

dent que le coefficient calculé d'après l'enfoncement d'une seule traverse sous presses ne répond absolument pas aux conditions du travail de la superstructure et ne peut avoir de l'importance que dans des spéculations théoriques.

12. Conclusions.

I. Les recherches sur l'élasticité des appuis du rail d'après l'observation des déformations de la superstructure expérimentée sous la marche des trains (à savoir: rails type S de 42,5 kg/m, traverses en bois de section 16×26 cm, 2,70 m de longueur, sur ballast en pierre concassée de 35 cm d'épaisseur de couche sous traverse, sur sous-sol sablonneux naturel) mènent aux conclusions suivantes:

1. Le coefficient D de l'appui du rail a une valeur moyenne de 10,0 à 8,7 t/cm et le coefficient D' de l'appui des traverses, tenant compte de leur compression, une valeur moyenne de 11,0 à 9,4 t/cm.

2. Des différences de valeur du coefficient D suivant la vitesse des trains allant jusqu'à 107 km/h n'ont pas été observées.

3. Les différences de valeur du coefficient D montent jusqu'à 30% suivant le degré de bourrage normal des traverses.

4. Le coefficient D'' de compressibilité d'une traverse en bon état, modérément humide, est d'à peu près 120 t/cm.

5. Le coefficient C de l'assise des traverses, tenant compte de leur compression, fut trouvé en moyenne de 3,5 à 3 kg/cm³.

6. Le coefficient N de la route (plate-forme de sol sablonneux naturel) fut trouvé peu différent du coefficient de l'assise des traverses, en moyenne 3,1 kg/cm³.

7. Le coefficient K du ballast, égal au coefficient de l'assise des traverses en cas de plate-forme absolument rigide, a une valeur moyenne de 6,1 kg/cm³.

II. Les recherches sur le coefficient de l'assise d'une traverse isolée soumise à la pression des presses hydrauliques ont prouvé que ce coefficient a une valeur à peu près deux fois plus grande que le coefficient C de l'assise des traverses, calculé d'après l'enfoncement simultané d'un groupe de traverses sous un train en marche. Il s'ensuit que la première de ces valeurs, calculée sans tenir compte de l'influence des appuis voisins sur l'élasticité de l'appui d'un rail pris séparément, ne peut pas servir de base pour le calcul des déformations du rail et de son travail.

III. Déformations verticales du rail.

1. Etendue des observations et bases théoriques d'appréciation de leurs résultats.

Les observations des déformations verticales du rail ont eu pour but de déterminer son travail sous le passage de lourdes locomotives à différent écartement d'essieux, conduisant des trains de grande vitesse, ce qui permettrait de comparer sous ce rapport les types de locomotives en usage ainsi que de juger du type de superstructure répondant à certaines conditions de son chargement.

Pour apprécier l'effet de la charge mobile sur l'abaissement du rail il a été indispensable de le comparer à l'effet statique des locomotives qui furent l'objet d'études. La connaissance de l'élasticité des appuis des rails, posés sur le tronçon d'essai, facilitait le calcul de l'abaissement statique du rail, mais la justesse de ce calcul devait dépendre des principes théoriques appliqués. Pour le calcul des déformations verticales du rail il conviendrait le mieux de le considérer comme poutre sur plusieurs appuis élastiques chargée d'un groupe de poids, ce qui répond aux conditions actuelles de son travail. La théorie des déformations du rail supportant dans ces conditions des charges

isolées à l'état statique, a été depuis longtemps étudiée dans tous ses détails, et son application aux calculs a été facilitée par la publication des tables, donnant les moments sur les appuis pour différents cas de rigidité du rail et de ses appuis ainsi que pour différentes positions de la charge. Cependant, même avec ses facilités, le calcul des déformations, exigeant des essais de position de la charge par rapport aux appuis, est lent et peu commode pour être souvent employé.

