

et aux vitesses de moins de 80 km/h d'à peu près 20%, supposant que le surplus de contrepoids et les méplats des bandages ne sont pas exagérés.

11. Pendant le mouvement des trains le rail est sujet à des vibrations libres dont la période varie dans les limites de 0,006" à 0,004". L'amplitude des vibrations libres du rail ne dépasse pas 0,01 de son abaissement sous la charge des roues.
12. Les déformations verticales du rail s'attardent par rapport au moment du passage de la roue qui les provoque. La valeur observée de ce retard est en moyenne d'à peu près 0,008", ce qui répond à 86 mm de parcours de la roue.

#### IV. Le travail du rail.

##### 1. Établissement des déplacements synchrones horizontaux et verticaux sur les épreuves.

Les déformations verticales du rail ont permis de se rendre compte, quoique indirectement, des efforts dont ils furent la suite et, par conséquent, du travail des rails. Cependant la détermination théorique du travail des rails d'après ces déformations ne peut pas remplacer le mesurage direct des tensions qui peuvent résulter de l'action de différente espèce d'efforts. En se proposant d'effectuer ce mesurage, on a jugé nécessaire qu'il soit lié aussi étroitement que possible au mesurage des déformations verticales pour mieux juger de leur rapport. Heureusement on a pu l'obtenir en se servant de prismes rejetant l'image photographique de l'abaissement du rail parallèlement à l'image de l'allongement de ses fibres, comme nous l'avions décrit plus haut page 18. Ce document hors de doute des phénomènes synchrones exigeait cependant qu'on sache bien le lire, puisque les marques traçant sur la pellicule sensible l'allongement des fibres du rail suivaient aussi ses abaissement et que, par conséquent, les contours des diagrammes des déplacements verticaux et des déplacements horizontaux du point observé dépendaient l'un de l'autre.

De plus, les photographies d'un point du rail sur pellicule se mouvant verticalement ont montré, que pendant le passage d'un train ce point ne décrivait pas une ligne verticale, mais qu'il avait des mouvements dans la direction de l'axe du rail<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> De l'image de deux marques placées une sous l'autre, l'image d'une de ces marques a pu être retournée de manière que sur la pellicule de l'appareil ajusté les deux marques se trouvaient à la même hauteur, sur une ligne perpendiculaire à la direction du mouvement de la pellicule. La disposition primitive des marques et leurs mouvements se présentaient sur pellicule vue du côté de la voie, (c'est-à-dire du côté de l'émulsion, duquel on examinait ensuite l'épreuve sous le comparateur), comme on le voit sur figure 45. Au passage des trains l'image des marques en mouvement ne restait pas, évidemment, sur le même niveau c'est-à-dire sur la même ordonnée des deux diagrammes.

Pour expliquer la manière de déterminer la position des points des deux diagrammes correspondant au même moment de l'observation, examinons d'abord les déplacements d'un même point  $a$  (fig. 44) photographié par deux appareils. Dans un de ces appareils, dans lequel la pellicule sensible se meut horizontalement de droite à gauche, le point  $a$  trace le diagramme de ses mouvements verticaux, tandis que dans le second de ces appareils, dans lequel la pellicule sensible est remuée verticalement de haut en bas, le même point  $a$  trace le diagramme de ses mouvements horizontaux.

Mettons les deux diagrammes un sur l'autre sous angle droit des deux directions de leur mouvement de manière que le point  $a'$  correspondant au moment  $t$  du rail non déformé, occupe la même place (fig. 44). Au point d'intersection des deux diagrammes nous trouvons un point  $a$  indiquant au moment  $t$  la position véritable du point observé, déplacé par suite de la déformation du rail. Comme on le voit, dans ce cas le déplacement de ce point  $a$  a eu lieu sur les deux diagrammes dans la direction du mouvement de la pellicule sensible, c'est-à-dire, qu'il s'est reculé vers le point initial du diagramme: sur le diagramme des mouvements verticaux de la composante horizontale  $h$ , et sur le diagramme des mouvements horizontaux de la composante verticale  $v$  du déplacement.

Sur le diagramme combiné des mouvements horizontaux et des mouvements verticaux (fig. 45) qu'on obtient avec l'appareil muni de prismes, l'abscisse du point  $a$  aura sur le diagramme des mouvements horizontaux une position de  $v-h$  plus rapprochée de sa position initiale  $a_0 a_0$  que sur le diagramme des mouvements verticaux.

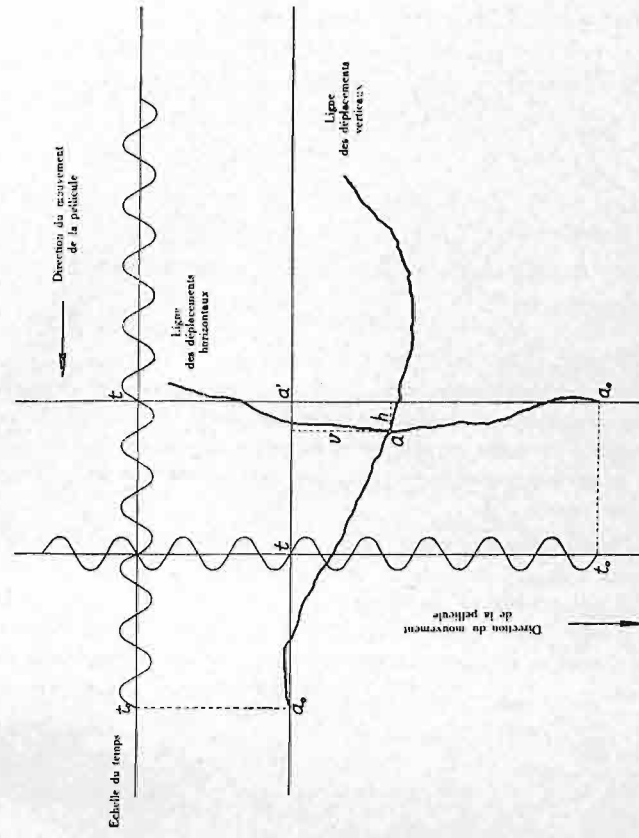


Fig. 44. Mouvements d'une marque enregistrés au moyen de deux appareils.

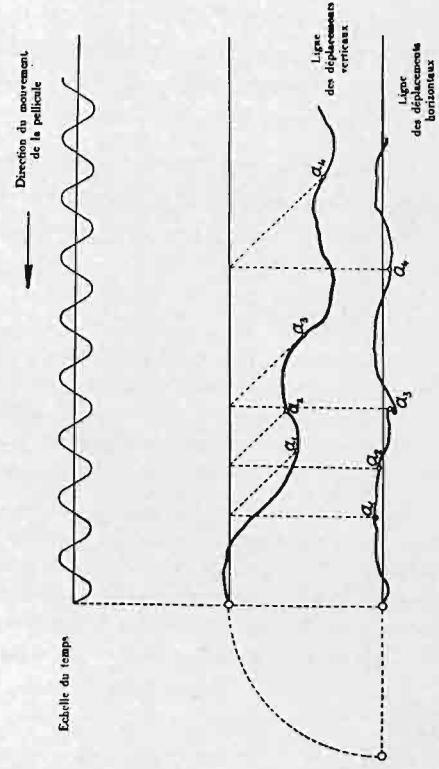


Fig. 46. Influence des mouvements verticaux sur le diagramme des mouvements horizontaux (axiaux).

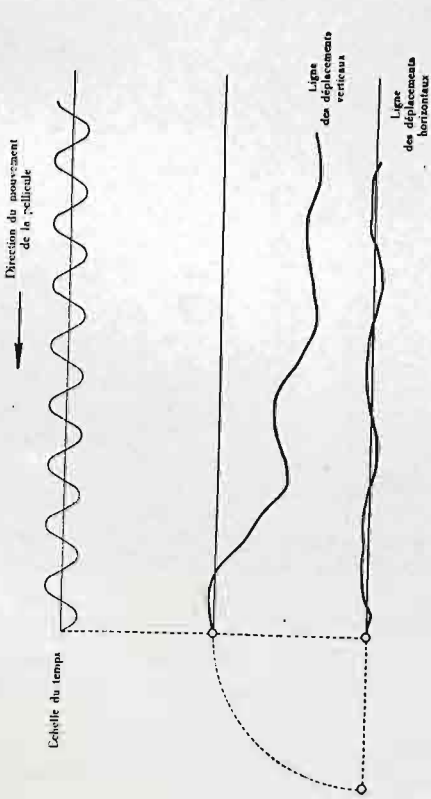


Fig. 43. Schéma de la disposition des marques et de leur mouvement sur pellicule.

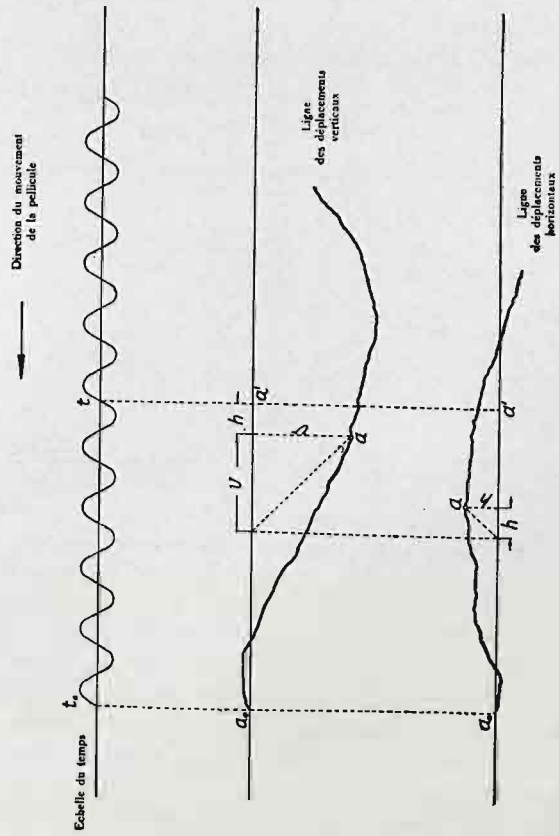


Fig. 45. Détermination de la position synchrone des marques sur les diagrammes des mouvements verticaux et horizontaux (axiaux).

Une construction géométrique, indiquée sur fig. 45, facilitait l'indication sur un des diagrammes de la position du point  $a$  qui fut synchrone à sa position sur l'autre diagramme, de même que l'indication du moment  $t$  qui leur correspondait. Si un diagramme, ou bien tous les deux, furent situés de l'autre côté de l'axe des abscisses, la construction géométrique a dû être conformément modifiée.

Les déplacements longitudinaux du rail sont généralement très petits. Il s'ensuit que l'indication sur les diagrammes de ces mouvements des points synchrones aux points du diagramme des abaissements se réduisait ordinairement à reculer chaque point vers l'origine du diagramme de la valeur de l'abaissement <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Comme la fig. 46 le démontre, le mouvement du point observé sur le diagramme des déplacements horizontaux du rail est uniforme autant que son abaissement (près du point  $a_1$ ) reste constant. La vitesse de ce mouvement dépasse celle de la pellicule sensible lorsque l'abaissement du rail (près du point  $a_2$ ) va en décroissant, cette vitesse devient au contraire de plus en plus petite et même négative, c'est-à-dire produisant un mouvement de recul, lorsque l'abaissement (près des points  $a_3$ ,  $a_4$ ) augmente.

