

TRACTION ÉLECTRIQUE

PAR

COURANT ALTERNATIF MONOPHASÉ

TRANSFORMÉ SUR LA LOCOMOTIVE EN COURANT CONTINU

ESSAIS EFFECTUÉS SUR LA LIGNE DE CANNES A GRASSE

Par M. AUVERT,

INGÉNIEUR PRINCIPAL A LA COMPAGNIE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

(Pl. XVIII à XXI).



Dans le N^o d'octobre 1905 de la *Revue Générale*, j'ai rendu compte des premiers essais effectués en mars et avril 1905 sur un appareil nouveau, le redresseur-régulateur système AUVERT et FERRAND, que la Compagnie P.-L.-M. avait fait construire en vue de l'application du courant alternatif monophasé à la traction.

A la suite de ces essais, la Société d'Électricité Alioth obtint de la Compagnie P.-L.-M. l'autorisation de faire de nouvelles expériences sur l'appareil en question dans ses propres ateliers à Münchenstein, près Bâle.

Ces dernières expériences ayant pleinement confirmé les premiers résultats obtenus, la Société Alioth s'entendit avec la Compagnie P.-L.-M. pour construire et essayer une puissante locomotive électrique qui a permis d'étudier dans des conditions se rapprochant autant que possible de celles d'un service réel, le fonctionnement des redresseurs-régulateurs, et de déterminer les caractéristiques et en particulier le rendement du nouveau système de traction.

DESCRIPTION DE LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE.

Disposition générale. — La locomotive dont la disposition générale est représentée en élévation sur la Figure 1 et en perspective sur les Figures 2 et 3, est formée de deux trucks moteurs semblables.

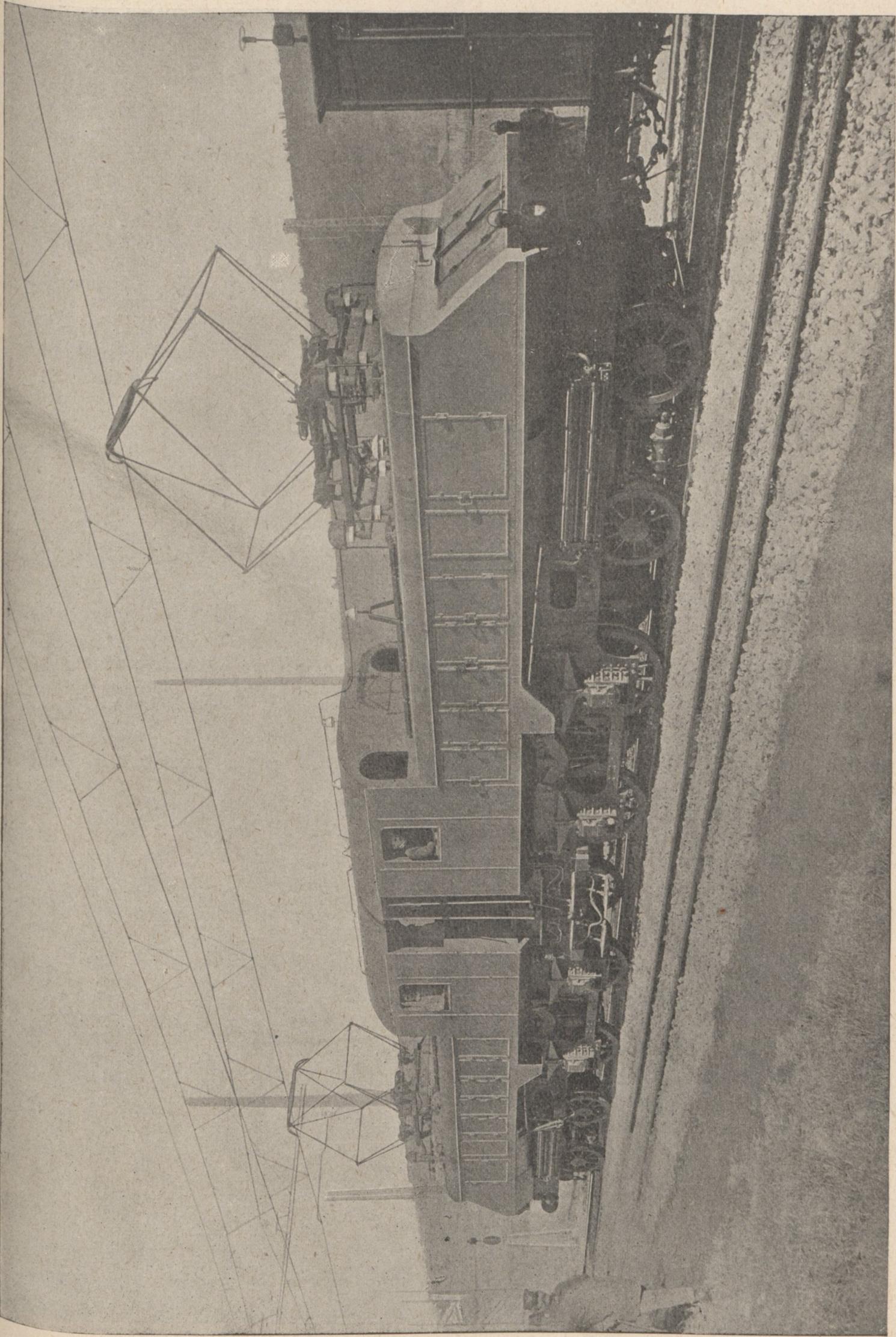
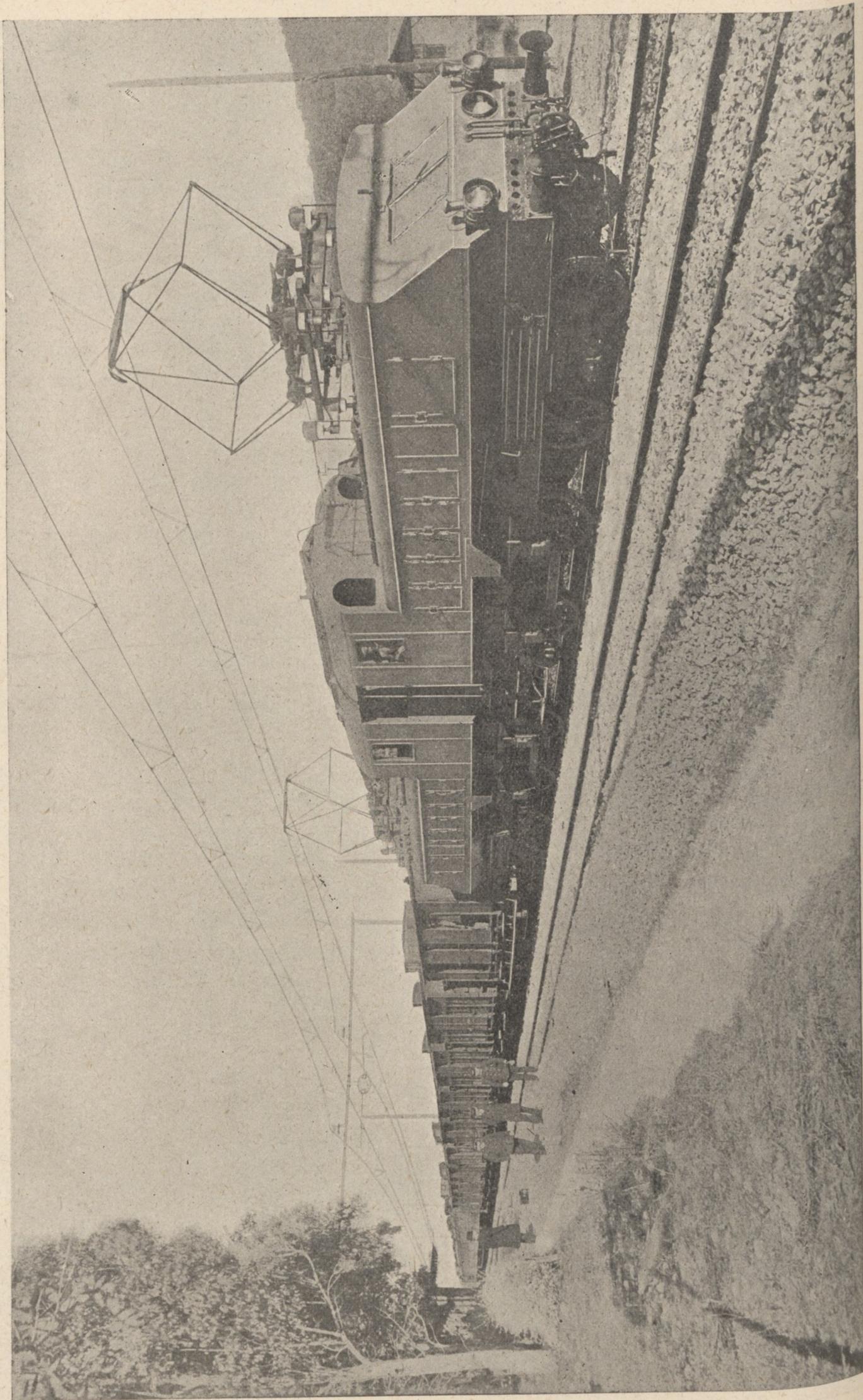


Fig. 2. — Локомотивъ электрическій. (View perspective).