Le calcul devient beaucoup plus simple, si d'après la proposition du prof. Timoshenko¹⁾ on envisage le rail comme poutre infiniment longue reposant sur une assise élastique continue, sous condition que la base inférieure de cette poutre, pressant sur l'assise, aurait une largeur imaginaire:

$$b_s = \frac{D}{aC} \quad (20)$$

D étant le coefficient de l'appui du rail en kg/cm,

C coefficient de l'assise des traverses en kg/cm³,

a écartement des traverses en cm.

Introduisant b_s dans la formule connue de l'abaissement d'une poutre infiniment longue reposant sur une assise élastique continue et portant un groupe quelconque de poids isolés ΣG , on reçoit

$$y = \frac{1}{2 C b_s L_s} \sum G \eta = \frac{1}{2 D} \sqrt[4]{\frac{3}{2 \gamma}} \sum G \eta \quad (21)$$

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{4 E I}{C b_s}} = a \sqrt[4]{\frac{2}{3} \gamma}; \quad \gamma = \frac{B}{D}; \quad B = \frac{6 E I}{a^3}$$

E coefficient de l'élasticité de l'acier,

I moment d'inertie de la section du rail

$$\eta = e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi) \quad \xi = \frac{x}{L_s}$$

x distance du point d'application du poids G à la section considérée

$\Sigma G \eta$ somme des produits des poids par la valeur correspondante de η .

Les suppositions approximatives ci-dessus²⁾ du calcul de l'abaissement du rail ne changent en rien le calcul de l'enfoncement de la traverse ainsi que de sa flexion selon la théorie stricte d'une poutre sur assise continue dont on connaît l'élasticité d'après les observations.

Les figures 31 et 32 présentent des diagrammes de l'abaissement du rail du type observé S , considéré comme poutre sur appuis isolés et séparément comme poutre sur assise continue, dans les conditions d'élasticité d'après les observations. En comparant ces diagrammes on parvient à conclure que les différences d'abaissement d'un rail chargé d'un seul ou de plusieurs poids, considéré comme poutre sur supports isolés ou bien sur assise continue, sont insignifiantes et ne dépassent pas 0,5%. Ce résultat des calculs nous autorisa d'apprécier l'influence d'une charge mobile sur l'abaissement du rail en le comparant à l'abaissement sous charge statique calculé d'après la formule (21), ce qui facilita grandement l'exécution des diagrammes de comparaison.

¹⁾ S. Timoshenko. K woprosu o procznosti rels. 1915.

²⁾ A. Wasiutyński. Drogi żelazne. 1925, p. 299 — 300. Le calcul de la superstructure d'après les principes exposés ci-dessus est en usage depuis 1920 dans les exercices des élèves de la section des voies de communication de l'Ecole Polytechnique de Varsovie. Des diagrammes représentés en miniature sur fig. 30 avec indication de leur usage facilitent ce calcul.