Pour éviter sur le diagramme des mouvements horizontaux le recul du point observé et la formation en ce moment des grossissements de la ligne et des noeuds rendant difficile la lecture de ces mouvements sous le comparateur, il faut que la vitesse de l'abaissement du point observé ne dépasse pas celle du mouvement de la pellicule sensible. Le diagramme de l'abaissement d'un point du rail sous charge isolée peut être envisagé comme axe déformé d'une poutre infiniment longue sur assise élastique au moment que la charge se trouve au droit de ce point. La tangente à l'axe déformé de cette poutre est:

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{G}{C b_s L_s^2} \gamma'$$

$\gamma'$  atteignant la valeur  $\max \gamma' = 0,3224$ .

$$\text{Admettant} \quad C b_s = \frac{D}{a} \quad L_s = a \sqrt[4]{\frac{2}{3} \gamma}$$

une charge maximum de roue éloignée des autres

$$G = 9,25 \text{ t}$$

et les valeurs suivantes pour superstructure observée:

$$D = 10 \text{ t/cm}; \quad \gamma = \frac{B}{D} = 4,78; \quad a = 73 \text{ cm}$$

on obtient:

$$L_s = 97,53; \quad C b_s = \frac{D}{a} = 0,1370 \text{ t/cm}^2$$

$$\max \operatorname{tg} \nu = \frac{9,25 \times 0,3224}{0,1370 \times 97,53^2} = 0,00229$$

Pour que  $\operatorname{tg} \nu$  à l'échelle déformée des diagrammes ne dépasse pas 1, le rapport de l'échelle des abscisses à l'échelle des ordonnées ne doit pas être inférieur à 0,00229. Or, l'échelle des ordonnées fut de quatre fois grandeur naturelle. Donc pour éviter des noeuds, l'échelle des ordonnées, gardant une petite réserve, ne devait être moindre que de 0,01, ou, ce qui revient au même, la vitesse du mouvement de la pellicule sensible en cm/sec ne devait pas être moindre de la vitesse du train en m/sec.

On était rarement à même de remplir cette condition, vu la difficulté d'obtenir de bonnes épreuves à de grandes vitesses de déroulement de la pellicule sensible. C'est pourquoi ordinairement on n'a pas pu éviter les noeuds aux moments de recul de l'image du point observé et, d'autant plus, des grossissements aux endroits où la courbe du diagramme formait un angle d'à peu près  $45^\circ$  avec l'abscisse et où l'image du point observé restait immobile. On comprend d'autant mieux ces difficultés de l'observation des allongements, si l'on considère les vibrations du rail donnant des courbures raides.



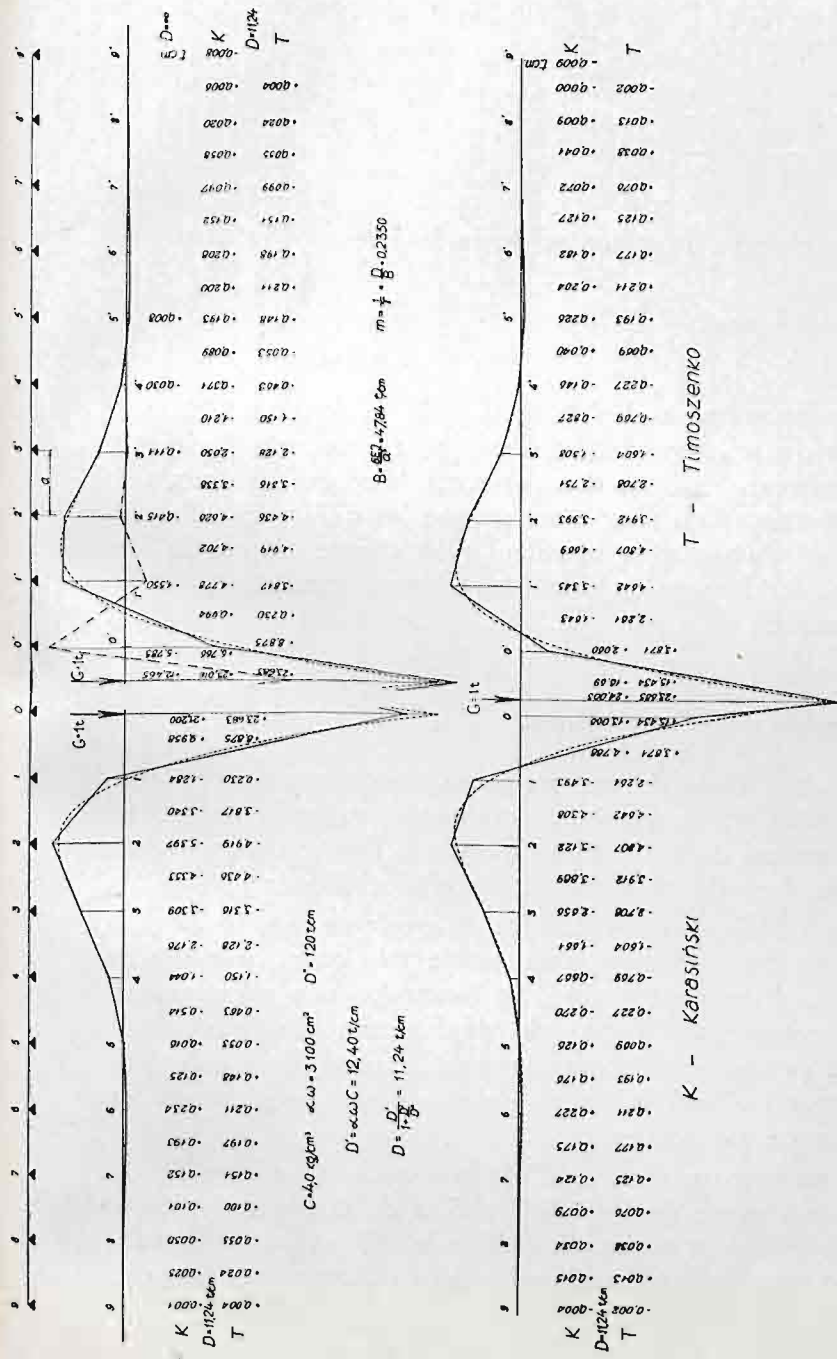


Fig. 47. Diagrammes des moments fléchissants du rail type S de 42,5 kg/m sous un poids unique.

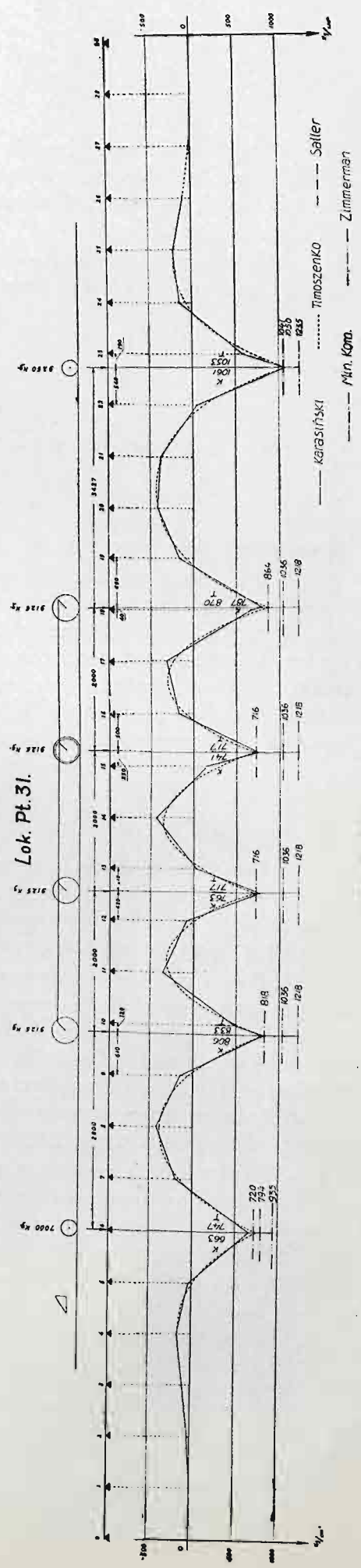


Fig. 48. Diagrammes des tensions dans le rail type S de 42,5 kg/m sous un système de poids.

## 2. Bases théoriques d'appréciation.

Pour comparer les tensions mesurées au passage des locomotives, conduisant les trains d'essai à différente vitesse, avec les tensions sous charge au repos, on a appliqué la même méthode qui fut adoptée avant pour apprécier la valeur de l'abaissement du rail (voir p. 51).

En supposant le rail placé sur assise élastique continue, le moment de sa flexion sous un système de charge prend la forme <sup>1)</sup>

$$M = \frac{a}{4} \sqrt{\frac{2}{3}} \gamma \Sigma G p \quad (25)$$

$\Sigma G p$  étant la somme des produits des charges au repos et de la fonction  $p$ :

$$p = e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi)$$

(pour  $a$  et  $\gamma$  voir page 51).

Il est vrai que les diagrammes des moments de flexion d'après la formule (25) ainsi que d'après des formules plus précises de rail reposant sur nombre de supports élastiques (fig. 47 et 48) montrent, que les différences de valeur des moments d'après ces deux méthodes de calcul sont proportionnellement un peu plus grandes que les différences d'abaissement. Cela n'empêche pas cependant d'avoir avec le calcul plus simple d'après la formule (25) et les diagrammes fig. 49 à 62 fondés sur ce calcul une bonne orientation sur les tensions observées sous charge dynamique.

## 3. Étendue des observations.

Les variations de la longueur des fibres du rail au passage des locomotives conduisant les trains d'essai furent observées en trois points, notamment au patin du rail au droit de l'âme (c'est-à-dire sur l'axe vertical de la section du rail), à l'arête extérieure du patin et à la partie supérieure de la surface du champignon du côté extérieur.

Pour exécuter ces observations on disposait seulement de quelques heures de nuit dans la partie libre de l'horaire normal des trains et d'un terme très court pour mettre à l'essai un certain type de locomotive. D'un autre côté, le mesurage des allongements sur pellicule sensible, à l'aide d'un compareur, d'après le déplacement de deux points (voir page 17) exigeait une lecture d'à peu près 900 cotes micrométriques et un calcul de 300 différences pour obtenir un diagramme suffisamment précis de ces mouvements au courant du passage d'une locomotive avec son tender.

Ce travail minutieux n'a pas pu être prolongé. C'est pourquoi le nombre de ces observations, pas toujours bien réussies à cause de leur difficulté, a dû être plus petit que le nombre des observations sur l'abaissement et on se vit obligé de réduire dans certains cas le nombre de cotes lues sous comparateur aux parties les plus intéressantes des diagrammes, au droit des charges et à leur proximité.

<sup>1)</sup> M. Saller a proposé dans le journal allemand *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* de 1932 n° 1 et de 1933 n° 20 des formules simplifiant le calcul des moments sous un système de charges d'après la formule (25). Les formules de M. Saller donnent des résultats (voir fig. 48) presque identiques avec la formule (25), cependant elles ne facilitent pas de beaucoup le calcul et ne donnent pas un diagramme complet des moments. En outre, elles ne débarrassent pas du calcul de la pression du rail sur la traverse et de l'enfoncement des traverses d'après la formule (21). Pour ces raisons le calcul des moments d'après la formule (25) a paru plus convenable.