Fig. 3. — LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE EN TÊTE DU TRAIN D'ESSAI.



graphe système Westinghouse; les deux prises de courant de la locomotive sont montées en parallèle.

Les deux trucks formant chacun une demi-locomotive sont complètement identiques; ils sont accouplés cabine contre cabine au moyen d'un attelage analogue à l'attelage avant d'un tender.

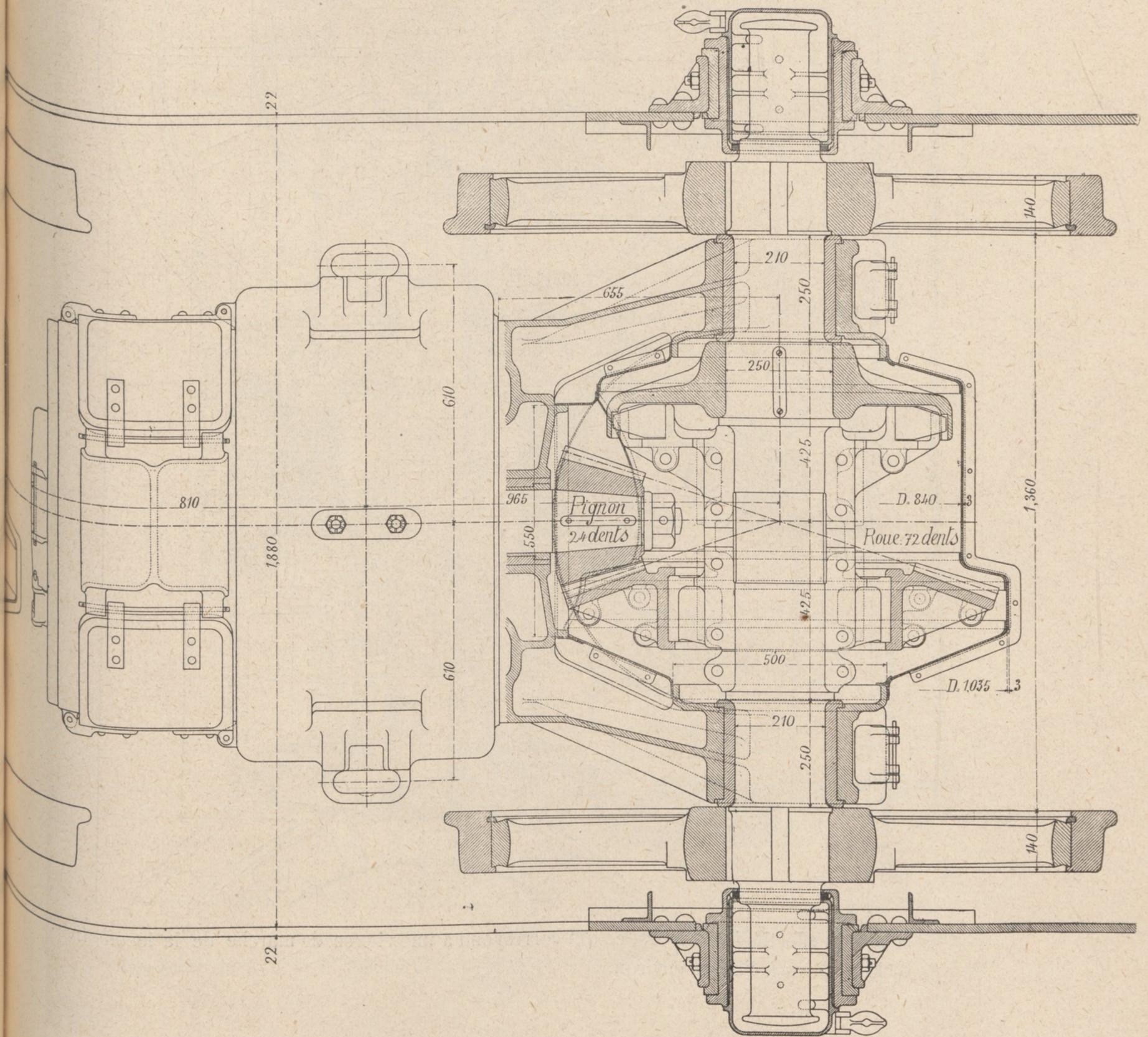
Le poids total de l'ensemble est égal à 136 tonnes qui se répartissent ainsi :

18 tonnes sur chacun des essieux moteurs;

16 tonnes sur chacun des essieux des bogies.

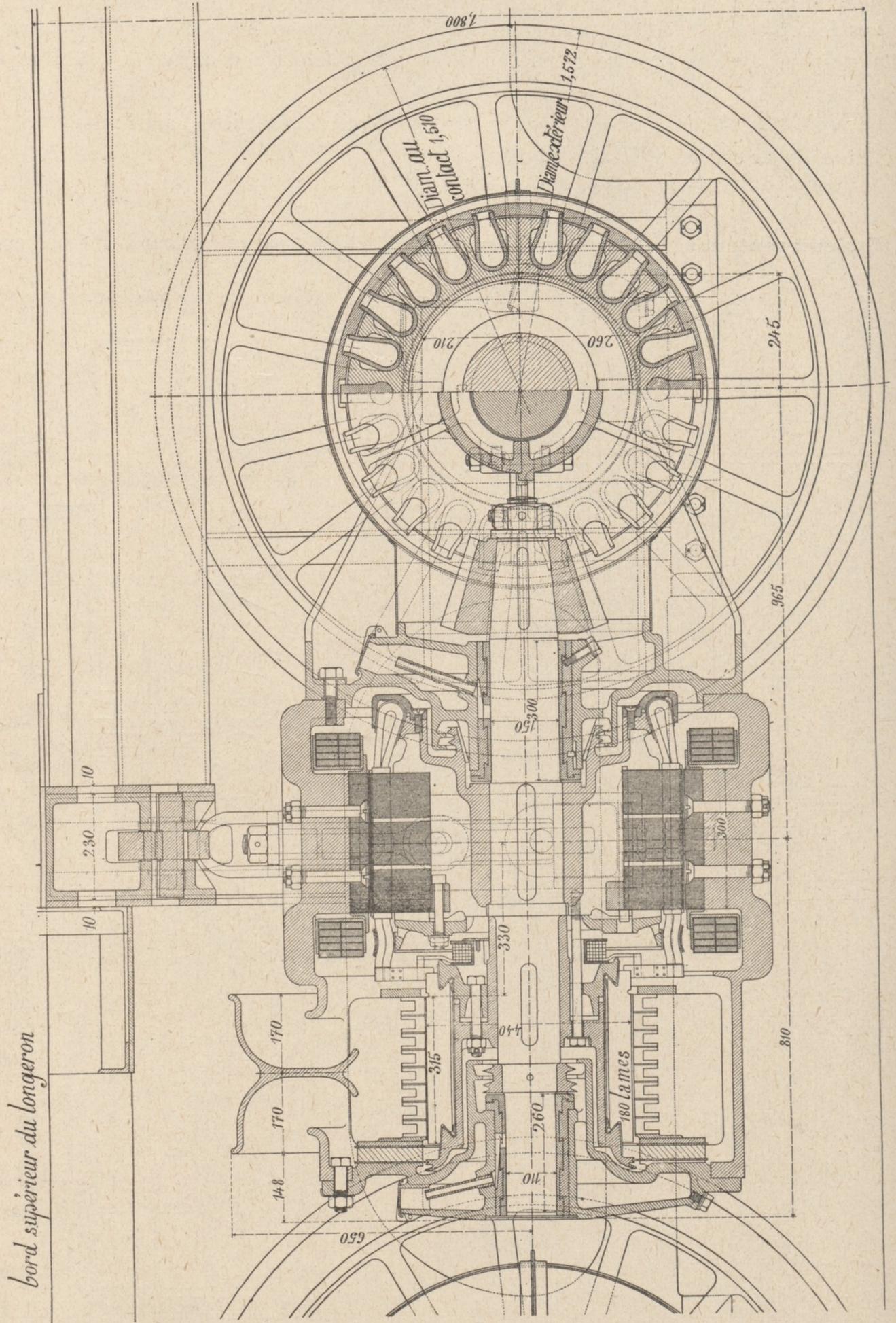
Essieux moteurs. — Chaque essieu moteur est actionné par un moteur à courant continu

Fig. 4. — MOTEUR D'ESSIEU. (Vue en plan et coupe horizontale de l'accouplement).



à excitation série, à six pôles, pouvant développer normalement pendant une heure au moins

Fig. 5. — MOTEUR D'ESSIEU. (Coupe longitudinale et accouplement élastique).



400 chevaux effectifs à 650 tours, ce qui correspond à une vitesse de marche de la locomotive de 63 kilomètres à l'heure environ.

Redresseurs. — Les deux redresseurs de chaque demi-locomotive diffèrent un peu comme construction de ceux qui ont été décrits dans le N° d'octobre 1905 de la *Revue Générale* ; ils ont d'ailleurs une puissance beaucoup plus grande.

Les deux collecteurs de chacun d'eux sont montés en série, au lieu d'être montés en parallèle comme dans le premier modèle essayé.

Les deux redresseurs eux-mêmes sont montés en série ; la tension maxima par collecteur est égale à 150 volts de sorte que la tension totale du courant redressé sur une demi-locomotive atteint 600 volts lorsque les balais mobiles sont dans la position de décalage maximum.