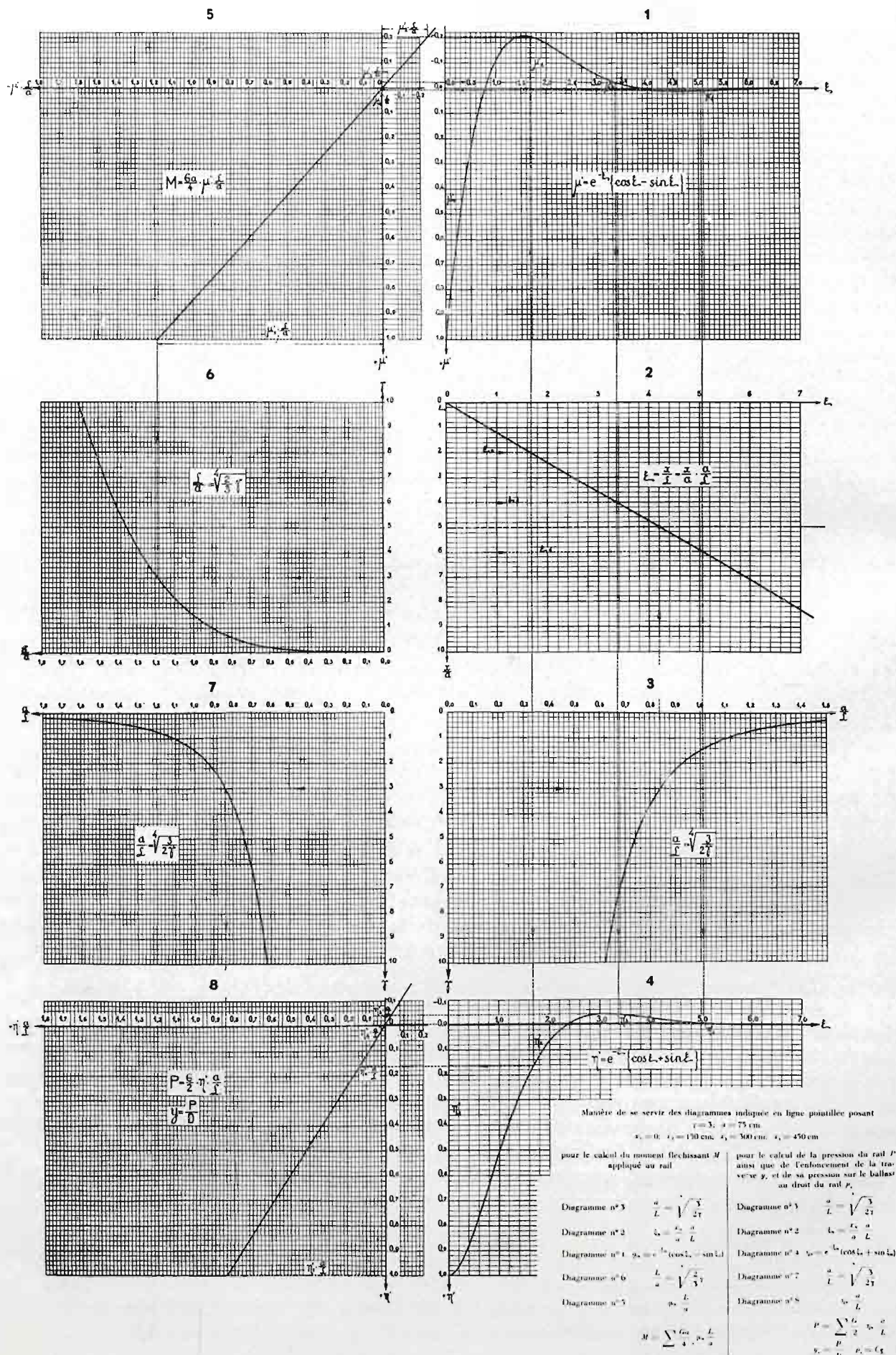


Fig. 30. Diagrammes de l'abaissement du rail et des moments fléchissants sous un système de poids.