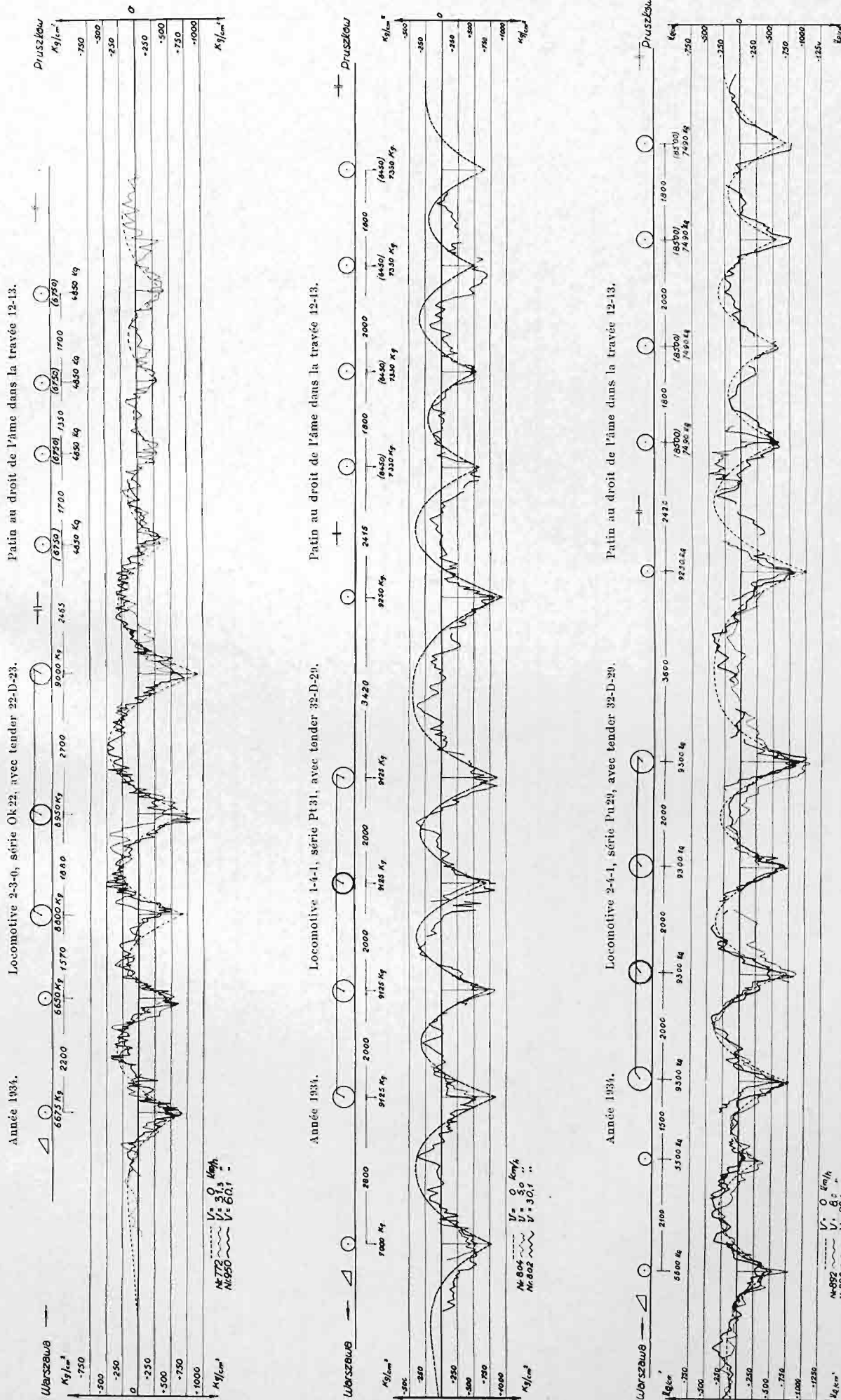


Fig. 49. Tensions observées dans le rail type S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparées aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.



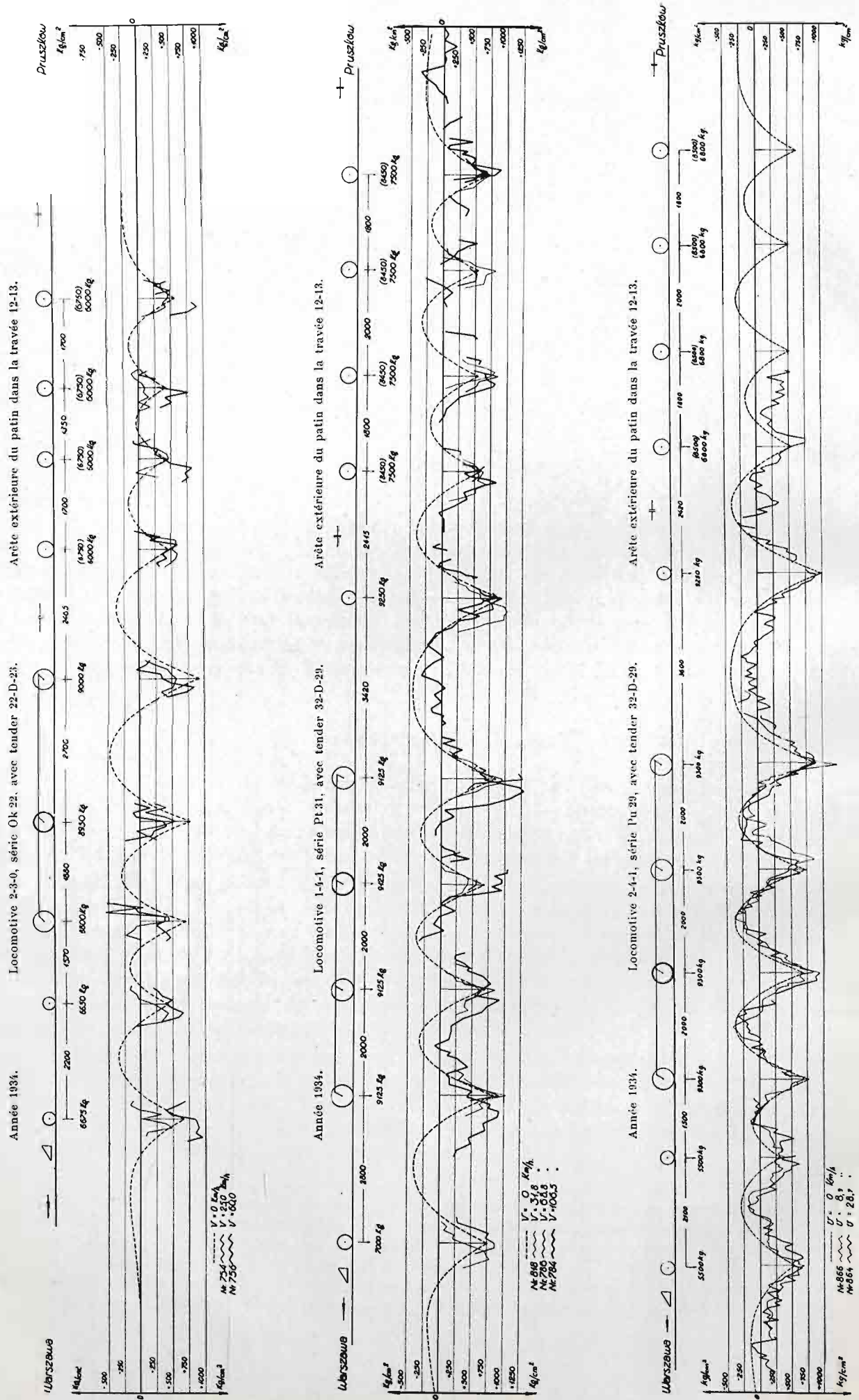
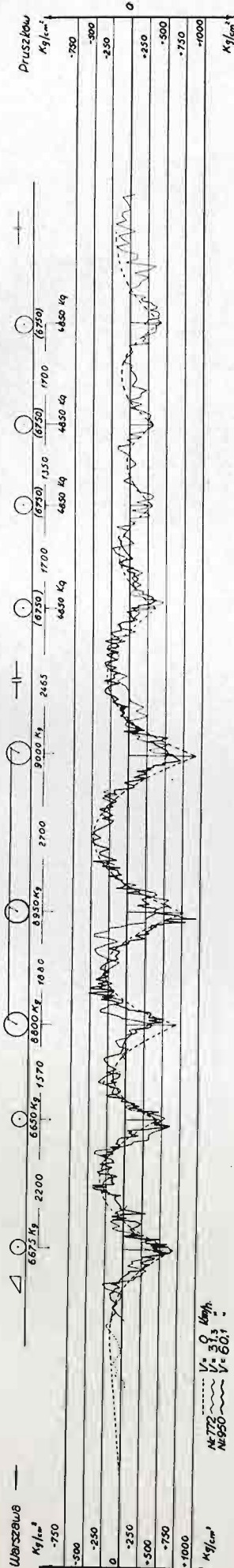


Fig. 50. Tensions observées dans le rail type S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparées aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

Année 1934.

Locomotive 2-3-0, série Ok 22, avec tender 22-D-23.

Patin au droit de l'âme dans la travée 12-13.



Année 1934.

Locomotive 2-3-0, série Ok 22, avec tender 22-D-23.

Arête extérieure du patin dans la travée 12-13.

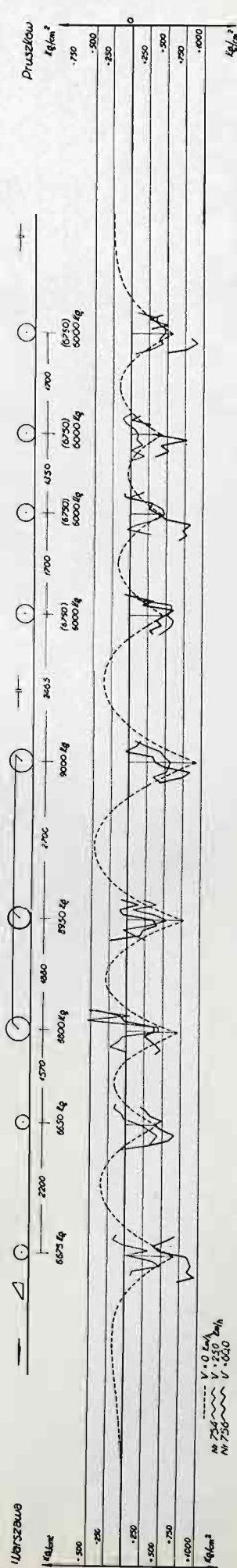


Fig. 51. Tensions observées dans le rail type S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparées aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.