Le débit normal est égal à 1.200 ampères, mais peut atteindre momentanément une valeur beaucoup plus élevée.

Le décalage des balais des redresseurs est fait au moyen d'un servo-moteur dont l'organe essentiel est un petit moteur électrique disposé d'une manière toute spéciale.

L'induit de ce moteur est traversé par un courant continu sensiblement constant de faible intensité, fourni par le groupe auxiliaire moteur-générateur dont il a été parlé plus haut.

L'inducteur porte deux enroulements d'excitation ; l'un d'eux à fil fin est parcouru par un courant provenant de la même source. Ce courant a une intensité variable à la volonté du mécanicien et on peut même le changer de sens.

L'autre enroulement est constitué par 4 tours d'un conducteur de grande section qui est parcouru par le courant redressé qui alimente les moteurs d'essieux.

Ces deux enroulements sont de sens tels que le courant redressé tende à annuler l'effet du courant qui traverse l'enroulement à fil fin.

Si l'intensité du courant dans le circuit à fil fin est telle que le nombre d'ampères-tours dans ce circuit soit supérieur au nombre d'ampères-tours dans le circuit antagoniste parcouru par le courant redressé, l'induit du petit moteur tourne dans le sens voulu pour augmenter l'intensité du courant redressé en augmentant sa tension par le décalage des balais.

Le petit moteur s'arrête quand l'intensité du courant redressé est telle que l'excitation de ce moteur est nulle.

Enfin, si pour une cause quelconque l'intensité du courant redressé vient à augmenter, le moteur tourne en sens inverse de manière à diminuer la tension, ce qui ramène l'intensité au taux voulu.

Le mécanicien, en réglant à volonté l'intensité du circuit d'excitation à fil fin du petit moteur de décalage, règle donc par cela même l'intensité du courant qui traverse les moteurs d'essieux.

Ce procédé de réglage permet de réaliser des démarrages qui se font sans aucun à-coup et très rapidement, car l'effort de traction peut être maintenu sensiblement constant pendant la presque totalité du démarrage.

Il a en outre l'avantage de limiter automatiquement l'intensité du courant qui traverse les moteurs.

L'appareil de décalage des balais est disposé de telle sorte que lorsque les balais arrivent à la position qui correspond au minimum de tension, le courant à haute tension qui alimente le grand transformateur est coupé automatiquement ; d'autre part, dès que l'on commence à décaler les balais dans le sens de l'augmentation de la tension à partir de la position du minimum, le courant à haute tension qui alimente le grand transformateur est automatiquement rétabli.

L'intensité du courant redressé dans chaque demi-locomotive dépend uniquement, ainsi que

je l'ai expliqué plus haut, de l'intensité du courant d'excitation du petit moteur de décalage de cette demi-locomotive.

Les choses sont disposées de telle sorte que les circuits d'excitation à fil fin des moteurs de décalage des deux demi-locomotives sont montés en série. Il en résulte que sous l'influence du réglage opéré par le mécanicien, les deux servo-moteurs s'arrêtent dans des positions correspondantes, telles que l'intensité du courant redressé soit la même dans les deux demi-locomotives.

Changement de marche. — Le changement de marche est obtenu au moyen d'un appareil qui intervertit le sens du courant dans les inducteurs des moteurs. Cet appareil est manœuvré à distance au moyen de l'air comprimé.

Il y a un appareil de changement de marche sur chaque demi-locomotive et les circuits pneumatiques sont disposés de façon que les deux appareils sont toujours manœuvrés simultanément de l'une quelconque des cabines.

La commande des appareils de changement de marche est enclanchée mécaniquement avec l'appareil de décalage des balais du redresseur correspondant, de telle manière qu'il est impossible de changer la marche tant que les balais mobiles ne sont pas revenus dans la position qui correspond au minimum de tension et que le courant qui traverse les redresseurs n'est pas coupé.

Appareils divers. — Les interrupteurs à haute tension, aussi bien du transformateur auxiliaire que du grand transformateur, sont commandés à distance au moyen de l'air comprimé.

L'air comprimé sert également à relever ou à abaisser les pantographes de prise de courant ; toutefois, la pression que les frotteurs exercent sous le fil aérien est due uniquement à l'action de ressorts.

Indépendamment des appareils de mise en route et de contrôle du moteur générateur et des moteurs synchrones des redresseurs, le mécanicien a sous les yeux un ampèremètre et un voltmètre qui lui indiquent l'intensité et la tension du courant redressé sur la demi-locomotive où il se trouve.

On a vu plus haut que grâce au fonctionnement simultané des servo-moteurs, l'intensité et la tension sont toujours sensiblement les mêmes sur les deux demi-locomotives.

Courant d'alimentation. — Le courant d'alimentation est fourni aux pantographes à la tension normale de 12.000 volts, 25 périodes, par un fil de prise de courant en cuivre profilé de 80^{mm}² de section dont la hauteur au-dessus des rails varie depuis 6^m,000 en pleine voie jusqu'à 4^m,500 au passage sous certains ponts.

Le fil de prise de courant est maintenu parfaitement tendu au moyen d'une suspension caténaire de disposition nouvelle qui a été spécialement étudiée par la Société Alioth.

Des compensateurs de dilatation assurent une tension constante de ce fil, quelles que soient les variations de température.

L'autre conducteur de distribution est constitué par les rails de la voie, lesquels sont connectés tous les 150 mètres avec un conducteur en cuivre de 60^{mm}² de section disposé parallèlement à la voie sur les poteaux qui servent à supporter les potences auxquelles est suspendu le fil de prise de courant.

ESSAIS DE LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE.

Pour essayer la locomotive électrique, on fit choix de la ligne de Cannes à Grasse (Alpes-Maritimes) parce que cette ligne présente des rampes assez fortes atteignant jusqu'à 20^{mm} par mètre et qu'il était possible de s'y procurer l'énergie électrique nécessaire aux essais.

Celle-ci est fournie par la Société « Énergie Électrique du Littoral Méditerranéen » qui a consenti à mettre *pendant une partie de la nuit*, à la disposition de la Compagnie P-L-M. et de la Société d'Électricité Alioth, deux alternateurs de l'usine de la Siagne, qu'on fait pour la circonstance fonctionner en monophasé.

Le courant alternatif ainsi produit dans l'usine de la Siagne à la tension de 30.000 volts est ensuite transformé en courant alternatif à 12.000 volts environ dans un poste qui a été spécialement établi à cet effet par la Société Alioth en vue des essais, dans une localité dénommée le Pré-du-Lac, située à 7 kilomètres environ de Grasse.

Du poste du Pré-du-Lac le courant monophasé est conduit d'abord au poste de Grasse, appartenant à la Société « Énergie électrique du Littoral Méditerranéen », où sont installés des appareils enregistreurs de haute précision, système Hartmann et Braun, servant à mesurer *la tension, l'intensité et la puissance* du courant alternatif haute tension employé aux essais de traction.

Enfin, deux conducteurs partant du poste de Grasse aboutissent près de la gare de Grasse à un point où se fait la jonction, d'une part avec le fil aérien de prise de courant, d'autre part avec la voie et le conducteur aérien auxiliaire dont il a été question précédemment.

On a équipé électriquement sur cette ligne les 7,3 kilomètres situés entre les gares de Grasse et Mouans-Sartoux.

Essais préliminaires sans charge. — Un certain nombre de parcours haut-le-pied ont été effectués d'abord sur les voies de la gare de Grasse puis entre Grasse et Mouans-Sartoux, afin de vérifier et mettre au point la ligne de prise de courant ainsi que tous les organes de la locomotive dont la plupart avaient des dispositions entièrement nouvelles.

Ce n'est qu'ensuite qu'ont commencé les véritables essais avec charges remorquées.

Essais en charge. — Les trains d'essai sont composés d'un nombre variable de fourgons, voitures et wagons, tous munis du frein continu Westinghouse et d'un wagon dynamomètre qui enregistre les efforts de traction au crochet de la locomotive lorsque la circulation se fait dans le sens de la montée, c'est-à-dire de Mouans-Sartoux à Grasse.

Aucune mesure n'est faite dans le sens Grasse-Mouans-Sartoux, parce que dans tout le parcours la pente est telle que l'effort dû à la gravité est très supérieur à la résistance des trains.

Les résultats des essais ont été mis sous forme de graphiques dont les Pl. XVIII, XIX et XX montrent trois spécimens correspondant respectivement à des trains comprenant des charges remorquées de 198 tonnes, 225 tonnes et 236 tonnes.

En étudiant ces graphiques on voit que :

1° Les démarrages s'effectuent sans à-coup, avec une grande régularité et en même temps une grande rapidité ;

2° La puissance électrique (courbes X) demandée à la centrale sous forme de courant haute tension est très faible au début du démarrage et croît bien régulièrement avec la puissance mécanique développée ;

3° Le nombre d'ampères haute tension (courbes VIII), au moment du démarrage est également très faible, de sorte que le facteur de puissance, qui est très élevé en marche normale, reste encore relativement élevé et supérieur à 0,50, même au moment où le train commence seulement à se mettre en marche.

Il en résulte que le démarrage d'un train, même en pleine rampe, n'exerce aucun à-coup sur la centrale ;

4° Le rendement total du système (courbes XI), toutes transformations électriques et mécaniques comprises, c'est-à-dire le rapport de la puissance mécanique à la jante des roues de la locomotive, à la puissance électrique haute tension mesurée au poste de Grasse est très élevé et varie en pleine marche de 78 % à 80 %.