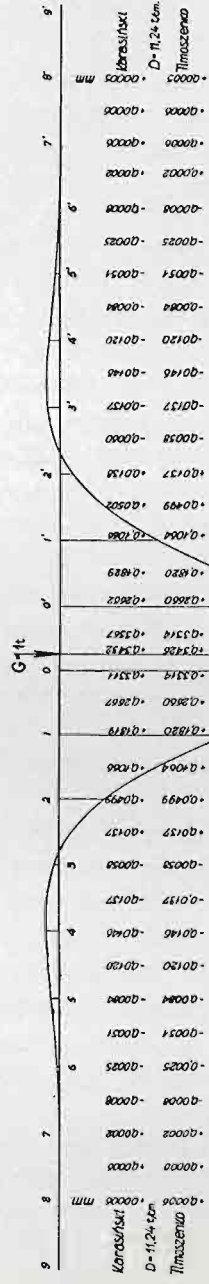
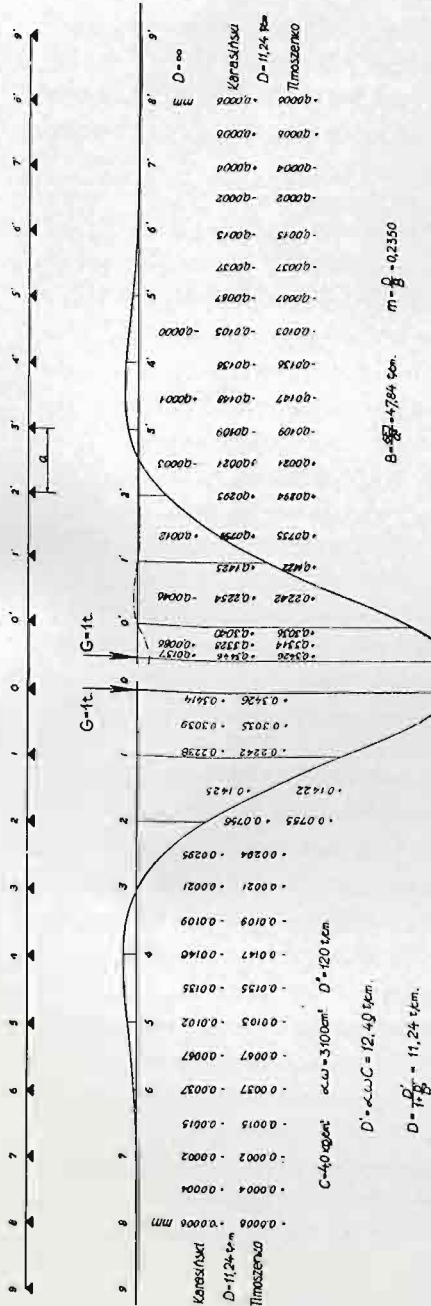


Fig. 31. Abaissement du rail sous un poids isolé.

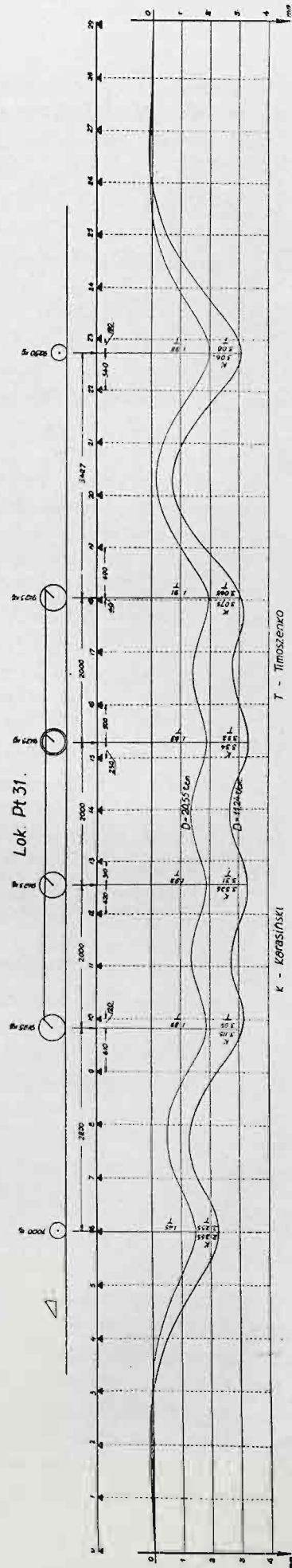


Fig. 32. Abaissement du rail sous un système de poids.

2. Abaissement du rail selon la vitesse et selon d'autres causes.

a. Mesurages effectués.

Pour faire ressortir l'influence de la vitesse et d'autres facteurs sur l'abaissement du rail on a mesuré sur les épreuves photographiques des mouvements verticaux du rail son abaissement, au passage de chaque roue de locomotive des trois types examinés, dans des trains de différente vitesse.

Les observations qu'on a faites dans ce but se rapportent à la partie médiane du rail entre les traverses 12 — 13 et 13 — 14 ainsi qu'au droit des traverses 12, 13 et 14.

Les résultats de ces mesurages sont réunis dans les tableaux XVI à XXIX en forme de chiffres et de diagrammes, séparément pour chaque type de locomotive, chaque période des recherches et chaque point d'observation.

