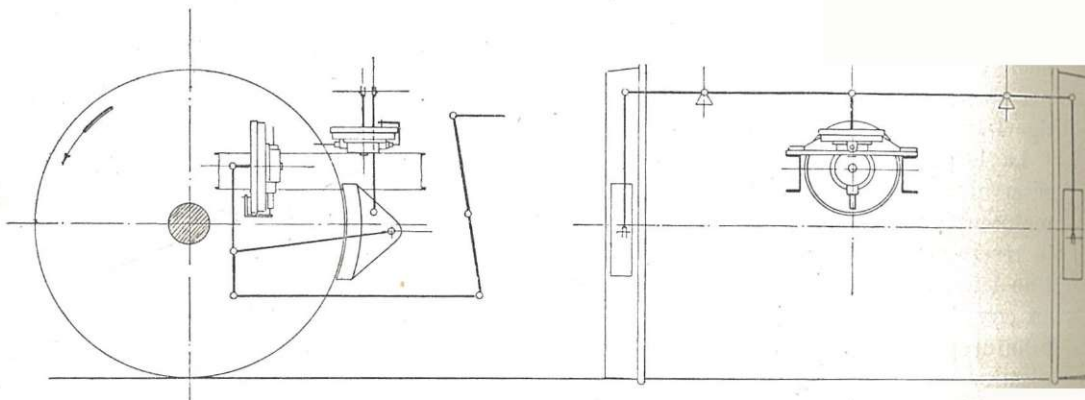


Fig. 24.

Fig. 25.

Timonerie du frein du wagon-dynamomètre.

L'indicateur du réservoir auxiliaire, qui ne présente qu'un intérêt secondaire, a été supprimé afin de ne pas compliquer l'appareil (1).

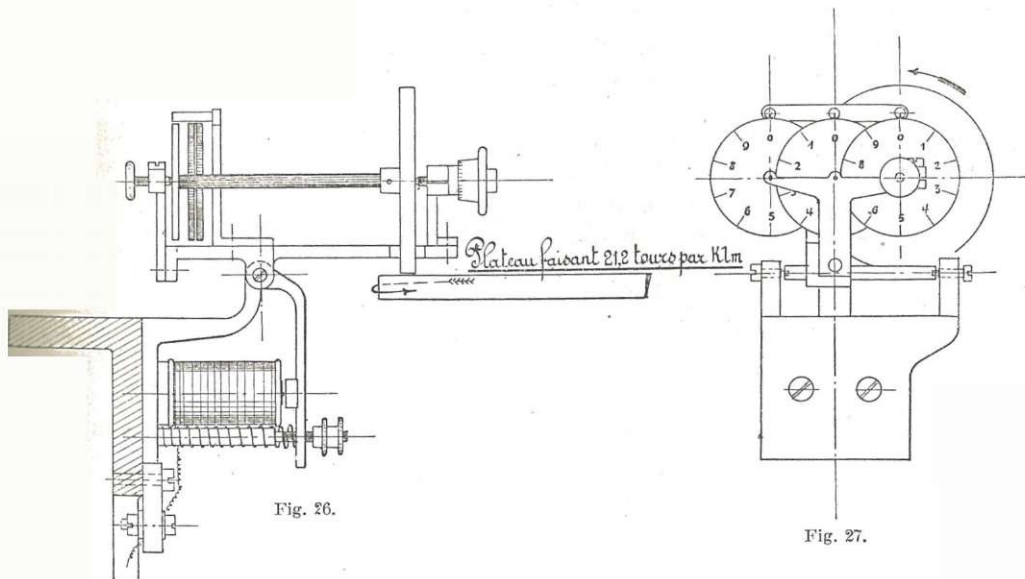
(1) Cet indicateur était inutile parce que la pression dans le réservoir est égale à la pression dans la conduite générale pendant les serrages modérés et les desserrages, et égale à la pression dans le cylindre pendant les serrages à fond. En fait, il ne pouvait donc servir qu'à vérifier la rainure d'alimentation de la triple valve.

Nos quatre indicateurs fournissent donc :

- 1° La pression dans la conduite générale;
- 2° La pression dans le cylindre à frein;
- 3° La pression des sabots sur les roues;
- 4° La force tangentielle d'entraînement de la roue sur le sabot.

Remarquons qu'en divisant 4 par 3, on obtient la valeur du coefficient de frottement.

Les temps sont repérés par deux crayons qui tracent sur le papier des traits continus, interrompus par des coches l'un toutes les six secondes et l'autre toutes les demi-secondes.



Compteur des appareils Kapteyn mesurant la longueur de l'arrêt.