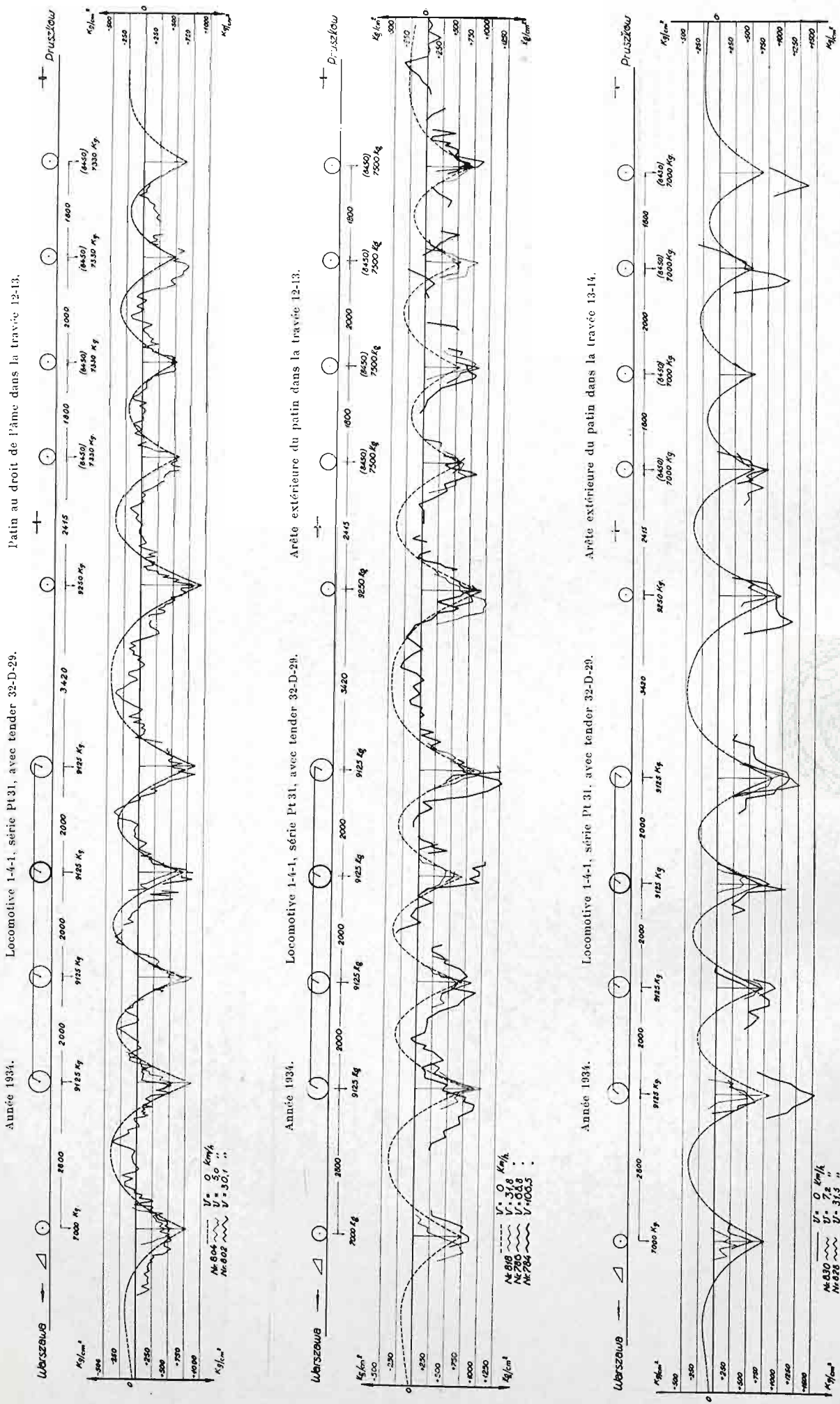
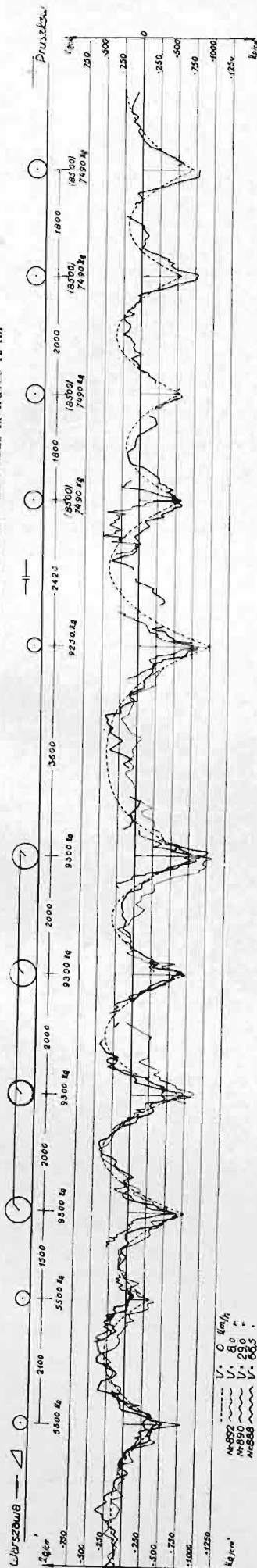


Fig. 52. Tensions observées dans le rail type S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparées aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

Année 1934.

Locomotive 2-4-1, série Pu 29, avec tender 32-D-29.

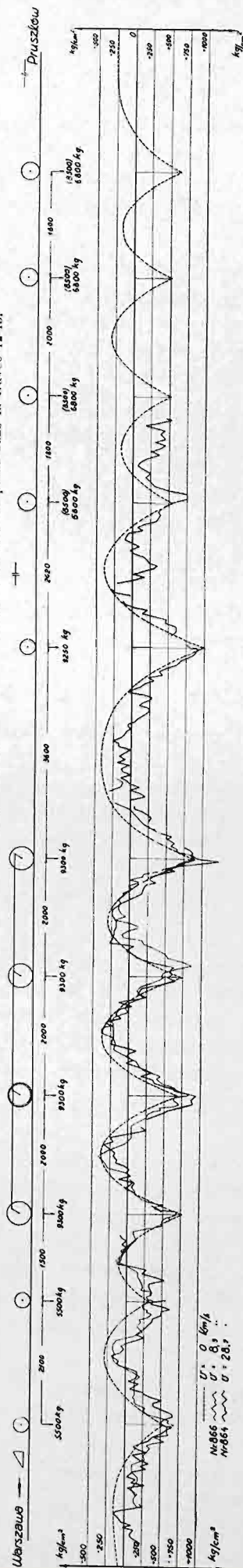
Patin au droit de l'âme dans la travée 12-13.



Année 1934.

Locomotive 2-4-1, série Pu 29, avec tender 32-D-29.

Arête extérieure du patin dans la travée 12-13.



Année 1934.

Locomotive 2-4-1, série Pu 29, avec tender 32-D-29.

Arête extérieure du champignon au droit de la traverse 13.

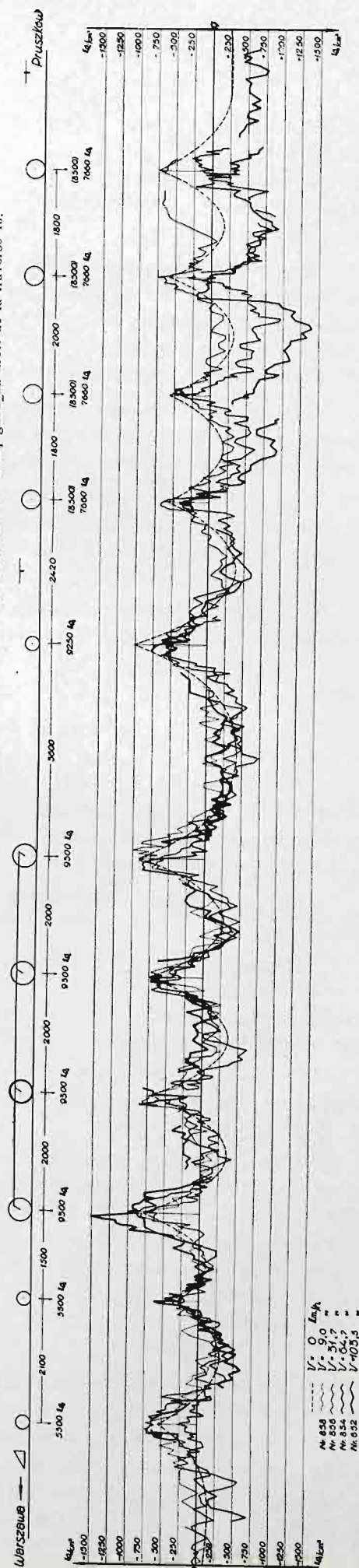


Fig. 53. Tensions observées dans le rail type S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparées aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.



#### 4. Valeur des tensions suivant la vitesse.

Les diagrammes des figures 49 à 53 représentent les tensions dans le rail type S pendant le passage des locomotives des trois types à l'essai conduisant des trains à des vitesses de 5 à 106 km/h.

Les diagrammes de tension dans un point du rail d'après des photographies faites en même temps ont été apposés au diagramme théorique sous charge au repos, ce qui facilite leur comparaison et permet de voir que, en général, la vitesse des trains n'a pas d'influence sur le travail du rail. Sous la même roue les tensions sont souvent plus grandes aux petites vitesses qu'aux vitesses élevées.

Les diagrammes des tensions observées au patin au droit de l'âme, sous différentes locomotives marchant à différente vitesse (fig. 49), sont généralement en bon accord avec les diagrammes théoriques sous charge au repos.

Les diagrammes des tensions à l'arête extérieure du patin (fig. 50, 51 b, 52 b, c, 53 b) s'accordent moins bien, notamment les tensions observées sont souvent supérieures aux tensions théoriques, ce qui indique l'influence des forces latérales et des forces de torsion.

La même remarque a trait aux diagrammes des tensions à la surface extérieure du champignon, rapportées à son arête supérieure (fig. 53 c).

#### 5. Le travail du rail comparé à son abaissement.

Sur figures 54 à 62 on a représenté des diagrammes du travail du rail et de son abaissement d'après des photographies faites simultanément sur mêmes pellicules sensibles. Les diagrammes obtenus d'après l'observation sont comparés aux diagrammes théoriques sous charge au repos.

Les résultats numériques des observations sont réunis dans les tableaux XXXIV à XL.

L'examen de ces tableaux montre que la valeur des tensions au patin du rail au droit de l'âme (fig. 54, 55, 57) répond mieux à la valeur de son abaissement que la valeur des tensions dans les autres parties de la section du rail (fig. 58, 59 b, 60 b, 62 b). Cependant on rencontre quelquefois, même au droit de l'âme (donc sur l'axe neutre par rapport aux forces latérales), de grandes tensions sous des roues qui n'ont pas occasionné des abaissments anormaux (fig. 56 b) et même sous des roues déchargées (fig. 56 a).

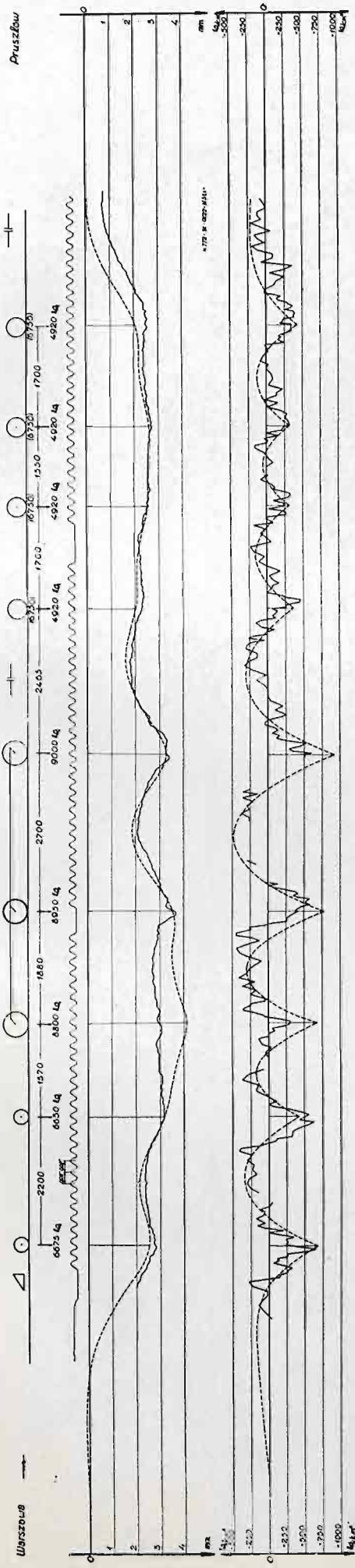
Ces exemples attestent que les forces latérales, ainsi que les forces de torsion autour de l'axe longitudinal du rail, ont une grande influence sur le travail du rail. Il s'ensuit, que les différences de tension sous la même roue varient généralement dans des limites beaucoup plus larges que les différences d'abaissement du rail et atteignent jusqu'à 90% de la tension sous charge au repos. On a observé dans un cas sous la deuxième roue de bogie de la locomotive type Pu 29 marchant à une très petite vitesse une tension, quoique pas trop grande quant à sa valeur absolue, mais dépassant de 159% la tension sous charge au repos.