Remarque N° 1. — En examinant les courbes relevées au dynamomètre et particulièrement celle qui est relative au train d'essai du 5 février, train où on a supprimé l'effort moteur notablement avant l'arrêt, on remarque qu'à partir de la suppression de l'effort moteur et tandis que le train continue à rouler en vertu de la vitesse acquise, la réaction moyenne entre la locomotive et le dynamomètre est sensiblement nulle.

On doit en conclure que la résistance par tonne de la locomotive est sensiblement égale à la résistance par tonne du train remorqué.

Donc, si on désigne par F l'effort de traction à la jante des roues motrices, par f l'effort de traction au crochet enregistré par le dynamomètre, par p le tonnage du train remorqué évalué en tonnes, 136 étant le poids en tonnes de la locomotive, on en déduit :

$$F = f \frac{p + 136}{p}$$

Il est clair que les puissances à la jante et au crochet de traction sont dans le même rapport :

$$\frac{p + 136}{p}$$

Remarque N° 2. — Les essais effectués de Mouans-Sartoux à Grasse, malgré leur courte durée, permettent de vérifier le fonctionnement de tous les organes électriques et mécaniques de la locomotive et de faire toutes les mesures relatives au rendement du système.

Ils ne pourraient cependant donner que des indications insuffisantes en ce qui concerne l'échauffement, mais des essais préliminaires faits dans les ateliers] du constructeur à Münchenstein sur les transformateurs statiques, les redresseurs-régulateurs et les moteurs, ont permis de déterminer les intensités normales et les limites admissibles pour chacun de ces appareils.

En se basant sur les résultats de ces essais d'atelier et sur les débits relevés au cours des essais récents, on est fondé à considérer comme puissance normale horaire, la puissance de 1.700 chevaux qui a été plusieurs fois atteinte et même dépassée notablement dans les essais de traction faits jusqu'à ce jour.

CONSTATATIONS FAITES AU COURS DES ESSAIS.

Prises de courant. — La ligne de prise de courant et les pantographes se sont toujours comportés parfaitement pendant les essais et les passages sous les ponts surbaissés n'ont donné lieu à aucune difficulté.

Il n'y a pas d'étincelles appréciables au contact du pantographe avec le fil aérien.

Redresseurs-Régulateurs. — Le fonctionnement des redresseurs-régulateurs en tant que convertisseurs de courant, avait été vérifié de la façon la plus complète dans les ateliers de Münchenstein au point de vue du rendement et de la commutation, mais on n'avait pas de certitude absolue sur la manière dont se comporteraient les moteurs synchrones de ces redresseurs dans la réalité, lorsqu'ils seraient alimentés par une ligne sujette à des variations importantes de fréquence et de tension.

On a constaté qu'en pratique la stabilité de ces moteurs est complète et qu'il ne se produit jamais d'oscillation pendulaire de l'un à l'autre, même dans le cas de variation brusque et importante dans le débit ou la tension de la ligne.

Ce résultat a été obtenu grâce à l'emploi d'amortisseurs très puissants et d'un dispositif spécial d'accouplement électrique des induits entre eux qui les forcerait à osciller synchroniquement, si une oscillation avait tendance à se produire.

Effort au démarrage. — Il est possible d'exercer des efforts considérables au crochet de traction, *la locomotive étant immobile*, et cela pendant un temps relativement long, plusieurs minutes, *sans aucun inconvénient pour les appareils électriques*.

Cet avantage, qui résulte de l'emploi du courant continu dans les moteurs de la locomotive, peut présenter un intérêt tout particulier dans le cas où on manquerait le démarrage, ce qui peut se produire par exemple à la suite d'un desserrage incomplet des freins.

Le tableau ci-après indique les efforts que la locomotive, *en restant immobile*, peut exercer pendant *deux minutes* environ au crochet de traction ; il indique également les intensités, voltages, puissances électriques et facteurs de puissance correspondants :

EFFORT de traction enregistré.	VOLTAGE enregistré	INTENSITÉ enregistrée	PUISSANCE électrique apparente en KVA	PUISSANCE électrique réelle enregistrée en KW.	FACTEUR de puissance.
k	v	a			
3875	11.500	33,5	385,25	200	0,51
6650	»	37,0	»	248	»
7250	11.500	39,5	454,25	265	0,58
8100	11.350	45,0	510,75	320	0,62
9800	10.950	53,0	580,35	405	0,69

Il y a lieu de remarquer dans le tableau ci-dessus les faibles valeurs des intensités ainsi que l'élévation *relative* des facteurs de puissance au moment où la locomotive est encore immobile.

CONCLUSION.

Les résultats obtenus permettent de conclure qu'en employant les redresseurs-régulateurs, on peut opérer la traction électrique des trains à l'aide du courant alternatif monophasé avec un rendement élevé et une grande souplesse, avantages qui intéressent aussi bien les stations centrales que les locomotives elles-mêmes.

Il restait toutefois, en partant de l'expérience acquise dans les essais d'atelier et les essais de traction faits sur la ligne de Grasse, à créer un type de locomotive véritablement pratique, aussi simple et léger que possible, eu égard à la puissance réalisée.

Projet de locomotive nouvelle. — Je donne ci-après, à titre d'exemple, les conditions d'établissement et les dessins d'ensemble (Voir Pl. XXI), d'une locomotive électrique de grande puissance dont le projet a été établi en vue d'une application particulière :

Puissance normale horaire.....	2.000 chevaux ;
Effort à la jante des roues motrices.....	12.800 kgs.
Vitesse correspondant à l'effort ci-dessus.....	42 klm. à l'heure.
Vitesse maximum.....	75 klm. à l'heure.

Cette locomotive comporte un châssis unique qui repose sur 4 essieux moteurs accouplés entre eux et 2 essieux porteurs.

Chaque essieu porteur est conjugué avec l'essieu moteur voisin par le dispositif Zara dont les avantages sont bien connus.

Il n'y a plus qu'un seul moteur à courant continu de 2.000 chevaux qui commande les essieux moteurs par l'intermédiaire d'un faux essieu et de bielles d'accouplement verticales et horizontales.

Ce moteur, placé au centre de la caisse, est parfaitement accessible dans toutes ses parties et prévu avec un grand entrefer entre les inducteurs et l'induit, de sorte que l'entretien en sera facile et le fonctionnement très sûr.

Il est alimenté par un seul redresseur double et un seul transformateur principal.

Ces appareils sont étudiés en vue de l'emploi du courant monophasé à 15 périodes par seconde.

Les redresseurs auront 4 lignes de balais comme ceux de la locomotive d'essai, mais par suite de la diminution de la fréquence, la vitesse périphérique de leurs collecteurs ne dépassera pas 17 mètres par seconde, ce qui constitue un grand avantage car tous les praticiens connaissent les multiples inconvénients qui résultent des vitesses trop élevées pour les appareils munis de collecteurs.

Un petit redresseur auxiliaire à démarrage automatique remplace les moteurs générateurs auxiliaires de la locomotive d'essai.

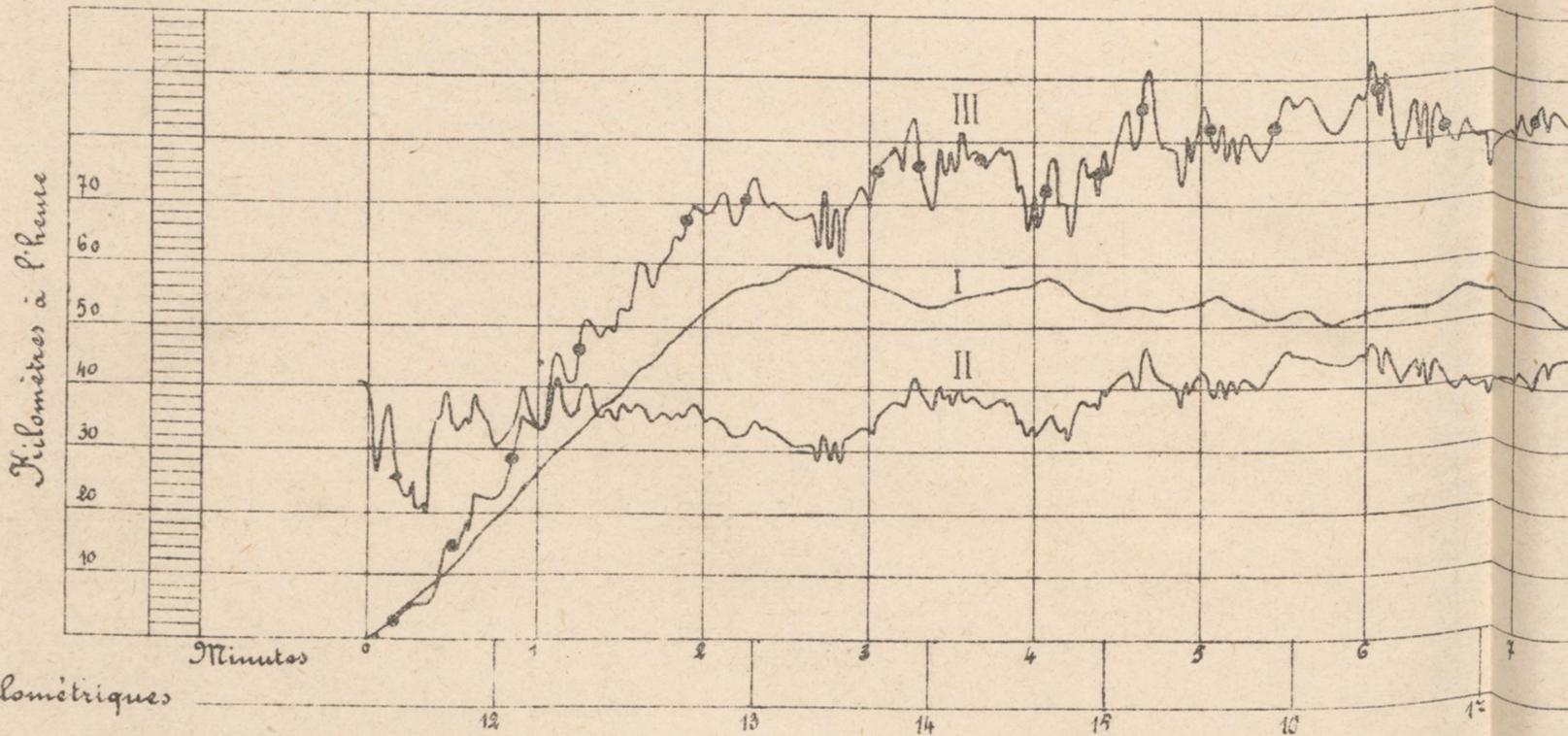
Le nombre des *organes principaux* de la nouvelle locomotive est ainsi réduit de *plus* de moitié et le châssis est considérablement allégé.