Deux crayons indiquent par des coches le moment du commencement et de la fin du freinage; ils sont actionnés par un électro dont le circuit est ouvert ou fermé par des contacts solidaires de la manœuvre du robinet du mécanicien.

Enfin, deux autres crayons tracent la courbe des vitesses et la ligne de terre. Le crayon des vitesses est commandé par le tachymètre de l'appareil dynamométrique.

Les dix crayons que nous venons d'énumérer sont en argent et tracent leurs indications sur un papier préparé qui se déroule soit à la vitesse constante de 15 millimètres par seconde, obtenue par un dispositif identique à celui dont nous avons

parlé plus haut à propos du tachymètre, soit à l'une des vitesses de 50 ou 300 millimètres par kilomètre, si l'on raccorde le papier à la prise de mouvement de l'appareil dynamométrique.

Dans les essais de freins, il est commode de connaître immédiatement la longueur sur laquelle un arrêt a été effectué sans devoir recourir aux indications tracées sur le papier. Dans ce but, un petit compteur qui prend son mouvement sur le plateau du totalisateur de travail, se met en mouvement à l'instant où commence le serrage et donne en mètres la longueur de l'arrêt (fig. 25 et 26).

D. — EXPLORATEURS SABOURET.

Les appareils Sabouret sont combinés en vue de l'étude des mouvements secondaires qui se produisent sur un véhicule en marche, c'est-à-dire des mouvements relatifs irréguliers qu'on observe entre les pièces qui ne sont pas reliées invariablement.

L'étude cinématique de ces mouvements se ramène toujours à celle des variations de distance de deux points, c'est-à-dire à la mesure d'oscillations linéaires d'où le nom d'*explorateurs linéaires* donné à l'appareil qui sert à leur observation.

Mais, en marche, il se produit d'autres mouvements parasites, chocs, secousses, qui sont caractérisés par la vitesse de la masse en mouvement au moment du choc. L'*explorateur balistique* agit en fonction de cette vitesse.

Dans l'explorateur linéaire, l'appareil transmetteur A et l'appareil récepteur A', reliés par un tuyau de caoutchouc, sont identiques et formés d'un tambour en laiton fermé par une membrane en caoutchouc. Toute impulsion donnée au centre de la membrane du transmetteur est transmise par l'air emprisonné dans l'organe et reproduite en sens inverse par la membrane du récepteur.

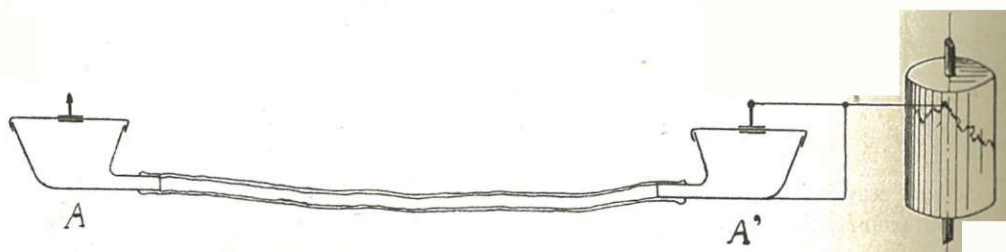


Fig. 28. — Schéma indiquant le principe de l'exploitation linéaire de Sabouret.

Ces membranes sont munies en leur centre de petites plaques en laiton qui facilitent l'établissement de connexions.

La plaque du récepteur est connectée à une plume qui inscrit toutes les impulsions qu'elle reçoit sur une bande de papier qui se déroule, soit sous l'action

d'un mouvement d'horlogerie, soit sous l'action d'un contact électrique pris sur l'essieu.

Si, par exemple, on veut ausculter les mouvements d'une traverse de pivot par rapport au longeron d'un bogie, il suffit de fixer le transmetteur au longeron et de relier la petite plaque de laiton de la membrane à un point de la traverse; la plume du récepteur trace sur le papier tous les mouvements que l'on désire observer.

Dans le wagon dynamomètre, deux explorateurs sont reliés à la traverse danseuse du bogie d'arrière; le premier est fixé à la caisse et enregistre les déplacements angulaires de celle-ci par rapport au bogie; le deuxième est fixé au châssis du bogie et enregistre les déplacements de la traverse dans le sens de sa longueur.