Les petites variations de tension qu'on remarque sur les diagrammes, autant que leur valeur ne dépasse pas la précision du mesurage avec le comparateur, ont pu avoir pour cause des vibrations libres du rail.

Les tensions maxima observées atteignent sous les locomotives des types: Ok 22 11,5 kg/mm<sup>2</sup>, Pt 31 16,7 kg/mm<sup>2</sup> et Pu 29 15,1 kg/mm<sup>2</sup>.



Année 1934. n° 772. Locomotive 2-3-0, série Ok 22, avec tender 22-D-23.  $V = 31,3 \text{ km/h}$ . Patin au droit de l'âme dans la travée 12-13.



Année 1934. n° 950. Locomotive 2-3-0, série Ok 22, avec tender 22-D-23.  $V = 60,1 \text{ km/h}$ . Patin au droit de l'âme dans la travée 12-13.

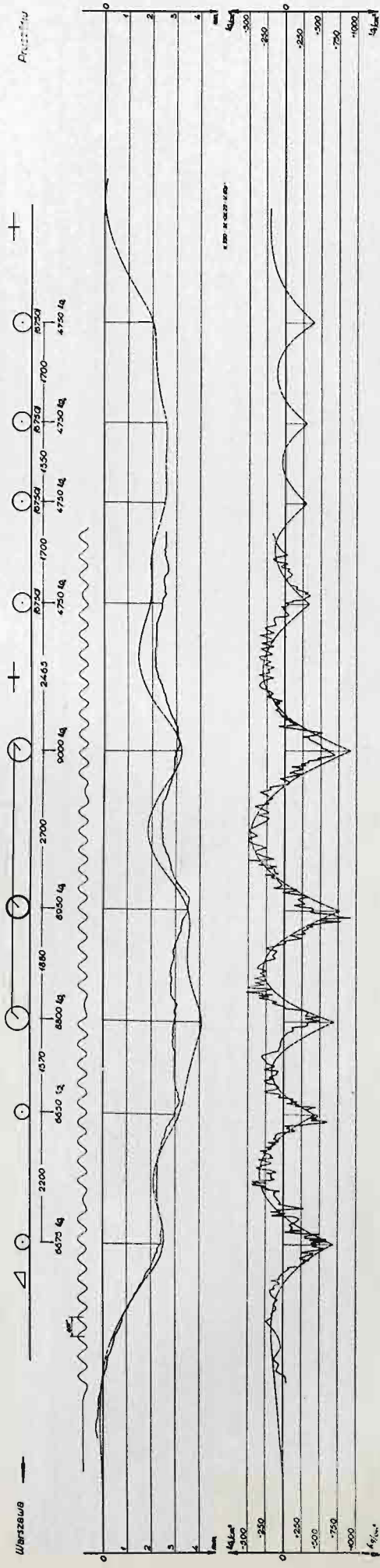


Fig. 54. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

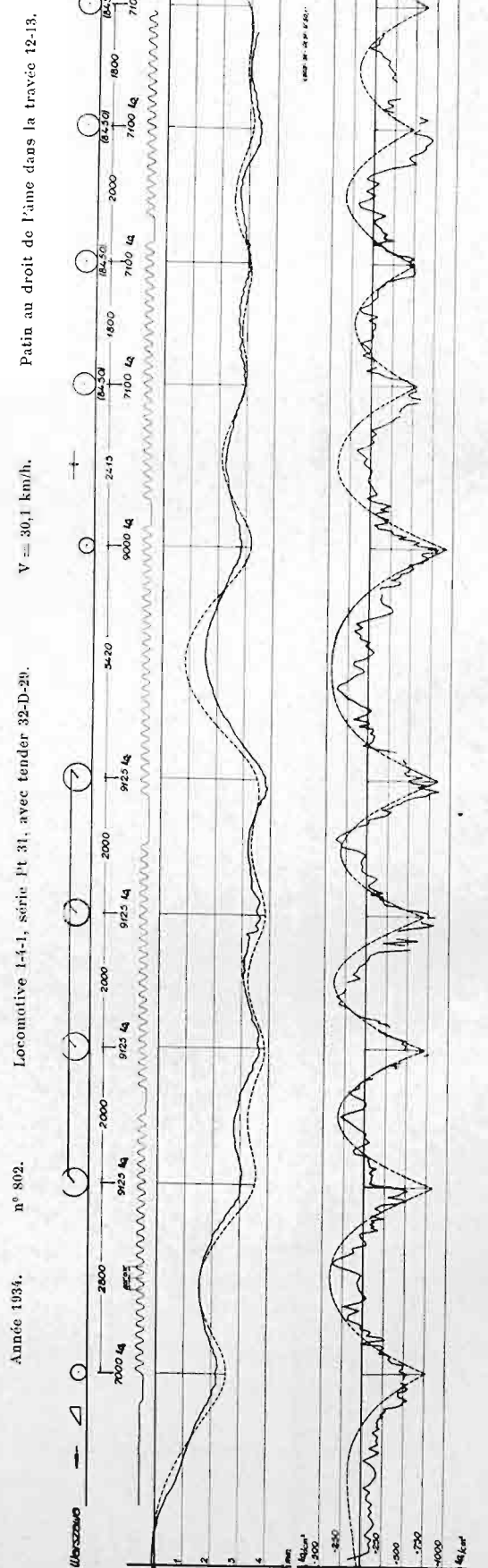
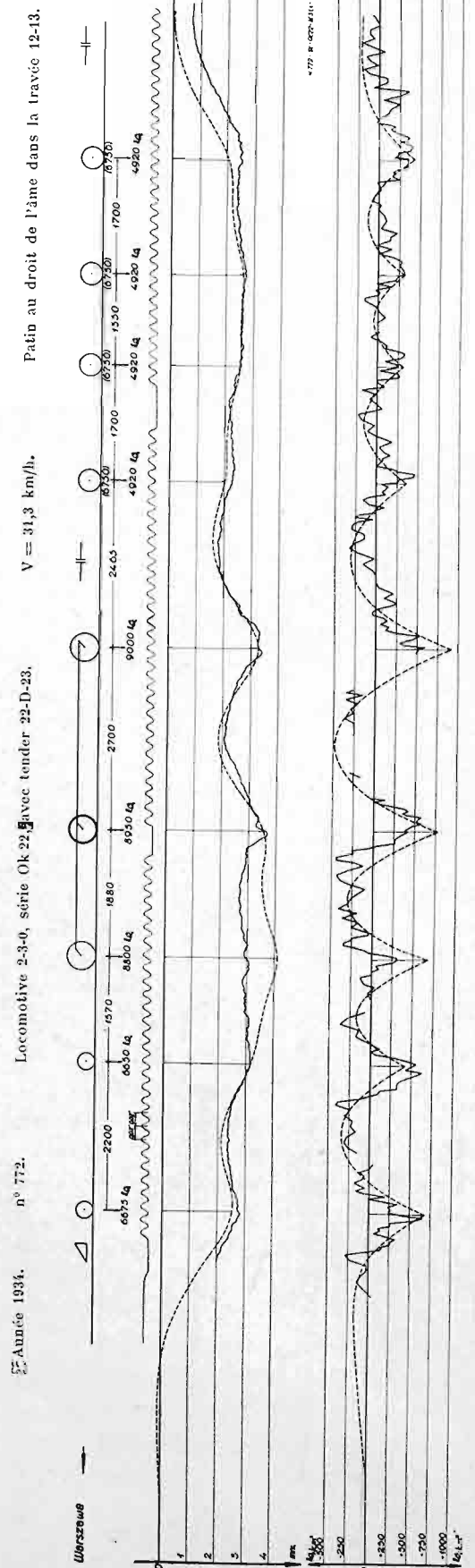


Fig. 55. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

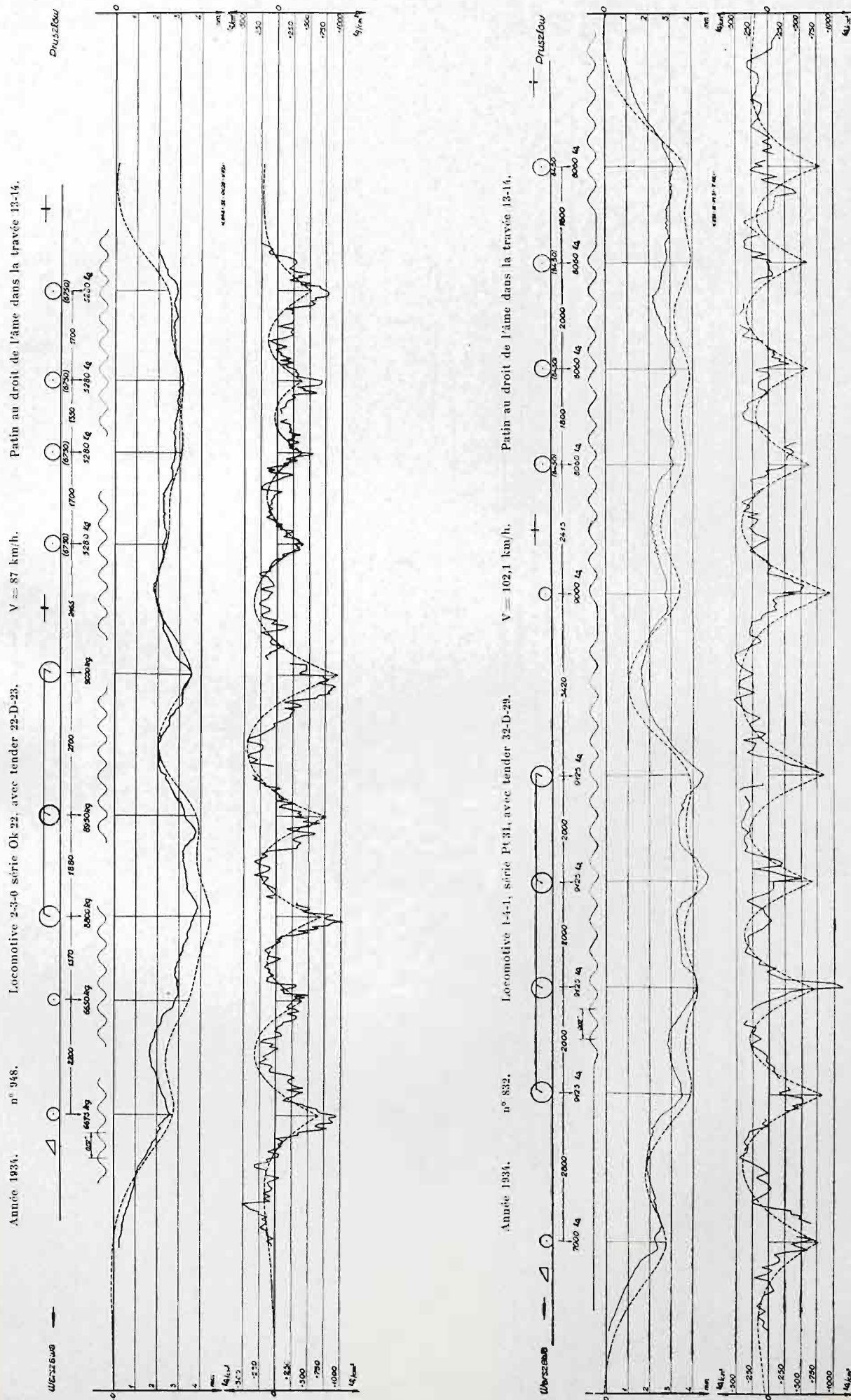


Fig. 56. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.