Comme en outre, il n'est plus nécessaire d'avoir un système de commande multiple afin d'asservir l'un à l'autre les deux appareils de changement de marche et de décalage des balais comme dans la locomotive d'essai, les *organes accessoires* sont très simplifiés.

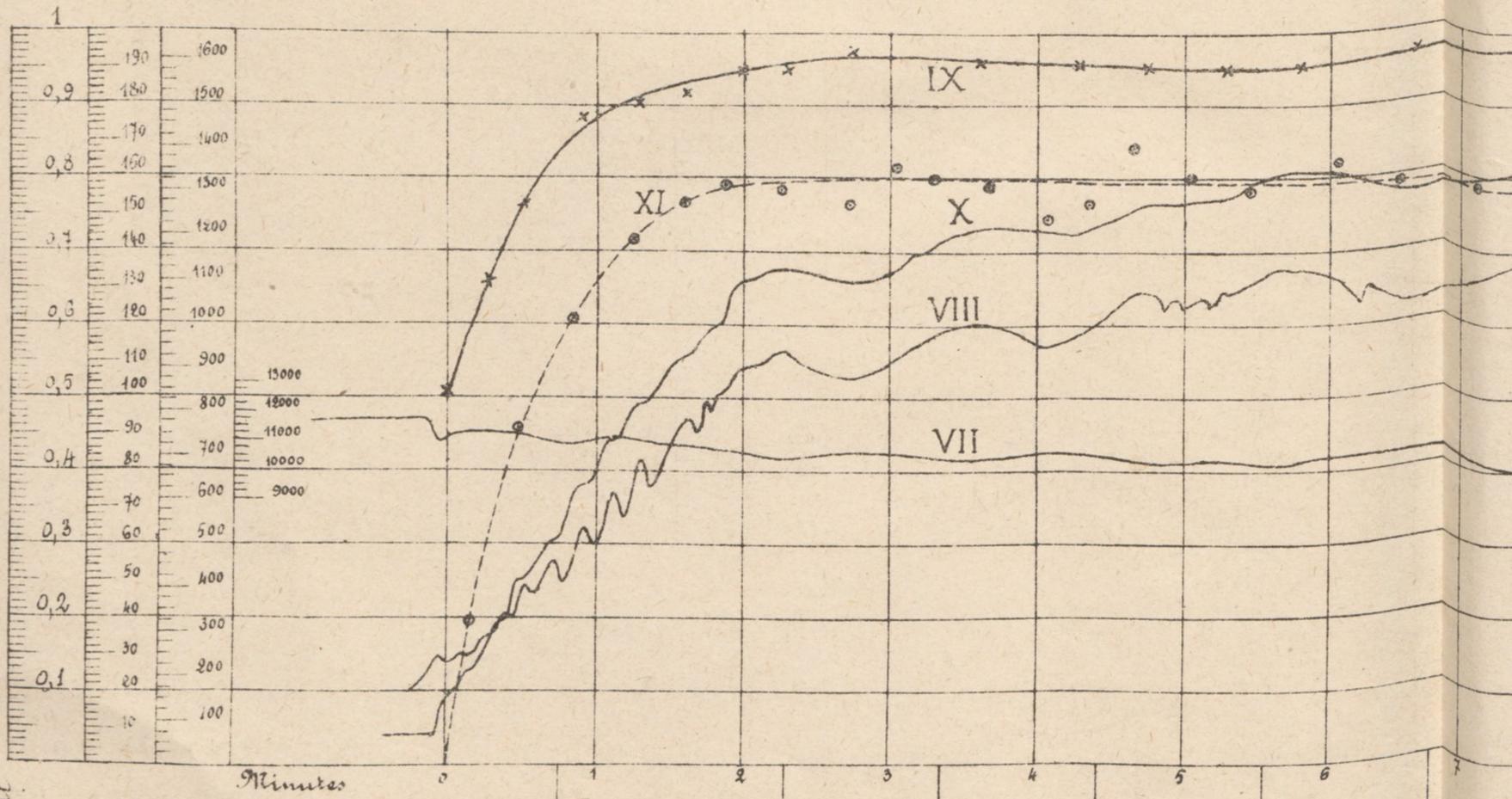
Il résulte de ces conditions nouvelles une diminution de poids considérable.

Le poids total de la nouvelle locomotive ne dépassera pas 96 tonnes dont 72 tonnes sur les essieux moteurs et 24 tonnes sur les essieux porteurs.

On obtient la puissance à la jante des roues motrices en multipliant les ordonnées de la courbe III par le rapport $\frac{334}{198} = 1,68$



Points kilométriques



Rendement

Ampères

Kilowatts

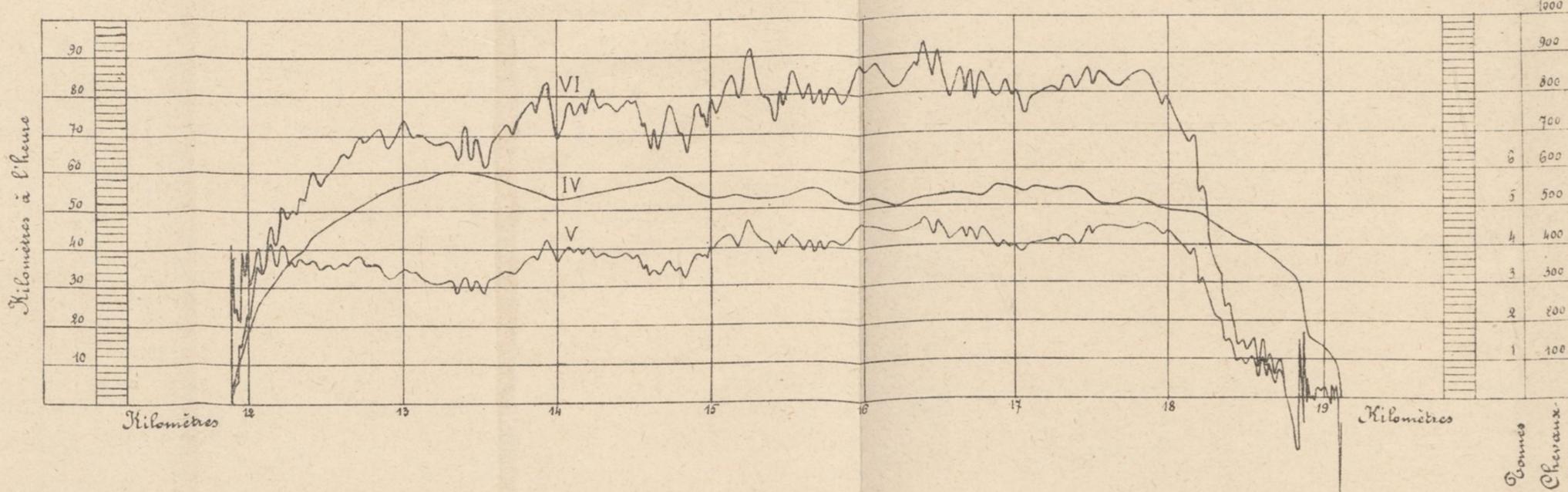
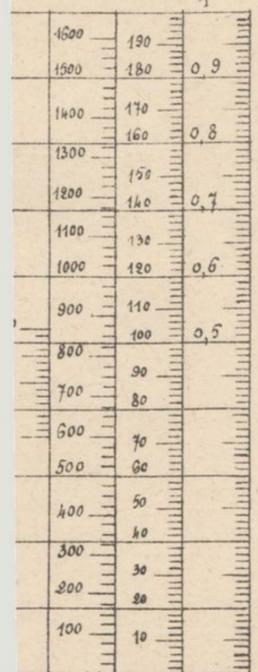
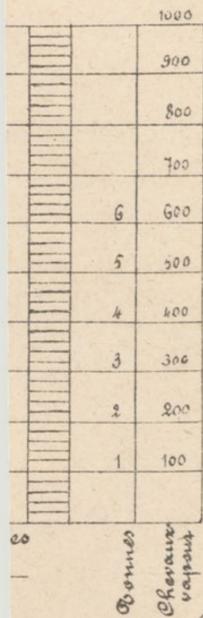
Volts