Chacun de ces tableaux porte dans sa partie supérieure, dans la première ligne sous l'en-tête, les valeurs théoriques de l'abaissement du rail sous chaque roue de locomotive à l'état statique calculées d'après la formule (21). On s'est servi pour ce calcul des valeurs du coefficient de l'appui du rail trouvées pour chaque point d'après l'observation. Dans les lignes qui suivent on a indiqué l'abaissement du rail, observé au moment du passage de chaque roue de locomotive, en millimètres ainsi qu'en pour-cents de l'enfoncement sous charge statique d'après le calcul théorique. Dans la dernière ligne de la partie supérieure de chaque tableau on a indiqué en pour-cents les valeurs moyennes de l'enfoncement sous chaque roue de locomotive sans différence de vitesse.

Dans la partie inférieure des tableaux on a indiqué les valeurs moyennes de l'enfoncement sous chaque groupe de roues: porteuses, motrices, de tender, passant à différente vitesse.

Les diagrammes des tableaux XVI à XXIX, illustrant les résultats des observations, indiquent en pour-cents de l'enfoncement sous charge statique les valeurs moyennes de l'enfoncement observé du rail ainsi que ses valeurs extrêmes pour chaque roue de locomotive sans différence de vitesse ainsi que pour trois groupes de roues et chaque vitesse séparément.

Le tableau XXX donne les résultats moyens des tableaux XVI à XXIX pour chaque locomotive et chaque roue séparément.

Les tableaux XVI à XXX permettent de s'orienter sur les mouvements verticaux du rail sous les roues de différents types de locomotives marchant à différente vitesse, mais ne donnent pas une image complète de ces mouvements, telle qu'on reçoit d'après une photographie. Pour obtenir une telle image on posa sur le diagramme théorique de l'abaissement du rail sous la charge de chaque locomotive examinée les diagrammes photographiques de l'abaissement sous la même charge, obtenus pendant la marche des trains d'épreuve à différente vitesse (fig. 55 à 56). Chaque groupe d'observations posées sur le même diagramme théorique se rapporte au même point et à la même date. La vitesse des trains d'épreuve variait de 8 à 112 km/h.

Les diagrammes théoriques furent exécutés en tenant compte du coefficient de l'appui du rail propre au point observé.

b. Influence de la vitesse des trains.

L'examen des résultats des observations de l'abaissement du rail sous les locomotives Ok 22, Pt 51 et Pu 29 réunis dans les tableaux XVI à XXIX et comparés au moyen des diagrammes du tableau XXX, permet de remarquer ce qui suit concernant l'influence de la vitesse sur la valeur de cet abaissement.

En moyenne, l'abaissement du rail sous les roues motrices de ces trois types de locomotives augmente un peu avec la vitesse. A la vitesse maximale de 100 à 110 km/h l'accroissement de l'abaissement sous ces trois locomotives atteint respectivement 7,5%, 12,5% et 15,5% de l'abaissement à petite vitesse. Depuis une vitesse d'à peu près 80 à 90 km/h l'accroissement est plus grand qu'à une vitesse inférieure. Cependant en exa-

minant les tableaux détaillés on remarque que dans certains groupes d'observations (tableaux XVI et XIX) l'abaissement du rail n'augmente pas avec l'accroissement de la vitesse, surtout quand elle ne dépasse pas 80 km/h. et quelquefois même que l'abaissement diminue quand la vitesse augmente jusqu'à atteindre sa valeur maximale (tableau XXII). L'abaissement du rail varie dans des limites plus étendues lorsque la vitesse est grande que lorsqu'elle est petite. Cependant on rencontre aussi des cas contraires (tableaux XVI, XVIII, XX).

Sous les roues porteuses des locomotives l'augmentation de l'abaissement des rails avec la vitesse est encore moins prononcée.

Sous les roues des tenders le rail s'abaisse à peu près de la même manière que sous les roues porteuses des locomotives, mais l'abaissement varie dans de plus larges limites.

c. Influence des causes autres que la vitesse.