L'*explorateur balistique* est réalisé en mettant la membrane du transmetteur en contact avec la masse d'un pendule placé dans le compartiment. Tous les mouvements anormaux qu'impriment au pendule les défauts de montage de la voiture ou les défauts de la voie sont communiqués à la membrane d'un transmetteur et inscrits sur le papier. En courbe, s'il n'y avait pas équilibre exact entre la force centrifuge et le dévers de la voie, le pendule agirait sur la membrane du transmetteur et tracerait sur le papier une ordonnée ne correspondant pas à un choc. Pour éviter cet inconvénient, M^r Dubois, ingénieur du matériel de la Compagnie de l'Ouest, a imaginé un dispositif très simple et très ingénieux : c'est un frein à la glycérine qui amortit les oscillations lentes du pendule dues à la force centrifuge et ne permet l'inscription que des oscillations brusques dues à des chocs.

L'enregistreur et les explorateurs sont construits par la maison Richard, à Paris.

Ces indications générales suffisent pour faire comprendre le principe de l'appareil. Les détails en sont exposés d'une manière très complète dans l'excellent article publié par M^r Sabouret dans la *Revue générale* de février 1904, auquel nous renvoyons le lecteur.

ANNEXE.

NOTE SUR LE TRAVAIL A LA JANTE.

Les wagons-dynamomètres construits antérieurement à celui de la Compagnie du Paris-Orléans ne mesuraient que les efforts de traction. Les plus perfectionnés d'entre eux n'enregistrant que le travail au crochet de traction, on s'est habitué à considérer celui-ci comme le travail utile qui *caractérise* une locomotive. L'appareil de laboratoire pour l'essai des locomotives exposé à Saint-Louis paraît être la consécration de cette erreur, et l'attention que lui accordent certains ingénieurs montre que cette idée fautive est loin d'être en régression.

Il est clair cependant que le travail *utile* d'une locomotive ne peut s'exprimer exactement qu'en voyageurs-kilomètres ou en tonnes de marchandises-kilomètres et que la différence entre ce travail utile et le travail effectivement développé à la jante, c'est-à-dire le travail perdu, est due aux forces qui résultent du poids mort du train, du tender et de la locomotive. Ces forces sont : 1° la résistance au roulement, la résistance de l'air et la résistance due au freinage; 2° les efforts créés par l'accélération; 3° l'action de la gravité.

On se demande pour quelle raison on pourrait éliminer de ce travail perdu la partie qui incombe à la locomotive et au tender? Ce serait admettre l'hypothèse absurde que la machine remorque le train sans se déplacer elle-même.

D'autre part, le rendement de la locomotive, en tant que machine à vapeur, ne peut s'établir que par la comparaison du travail à la jante et du nombre de kilogrammes d'eau ou de charbon consommés. En d'autres termes, dans l'étude des locomotives, le travail à la jante fournit des données correspondantes à celles que l'on obtient pour les machines fixes par le frein de Prony avec cet avantage que le travail à la jante peut être relevé pendant que la locomotive accomplit son service normal.

Quelques exemples montreront plus clairement la nécessité de déterminer la valeur du travail à la jante.

Dans les trains marchant à très grande vitesse, la résistance de l'air devient le facteur principal de la résistance totale et ce facteur affecte surtout la locomotive qui, suivant l'expression imagée souvent employée, doit creuser la voie du train dans l'air : la plus grande partie de la résistance de l'air ne s'inscrit donc pas au crochet de traction.

Dans les trains de voyageurs, le poids de la locomotive et du tender dépasse parfois la moitié du poids des voitures : que dire d'une méthode qui néglige systématiquement le tiers des forces qui entrent en jeu dans les phénomènes étudiés?

Les comparaisons entre locomotives de types différents — avec ou sans bogie, à roues libres ou à essieux accouplés, à deux ou à quatre cylindres, avec ou sans pans coupés à l'avant, etc. — ne peuvent être basées que sur le travail à la jante, puisque toutes ces différences de système introduisent dans la propulsion de la locomotive des différences de résistance et de poids qui n'ont aucune influence sur les mesures effectuées au crochet de traction.

La nécessité de recourir au travail à la jante s'imposera plus encore quand il s'agira de comparer

des moteurs d'ordre différent : tels que les locomotives ordinaires avec les locomotives à turbine ou avec les moteurs électriques pouvant être montés, en tout ou en partie, sur les véhicules portant la charge utile. On se figure l'embarras de l'expérimentateur cherchant à mesurer le travail au crochet de traction d'un train dont chaque véhicule porterait un moteur électrique!

Il est clair enfin que le travail à la jante peut seul donner un terme de comparaison précis entre la remorque par locomotive et la propulsion des trains par moteur fixe et transport de force.

Il est donc indispensable d'établir la valeur de ce travail; le travail au crochet de traction n'en est que le complément, complément d'ailleurs nécessaire puisqu'il permet de déterminer le rendement de la locomotive comme véhicule et de définir les voitures remorquées.