Minutes

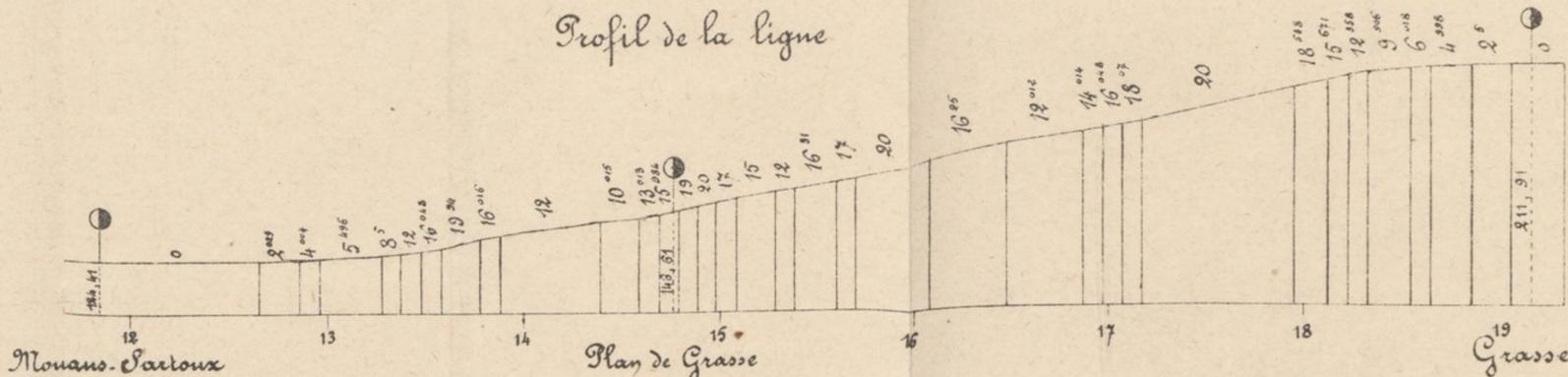
Points kilométriques

essai du 26 novembre 1910

Charge du train remorqué 198 T
 Charge totale du train 334 T



Profil de la ligne

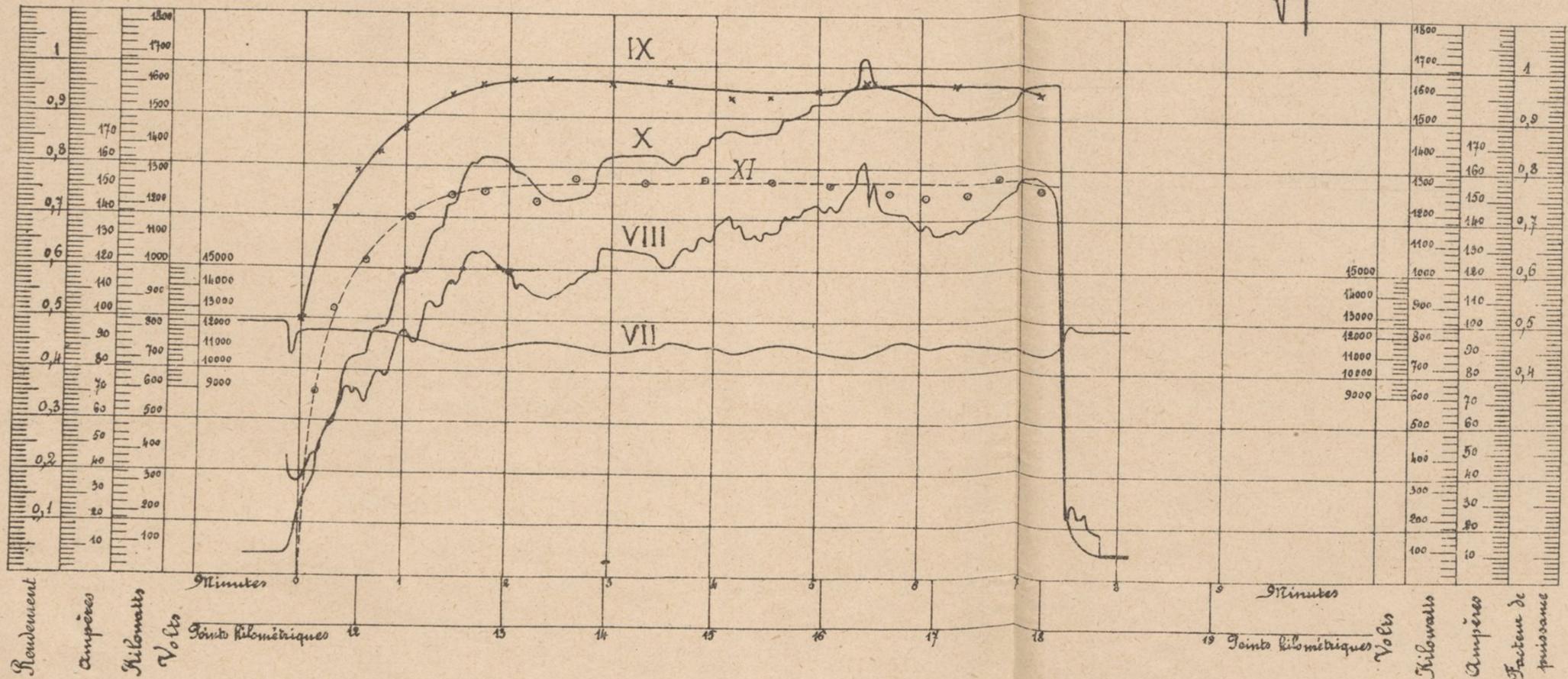
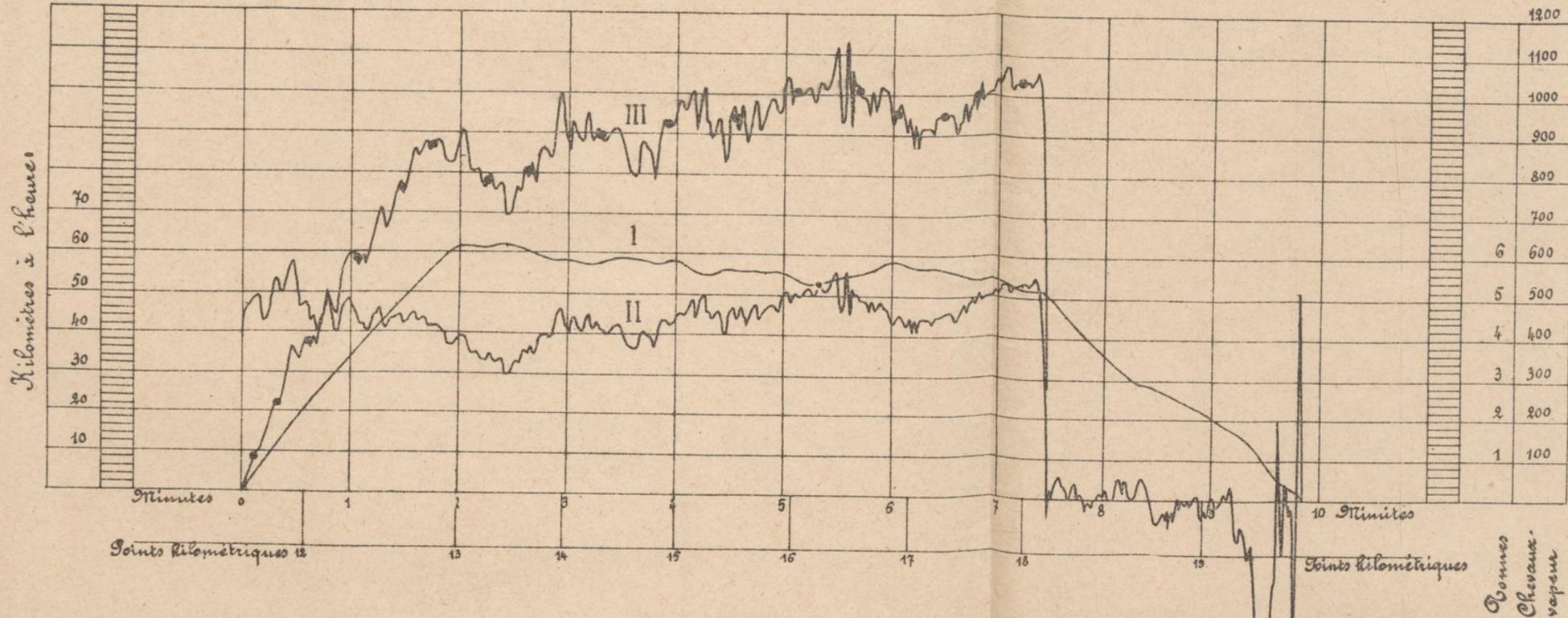