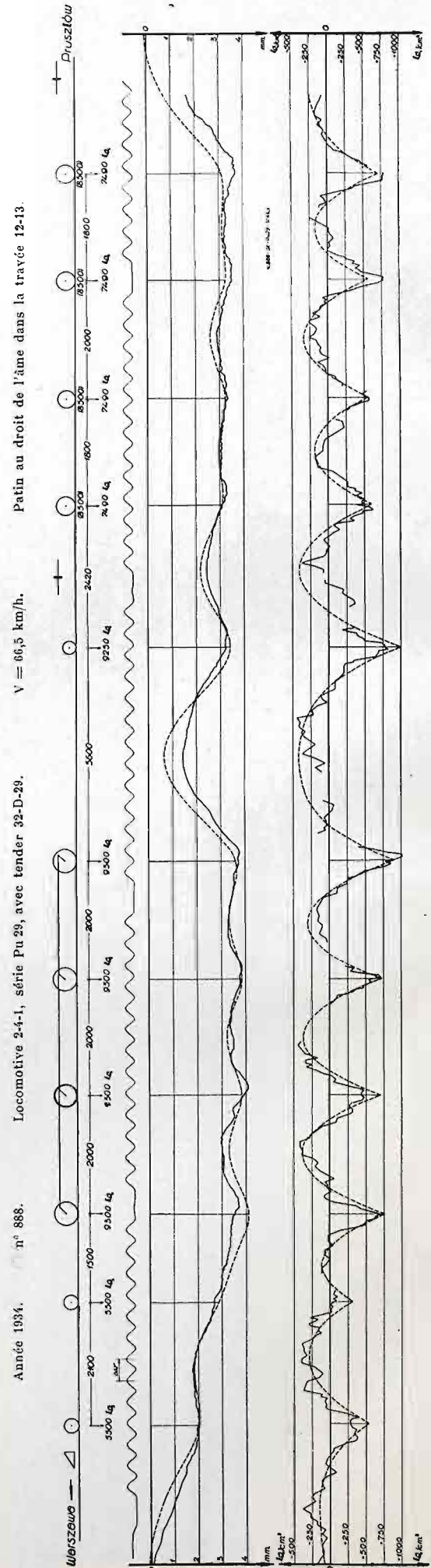
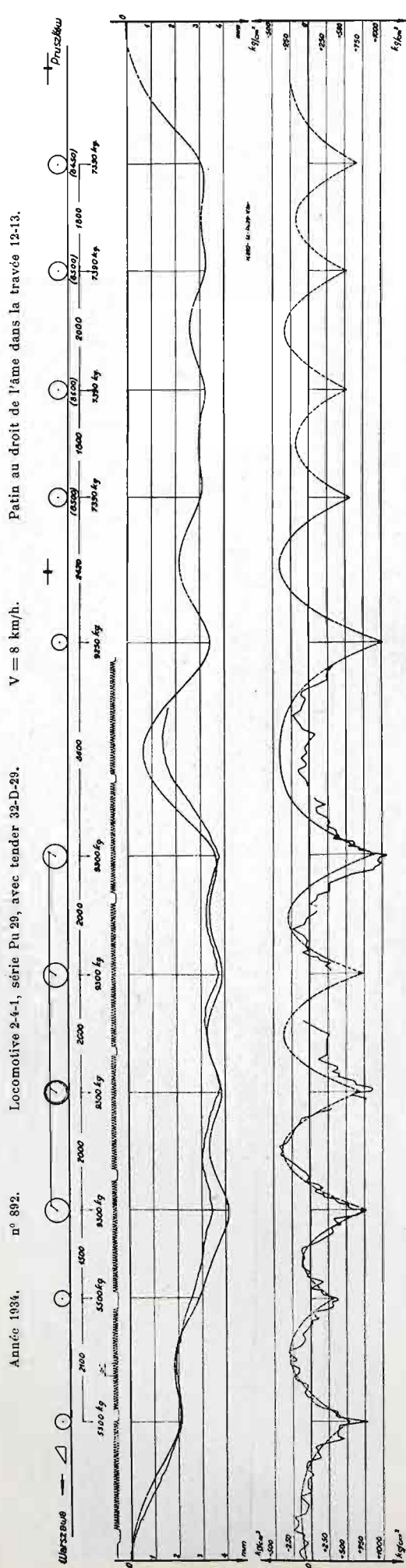


Fig. 57. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

Année 1934.

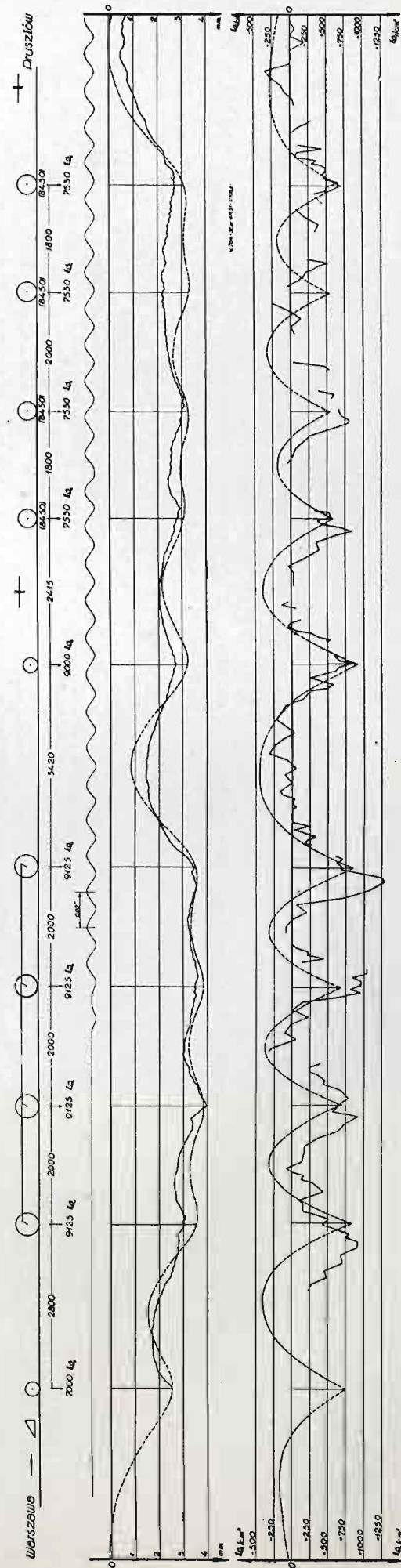


Fig. 58. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

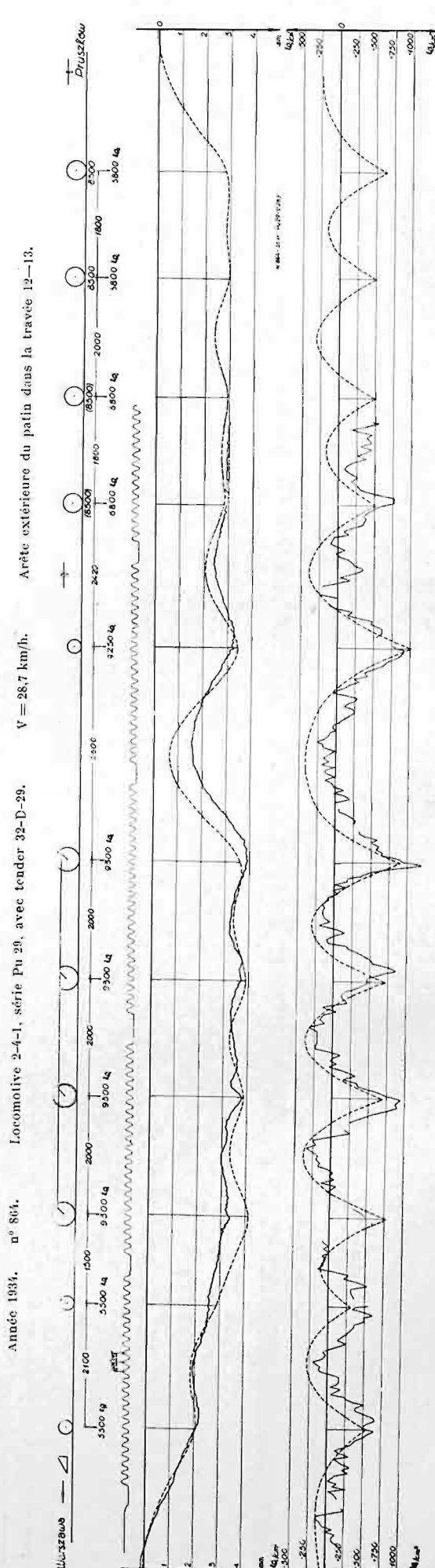
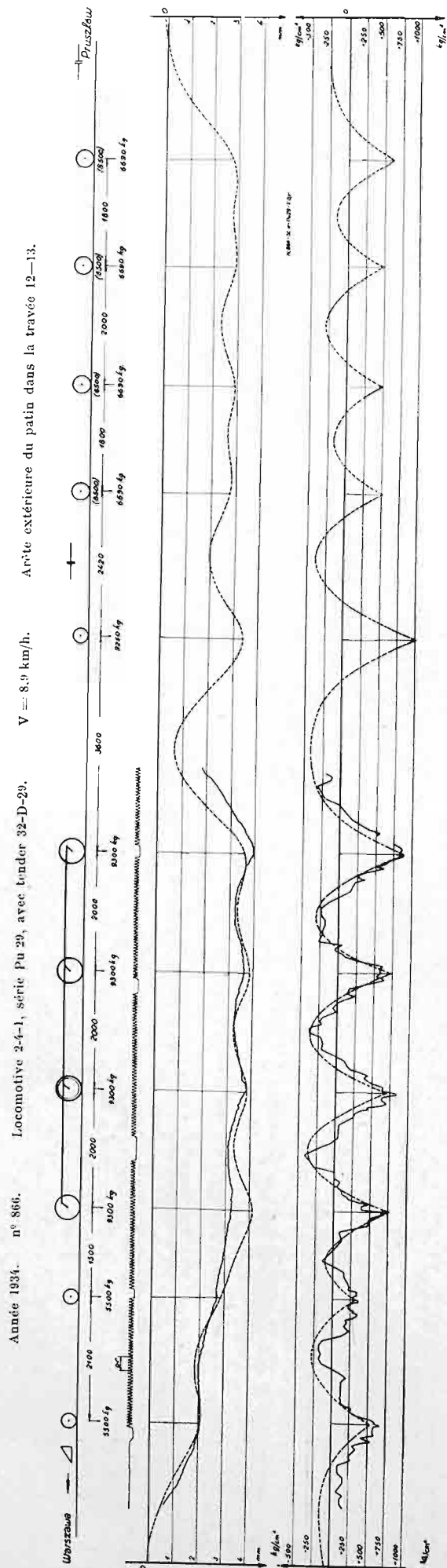


Fig. 59. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.