L'enfoncement moyen du rail sous les roues des locomotives de tous les trois types ainsi que les variations de cet enfoncement indiquées dans le tableau XXX font remarquer les traits suivants caractéristiques de ces locomotives:

1. En ce qui concerne les roues motrices:

- a. Un déchargement à peu près continu de la roue accouplée d'avant ainsi qu'un surchargement de la dernière roue accouplée et un surchargement un peu moins prononcé de la roue motrice. Le déchargement de la première roue accouplée est en général plus grand que le surchargement de la roue d'arrière.

Ce surchargement est à peu près égal dans tous les trois types de locomotives, tandis que le déchargement de la roue accouplée d'avant est dans la locomotive Ok 22 presque trois fois et dans la locomotive Pu 29 une fois et demie plus grand que le surchargement de la roue accouplée d'arrière. De plus petites différences de surcharge de la roue motrice est de décharge de la roue d'avant se font remarquer dans la locomotive type Pt 31.

- b. Des différences dans l'abaissement du rail sous la roue motrice de tous les trois types de locomotives plus grandes que sous les roues accouplées d'avant et d'arrière; ces différences sont avec la locomotive Ok 22 sous les roues accouplées une fois et demie et sous la roue motrice plus de deux fois plus grandes que sous les roues respectives des deux autres locomotives.
- c. Valeur maximale de surcharge de la roue motrice et des roues accouplées ne surpassant pas 28%, à l'exception de surcharge de la roue motrice de la locomotive Ok 22 dont la valeur se montait dans un cas à 52% et dans un autre jusqu'à 51% (fig. 37).

2. En ce qui concerne les roues porteuses des locomotives:

- a. Abaissement moyen du rail sous ces roues peu différent de celui qui résulterait du chargement statique.
- b. Différences d'abaissement sous la roue porteuse d'avant plus grandes que sous les autres roues porteuses.
- c. Valeur maximale de la surcharge des roues porteuses ne dépassant pas 26% à l'exception d'un seul cas dans lequel on a observé avec la locomotive Pu 29 une surcharge de la première roue porteuse allant jusqu'à 46% (fig. 38).

3. En ce qui concerne les roues des tenders:

- a. Action moyenne de ces roues peu différente de celle qui résulterait de l'action de la charge statique, apparaissant en forme de surcharge de 10% à 20% sous les roues extérieures des tenders des locomotives Ok 22 et Pu 29 et sous la roue d'arrière du tender de la locomotive Pt 31.
- b. Variation considérable de l'abaissement sous toutes les roues des tenders, allant jusqu'à 45%.
- c. Valeur considérable de surcharge maximale de toutes les roues des tenders des locomotives types Ok 22 et Pu 29, allant jusqu'à 47% sous les roues du premier et

T A B L E A U XVI.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

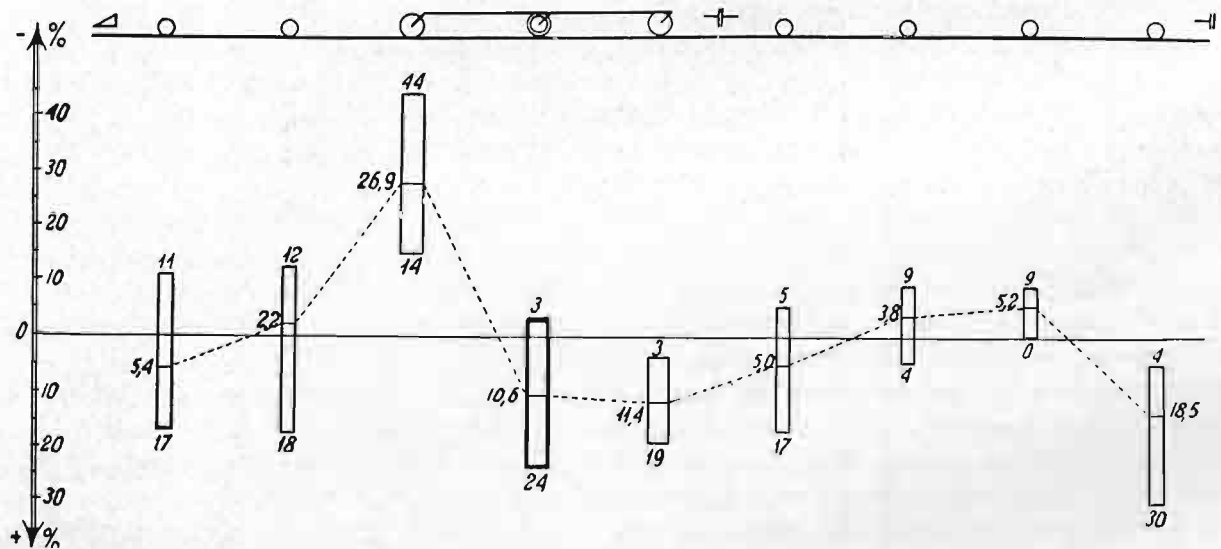
Locomotive Ok 22.