Pour déterminer le travail à la jante, nous appellerons :

- F_j , l'effort à la jante ;
- F_c , l'effort au crochet de traction ;
- $T_j = \int F_j dl$, le travail totalisé à la jante ;
- $T_c = \int F_c dl$, le travail totalisé au crochet ;
- P , le poids en tonnes du train, véhicules et chargement ;
- P' , le poids en tonnes de la locomotive et du tender ;
- $\varphi(v)$, la résistance par tonne de train ;
- $\psi(v)$, la résistance par tonne de locomotive et de tender ;
- γ , l'accélération ;
- i , l'inclinaison de la voie en millimètres par mètre.

L'effort à la jante peut être écrit sous la forme suivante :

$$F_j = P(v) + \frac{1000 P}{g} \gamma + Pi + P'\psi(v) + \frac{1000 P'}{g} \gamma + P'i.$$

Les trois premiers termes du second membre de cette équation étant égaux à F_c , on a :

$$F_j = F_c + P'\psi(v) + \frac{1000 P'}{g} \gamma + P'i,$$

$$T_j = T_c + P' \int_0^l \psi(v) dl + \int_0^l \frac{1000 P'}{g} \gamma dl + \int_0^l P'idl,$$

$$T_j = T_c + P' \int_0^l \psi(v) dl + \frac{1000 P'}{g} \left(\frac{v_0^2 - v^2}{2} \right) + PH,$$

en appelant v_0 et v la vitesse au commencement et à la fin du parcours l (vitesses qui sont connues par l'enregistreur du wagon-dynamomètre) et H le changement d'altitude résultant du profil de la voie.

Les deux derniers termes de cette équation étant connus, nous pouvons en exprimer la somme par A et écrire :

$$T_j = T_c + P' \int_0^l \psi(v) dl + A. \dots \dots \dots (1)$$

T_c est donné par le totalisateur du travail du wagon-dynamomètre. En appelant R' la résistance moyenne par tonne de locomotive et de tender entre les vitesses v_0 et v , on a :

$$P' \int_0^l \psi(v) dl = P'R'l,$$

et par conséquent :

$$T_j = T_c + P'R'l + A \quad (2)$$

Dans cette équation, T_j et R' sont seuls inconnus.

La méthode du Paris-Orléans consiste à déterminer R' , comme nous allons l'indiquer, et à tirer T_j de l'équation (2).

Voici cette méthode dans ses grandes lignes.

Supposons qu'on ferme le régulateur à la vitesse v_0 et qu'on le maintienne fermé jusqu'à ce que la vitesse soit réduite à v . Pendant cette période, le crayon des efforts trace un diagramme négatif qui représente à chaque instant la différence entre la résistance de la locomotive et du tender et la résistance du train.

Si on appelle K , le nombre de kilogrammètres que représente l'aire de ce diagramme et l'espace parcouru à régulateur fermé pour passer de la vitesse v_0 à la vitesse v , on aura :

$$R'l' = \frac{1000 P'}{2g} (v_0^2 - v^2) + K.$$

R' est donc déterminé, et on tire la valeur de T_j de l'équation (2).

On peut reprocher à cette méthode d'introduire dans le calcul la résistance à régulateur fermé, alors que c'est la résistance à régulateur ouvert qui est intervenue pendant que se développait le travail à la jante. C'est pour répondre à cette objection que nous avons recours au Desdouts. Cet appareil nous donnant directement le travail à la jante, l'équation (2) ne renferme plus que l'inconnue R' .

Le dynamomètre de Desdouts procure donc deux avantages très sérieux :

1° Il donne la valeur de R' à régulateur ouvert, ce qui peut être un élément important dans l'appréciation d'un moteur ;

2° En opérant comme la Compagnie du Paris-Orléans, on peut obtenir la valeur R'' de la résistance moyenne à régulateur fermé.

Enfin, la valeur du travail au crochet de traction permet de déterminer la résistance moyenne R''' des véhicules entre les vitesses v_0 et v .

Pour un même matériel, il y aura toujours une certaine concordance entre les valeurs de R' , R'' et R''' . Le simple aspect de ces trois chiffres montrera donc très commodément si les appareils sont bien réglés et si toutes les opérations ont été faites sans erreur.

Cette valeur de R''' s'obtient facilement grâce au totalisateur du wagon-dynamomètre.

Nous avons en effet :

$$T_c = \int_0^l P\varphi(v) dl + \int_0^l \frac{1,000 P}{g} \gamma dl + \int_0^l Pidl = PR''' + \frac{1,000 P}{g} (v^2 - v_0^2) + P. H. \quad (3)$$

R''' , seule inconnue dans cette équation, est donc déterminé.