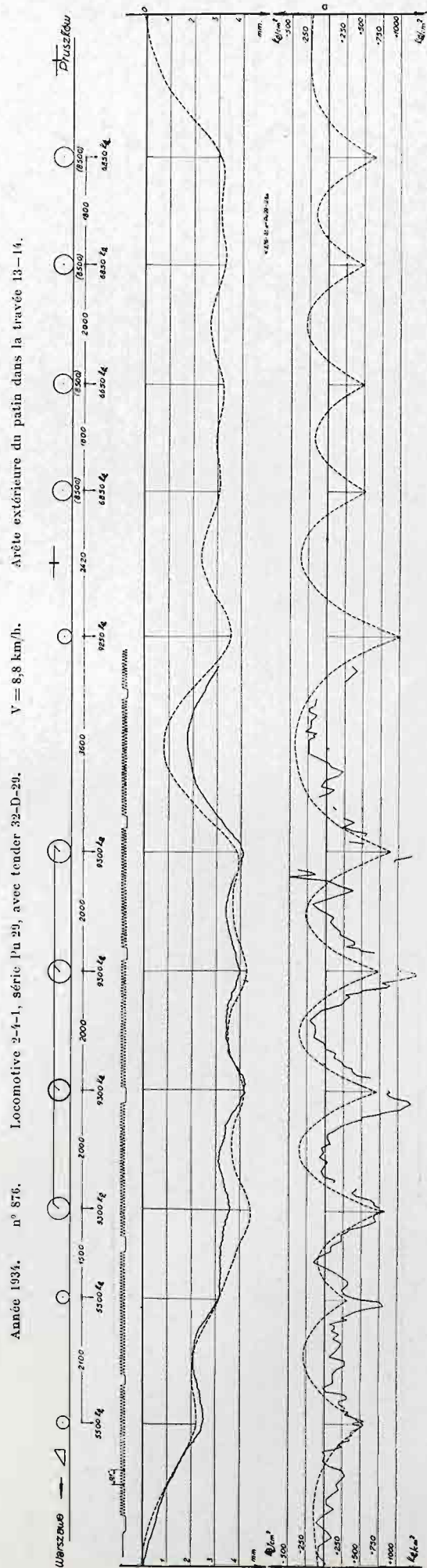
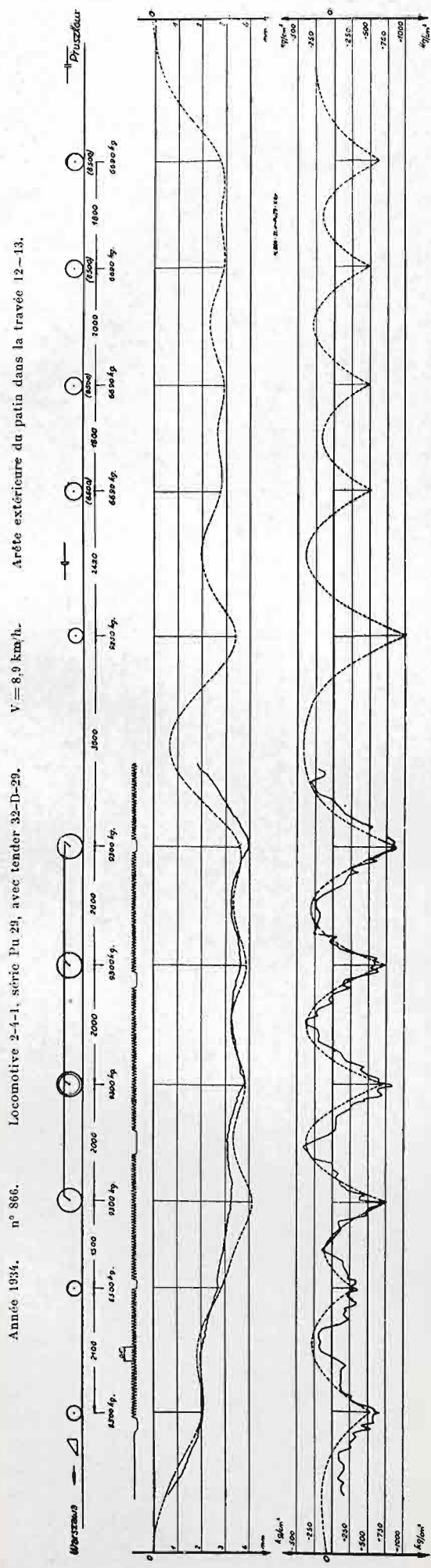


Fig. 60. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

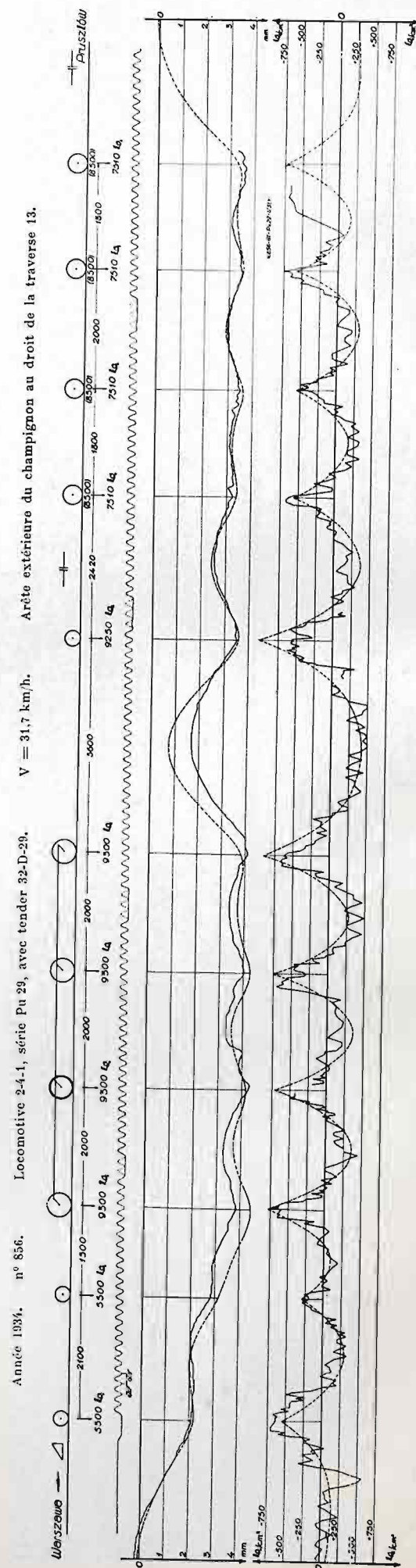
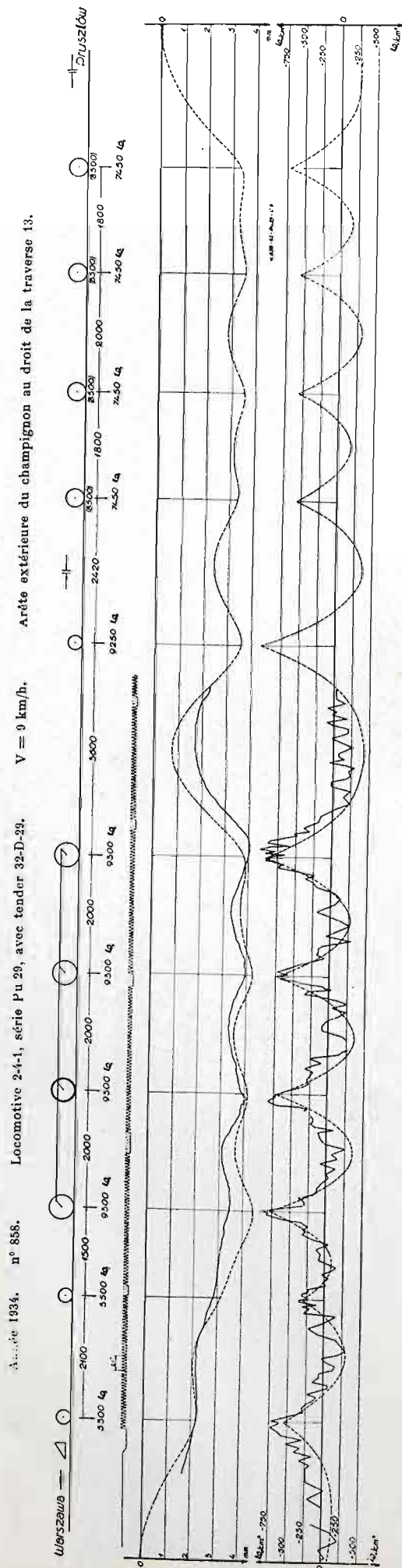


Fig. 61. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42,5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.



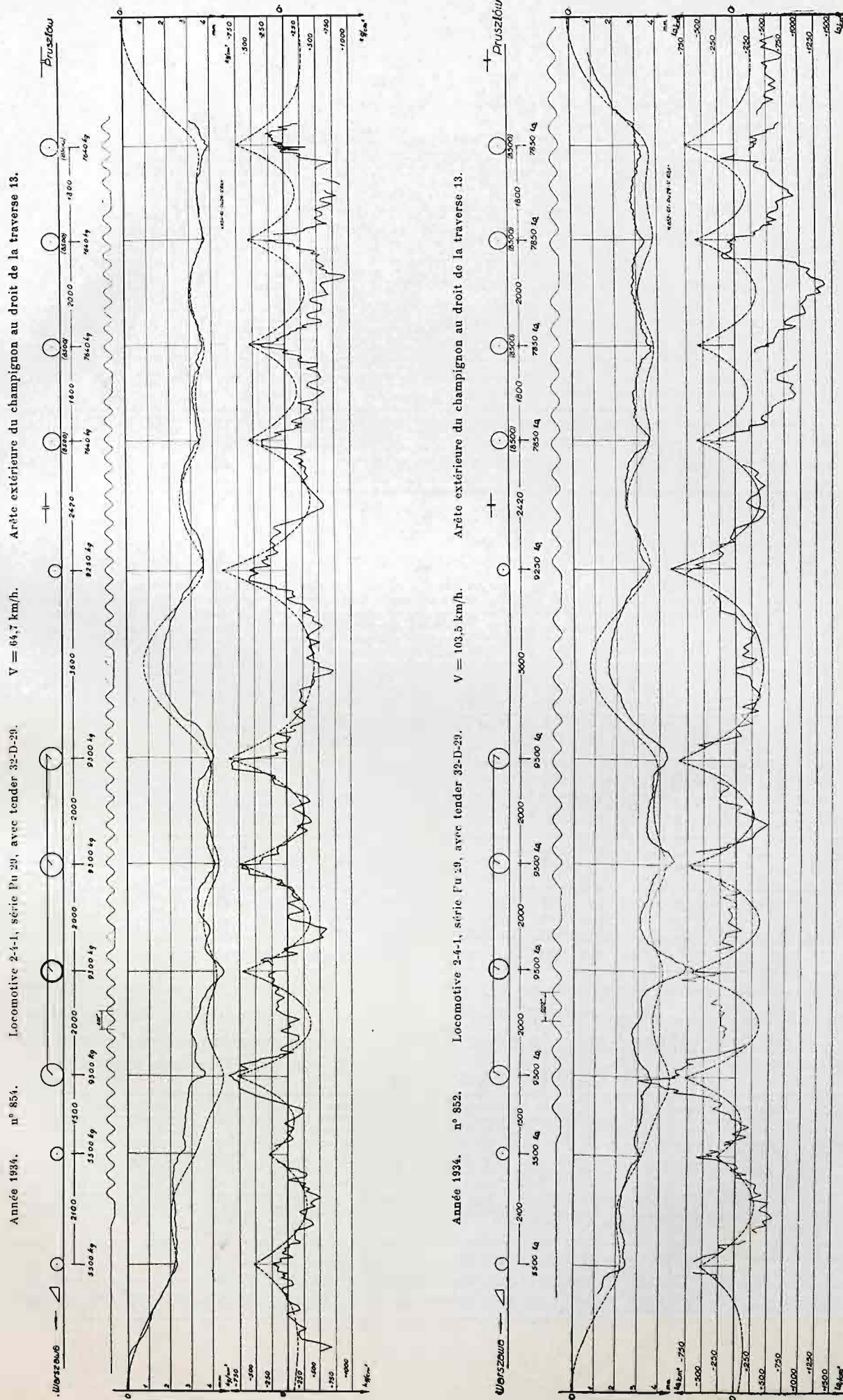


Fig. 62. Abaissement et tensions observées simultanément dans le rail type S de 42.5 kg/m comparées à l'abaissement et aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.