Légende des courbes

- x Points calculés de la courbe IX
- I Vitesse du train en fonction du temps
- II Effort au crochet de traction en fonction du temps
- III Puissance au crochet de traction en fonction du temps
- IV Vitesse du train en fonction de l'espace parcouru
- V Effort au crochet de traction en fonction de l'espace parcouru
- o Points calculés de la courbe XI et correspondant aux points de la courbe III
- VI Puissance au crochet de traction en fonction de l'espace parcouru
- VII Voltage du courant haute-tension en fonction du temps
- VIII Intensité du courant haute-tension en fonction du temps
- IX Facteur de puissance du courant haute tension en fonction du temps
- X Puissance électrique haute tension en fonction du temps
- XI Rendement: $\frac{\text{Puissance à la jante des roues motrices}}{\text{Puissance électrique du courant haute tension}}$

Essai du 5 Février

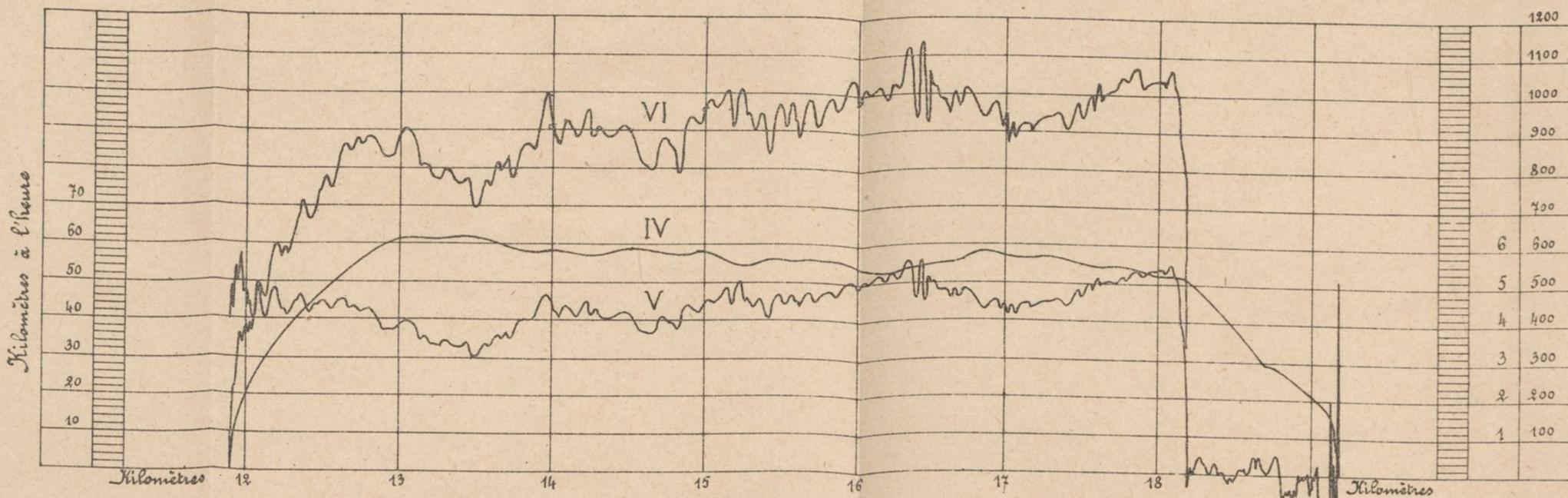
On obtient la puissance à la jante des roues motrices en multipliant les ordonnées de la courbe III par le rapport $\frac{361}{225} = 1,61$



essai du 5 Février 1911

Poids du train remorqué 225 T
Poids total du train 361 T

1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100

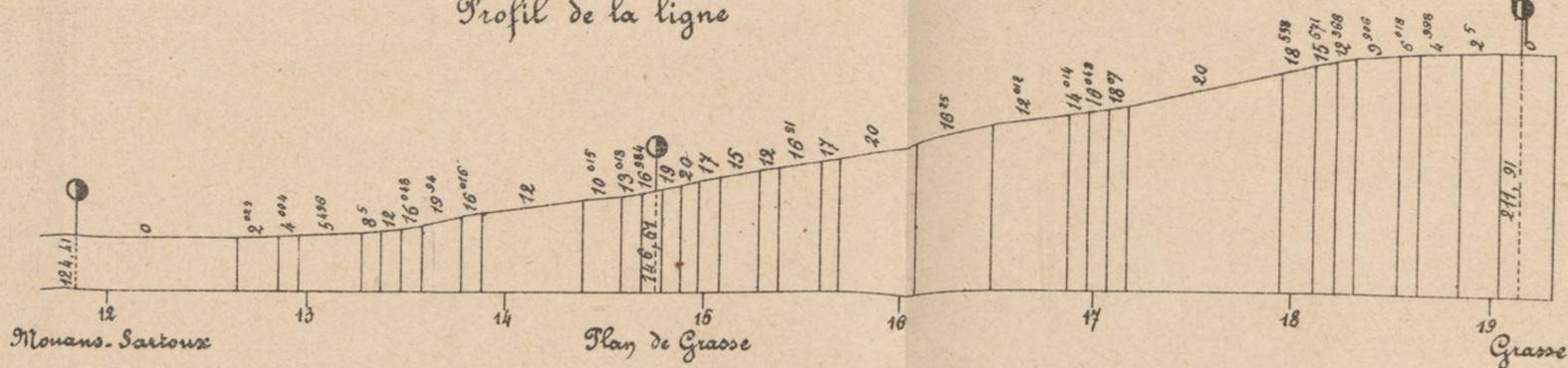


Composés
Chevaux
vapeur

Composés
Chevaux
vapeur

170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

Profil de la ligne



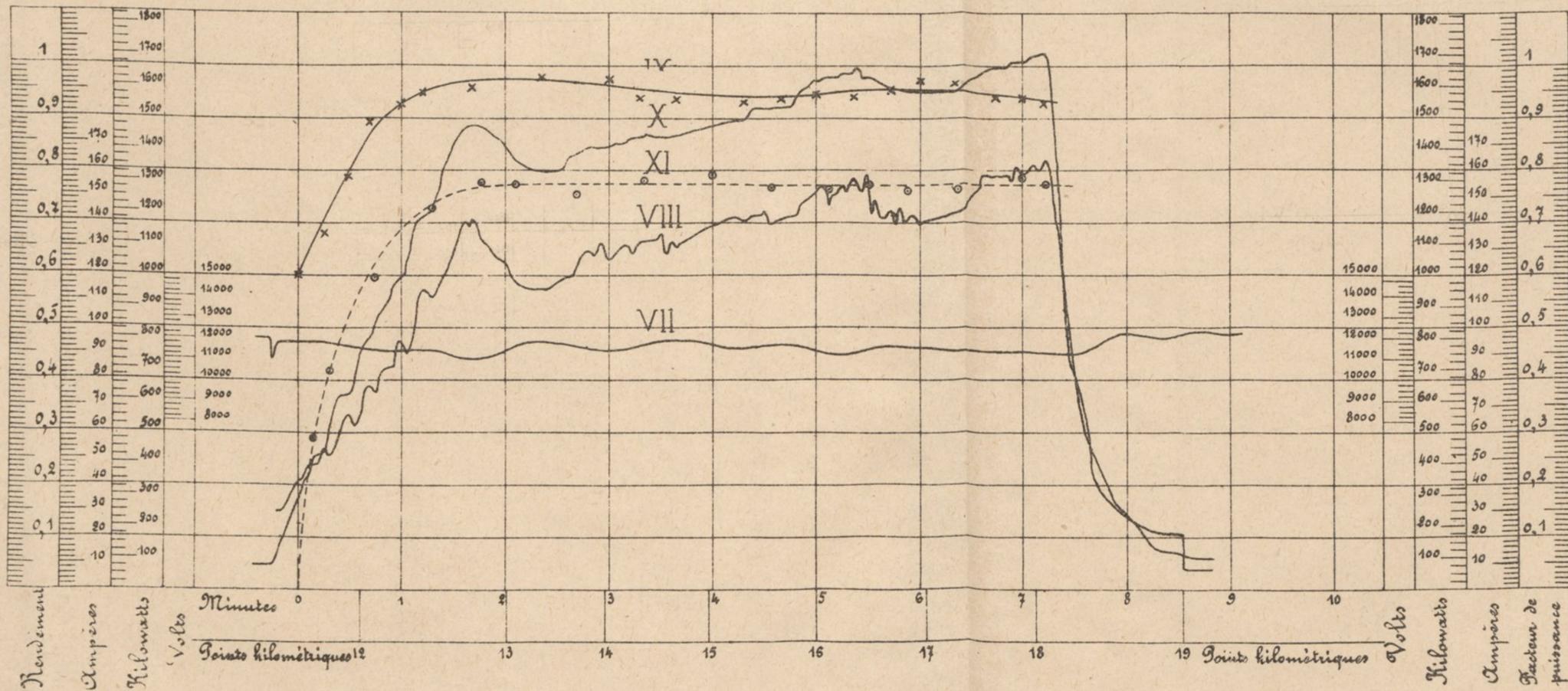
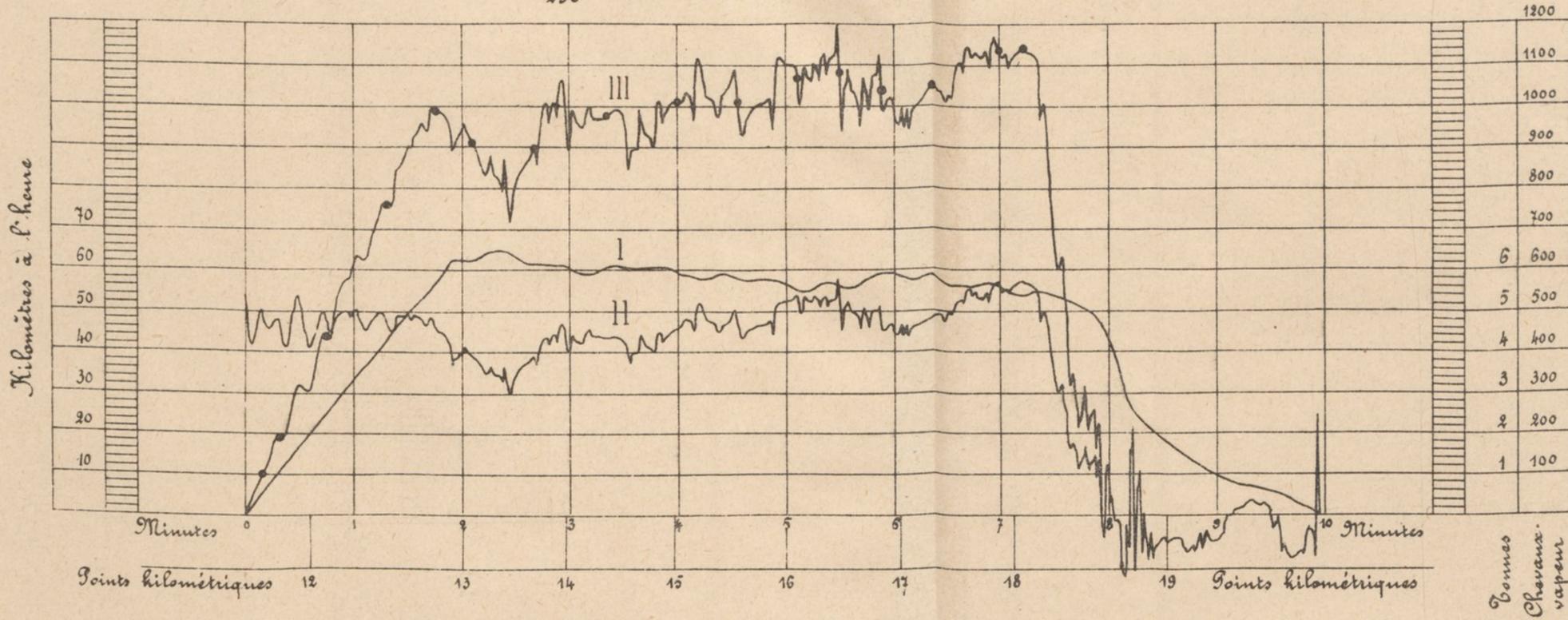
Légende des courbes