TABLEAU XXXIV.

Tensions observées dans le rail S sous la marche des trains et leur rapport aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.  
Locomotive Ok 22. Année 1934.  $D = 9680 \text{ kg/cm}$  Patin au droit de l'âme dans la travée 12 — 13.

Vitesse km/h	Epreuve n°	Roues porteuses				Roues motrices						Roues du tender							
		1		2		1		2		3		1		2		3		4	
		kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰
0	—	675	100	438	100	685	100	770	100	904	100	354 358	100	354	100	351	100	469	100
31,1	772	642	95	619	141	298	43	574	74	597	66	459	130	321	91	321	91	390	83
60,1	950	619	92	619	141	505	74	963	125	780	86	367	109	—	—	—	—	—	—

$D = 8740 \text{ kg/cm}$  Patin au droit de l'âme dans la travée 13 — 14.

0	—	683	100	438	100	694	100	773	100	912	100	390	100	389	100	386	100	513	100
87	948	963	141	505	115	1055	152	688	89	917	101	367	94	574	148	688	178	780	152

TABLEAU XXXV.

Tensions observées dans le rail S sous la marche des trains et leur rapport aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.  
Locomotive Pt 31. Année 1934.  $D = 9680 \text{ kg/cm}$  Patin au droit de l'âme dans la travée 12 — 13.

Vitesse km/h	Epreuve n°	Roue porteuse d'avant		Roues motrices								Roue porteuse d'arrière		Roues du tender							
				1		2		3		4				1		2		3		4	
		kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰		
0	—	772	100	838	100	712	100	710	100	881	100	962	100	550 594	100	531 565	100	528 562	100	723	100
5,0	804	533	69	556	66	834	117	602	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30,1	802	559	72	536	64	782	110	849	120	871	99	827	86	603	110	514	97	715	135	—	—
108,0	798	—	—	579	69	811	114	927	130	1668	189	1552	161	996	168	1112	197	927	165	811	112
D = 8740 kg/cm Patin au droit de l'âme dans la travée 13 — 14.																					
0	—	792	100	845	100	713	100	712	100	890	100	966	100	645	100	604	100	584 601	100	782	100
68,0	834	741	94	—	—	—	—	672	94	788	89	510	53	—	—	—	—	579	99	—	—
102,1	832	702	89	527	62	1162	163	483	68	724	81	548	57	439	68	329	54	66	11	439	56

TABLEAU XXXVI.

Tensions observées dans le rail S sous le marche des trains et leur rapport aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.  
Locomotive Pu 29. Année 1934.  $D = 9680 \text{ kg/cm}$  Patin au droit de l'âme dans la travée 12 — 13.

Vitesse km/h	Epreuve n°	Roues porteuses				Roues motrices								Roue porteuse d'arrière		Roues du tender							
		1		2		1		2		3		4				1		2		3		4	
		kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰	kg/cm <sup>2</sup>	‰		
0	—	539	100	308	100	773	100	710	100	726	100	905	100	972	100	585 587	100	560	100	557	100	716	100
8,0	892	810	150	394	128	766	99	876	123	—	—	1073	118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29,0	890	486	90	162	53	718	93	834	117	602	83	903	100	834	86	556	95	—	—	—	—	—	—
66,5	888	390	72	115	37	711	92	482	68	688	95	1010	112	826	85	619	105	574	105	780	140	803	112

TABLEAU XXXVII.

*Tensions observées dans le rail S sous la marche des trains et leur rapport aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.*

Locomotive Ok 22.

Année 1934.

Arête extérieure du patin dans la travée 12—13.

$$D = 9680 \text{ kg/cm}$$

Vitesse km/h	Epreuve n°	Roues porteuses				Roues motrices						Roues du tender							
		1		2		1		2		3		1		2		3		4	
		kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o	kg/cm <sup>2</sup>	°/o
0	—	675	100	438	100	685	100	770	100	904	100	de 320 à 462	100	de 328 à 435	100	de 340 à 432	100	de 576 à 562	100
25,0	754	494	73	439	100	439	64	549	71	578	64	606	131	467	107	193	45	467	81
61,0	756	971	144	666	152	471	69	416	54	860	95	610	156	852	196	776	184	915	163
58,0	932	688	102	825	188	530	48	770	100	1128	125	415	129	660	201	—	—	—	—
63,0	966	852	126	605	138	660	96	855	111	825	91	578	171	715	209	578	170	—	—
Arête extérieure du patin dans la travée 13—14. $D = 8740 \text{ kg/cm}$																			
0	—	685	100	438	100	694	100	775	100	912	100	391 383	100	389 383	100	386 381	100	513 505	100
31,0	760	546	80	409	93	526	47	947	125	977	107	296	76	600	154	491	127	444	87
81,5	940	798	117	720	164	465	67	1080	140	951	104	463	121	592	155	745	196	720	145

TABLEAU XXXVIII.

*Tensions observées dans le rail S sous la marche des trains et leur rapport aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.*

Locomotive Pt 31.

Année 1934.

Arête extérieure du patin dans la travée 12—13.

$$D = 9680 \text{ kg/cm}$$

Vitesse km/h	Epreuve n°				Roues motrices								Roue porteuse d'arrière		Roues du tender							
					1		2		3		4				1		2		3		4	
	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0	kg/cm <sup>2</sup>	0/0		
0	—	772	100	838	100	712	100	710	100	881	100	962	100	de 579 à 504	100	de 553 à 572	100	de 550 à 569	100	de 708 à 732	100	
31,8	818	778	101	1015	121	629	88	452	64	955	108	1015	106	689	114	808	141	838	147	748	102	
68,8	786	858	111	917	109	850	119	550	77	1250	142	883	92	658	114	850	154	517	94	885	125	
106,5	784	—	—	927	111	985	158	1040	146	1295	147	871	91	845	145	815	145	554	95	674	94	
Arête extérieure du patin dans la travée 13—14. D = 8740 kg/cm																						
0	—	792	100	845	100	715	100	712	100	890	100	966	100	523 556	100	509	100	552	100	695	100	
7,2	830	585	49	505	60	710	100	444	62	1066	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
51,5	828	600	76	616	75	917	129	817	115	1275	145	750	78	755	140	560	110	—	—	—	—	
68,9	824	—	—	1540	182	829	116	1007	141	1125	126	1155	120	770	158	—	—	1096	206	1392	201	

TABLEAU XXXIX.

*Tensions observées dans le rail S sous la marche des trains et leur rapport aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.*

Locomotive Pu 29.

Année 1934.

Arête extérieure du patin dans la travée 12—13.

$$D = 9680 \text{ kg/cm}$$
[illegible]



T A B L E A U XL.

Tensions observées dans le rail S sous la marche des trains et leur rapport aux tensions sous charge au repos d'après le calcul.

Locomotive Pu 29.

Année 1934.

Arête extérieure du champignon au droit de la traverse 13.

$D = 8740 \text{ kg/cm}$

Vitesse km/h	Epreuve n°	Roues porteuses				Roues motrices								Roue porteuse d'arrière		Roues du tender							
		1		2		1		2		3		4		kg/cm <sup>2</sup>	%	1		2		3		4	
		kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%			kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%
0	—	552	100	312	100	795	100	719	100	741	100	930	100	995	100	de 591 à 624	100	de 568 à 572	100	de 560 à 585	100	de 729 à 761	100
9,0	858	737	134	368	118	971	122	837	116	737	99	1004	108	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31,7	856	703	127	301	96	737	93	—	—	703	95	670	72	636	64	670	113	502	89	737	132	703	97
64,7	854	234	42	—	—	938	118	—	—	737	99	870	94	603	61	368	61	469	82	333	58	301	41
103,5	852	636	115	636	204	1506	190	870	121	703	95	—	—	—	—	402	64	—	—	201	34	234	31

### Conclusions.

1. En comparant les tensions observées dans le rail sous la marche des trains aux tensions sous charge au repos pour en juger de l'effet dynamique des roues, le calcul des tensions sous charge au repos peut être fait en considérant le rail comme poutre sur assise élastique continue, vu que la différence des tensions dans ce cas et dans le cas de rail reposant sur appuis élastiques isolés n'est pas grande, indifféremment qu'il soit chargé d'un seul poids ou d'un système de poids. La supposition d'assise élastique continue conduit en résultat du calcul à une tension de 5% de moins au maximum, ce qui donne une certaine réserve de sûreté dans l'appréciation des tensions observées d'après les tensions calculées au repos.
2. Les tensions observées dans le rail sous des locomotives conduisant les trains à des vitesses jusqu'à 110 km/h en ligne droite et horizontale, s'approchent en général des tensions sous charges au repos d'après le calcul.
3. A des vitesses de 80 à 110 km/h les tensions observées dans le rail sous chaque roue motrice prise séparément déclinent des tensions calculées sous charge au repos pour la plupart davantage qu'à des vitesses inférieures.
4. Les fortes tensions dans le rail souvent ne sont pas accompagnées d'un abaissement qui leur correspondrait en valeur et parfois même cet abaissement est moins grand que l'abaissement sous charge au repos d'après le calcul.
5. A des vitesses de 80 à 110 km/h les écarts de tension observés dans le rail sous chaque roue prise séparément dépassent de 45%, et à des vitesses inférieures, de 35% les plus grands écarts d'abaissement qu'on n'a observés.
6. Les observations indiquées aux nos 4 et 5 attestent que le travail du rail dépend non seulement des forces verticales, mais d'autres encore, notamment des forces latérales et des forces de torsion, et permettent de se rendre compte de l'ensemble de ces forces en ligne droite et horizontale.

## V. Mouvements longitudinaux du rail.

### 1. Causes du phénomène.

Les photographies d'une marque sur pellicule sensible ayant un mouvement vertical ont démontré qu'au passage des trains cette marque ne gardait pas sa position sur ligne verticale, mais qu'elle s'écartait de cette ligne dans la direction de la longueur du rail. Par suite de la flexion sous charge, les sections transversales du rail s'inclinent, il est donc tout naturel que les points situés à une certaine distance de l'axe neutre s'éloignent de la