- x Points calculés de la courbe IX
- I Vitesse du train en fonction du temps
- II Effort au crochet de traction en fonction du temps
- III Puissance au crochet de traction en fonction du temps
- IV Vitesse du train en fonction de l'espace parcouru
- V Effort au crochet de traction en fonction de l'espace parcouru
- o Points calculés de la courbe XI et correspondant aux points de la courbe III
- VI Puissance au crochet de traction en fonction de l'espace parcouru
- VII Voltage du courant haute tension en fonction du temps
- VIII Intensité du courant haute tension en fonction du temps
- IX Facteur de puissance du courant haute tension en fonction du temps
- X Puissance électrique haute tension en fonction du temps
- XI Rendement : $\frac{\text{Puissance à la jante des roues motrices}}{\text{Puissance électrique du courant haute tension}}$

Ampères
Facteur de
puissance

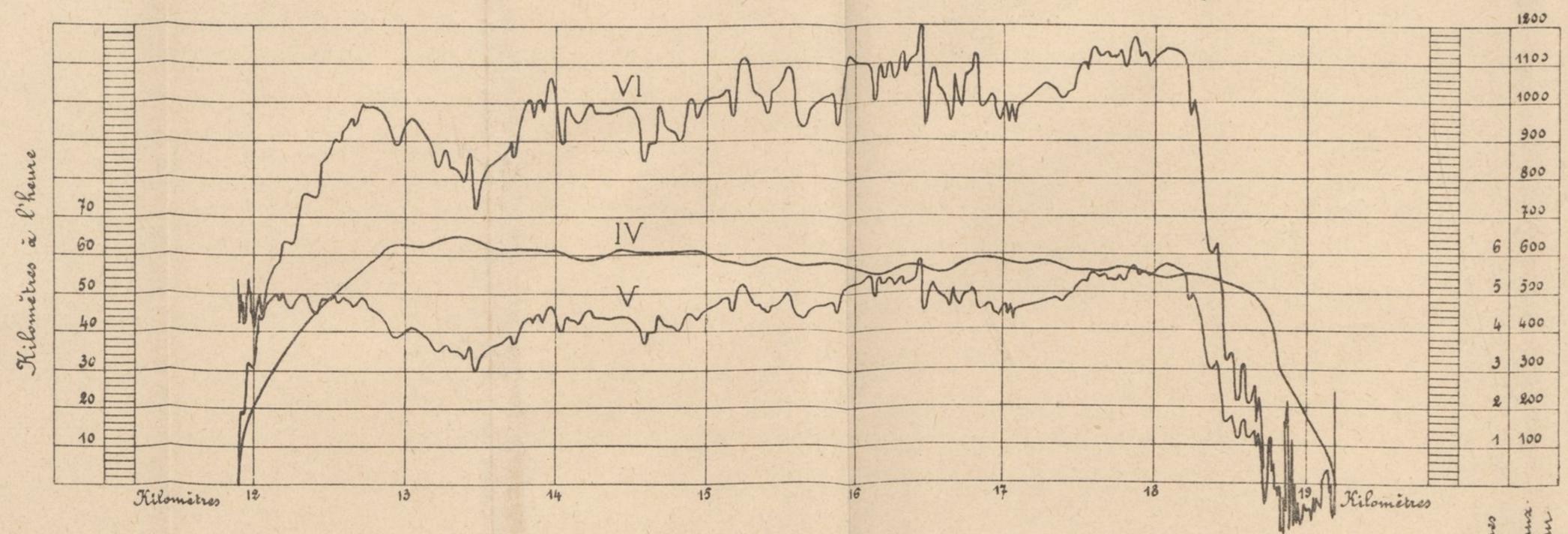
Essai du 16 Février

On obtient la puissance à la jante des roues motrices en multipliant les ordonnées de la courbe III par le rapport $\frac{372}{236} = 1,57$



ai du 16 Février 1911

Commage du train remorqué 236 T
Commage total du train 372 T



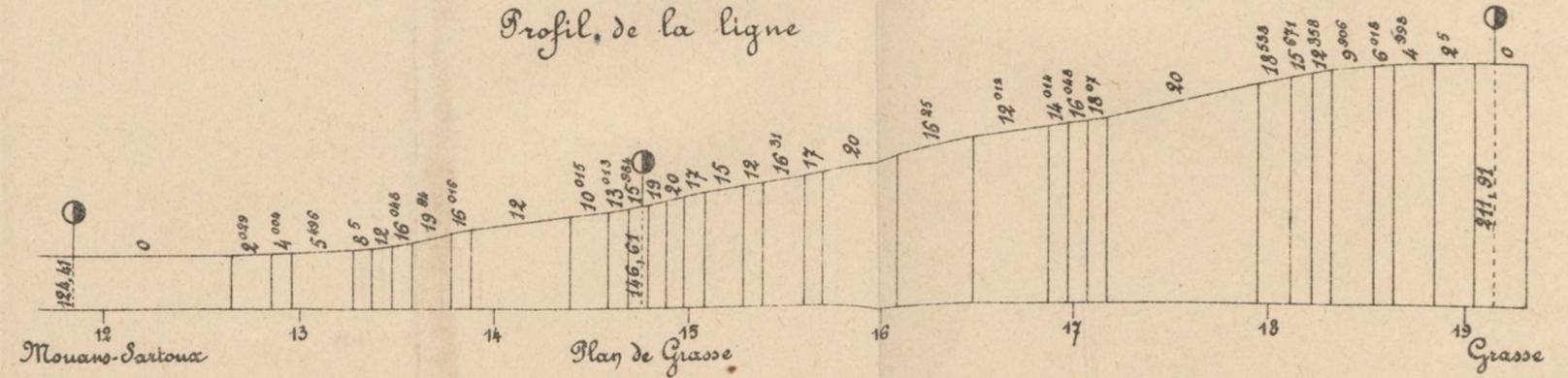
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100

1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100

Bonnes
Chevaux
vapeur

Bonnes
Chevaux
vapeur

Profil de la ligne



1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

Ampères
Facteur de
puissance

Légende des courbes

- I Vitesse du train en fonction du temps
 - II Effort au crochet de traction en fonction du temps
 - III Puissance au crochet de traction en fonction du temps
 - IV Vitesse du train en fonction de l'espace parcouru
 - V Effort au crochet de traction en fonction de l'espace parcouru
 - VI Puissance au crochet de traction en fonction de l'espace parcouru
 - VII Voltage du courant haute tension en fonction du temps
 - VIII Intensité du courant haute tension en fonction du temps
 - IX Facteur de puissance du courant haute tension en fonction du temps
 - X Puissance électrique du courant haute tension en fonction du temps
 - XI Rendement : $\frac{\text{Puissance à la jante des roues motrices}}{\text{Puissance électrique du courant haute tension}}$
- x Points calculés de la courbe IX
o Points calculés de la courbe XI et correspondant aux points o de la courbe III