Année 1933.

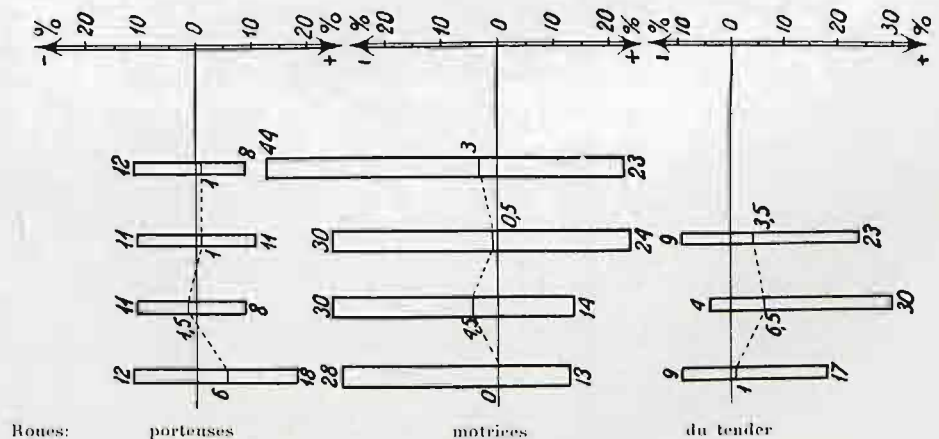
$$D = 11590 \text{ kg/cm}$$

Point observé 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 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ |
| 0 | — | 2,175 | 100 | 2,65 | 100 | 3,45 | 100 | 2,975 | 100 | 2,80 | 100 | de 2,06 à 2,20 | 100 | de 2,64 à 2,83 | 100 | de 2,67 à 2,86 | 100 | de 2,13 à 2,28 | 100 |
| 29,2 29,5 | 384 396 | 2,32 2,35 | 107 108 | 2,68 2,35 | 101 88 | 2,67 1,93 | 77 56 | 3,05 3,65 | 103 123 | 3,34 2,89 | 119 103 | — — | — — | — — | — — | — — | — — | — — | — — |
| 53,8 54,9 | 586 598 | 2,19 2,42 | 101 111 | 2,69 2,35 | 102 89 | 2,50 2,42 | 72 70 | 3,20 3,68 | 108 124 | 2,96 3,32 | 106 119 | 2,52 2,07 | 115 95 | 2,58 2,78 | 91 99 | 2,62 2,82 | 92 100 | 2,60 2,78 | 114 125 |
| 83,6 70,8 | 588 400 | 1,94 2,35 | 89 108 | 2,71 2,52 | 102 95 | 2,43 2,80 | 70 81 | 2,88 3,27 | 97 110 | 3,09 3,20 | 110 114 | 2,16 2,21 | 100 104 | 2,88 2,64 | 104 96 | 2,68 2,70 | 96 97 | 2,77 2,87 | 124 130 |
| 107,2 103,5 | 590 402 | 2,23 2,54 | 103 117 | 3,12 2,35 | 118 88 | 2,47 2,96 | 72 86 | 3,32 3,27 | 112 110 | 2,99 3,17 | 107 113 | 2,45 2,04 | 117 99 | 2,57 2,40 | 96 91 | 2,52 2,42 | 95 91 | 2,52 2,21 | 116 104 |
| | | | 105,4 | | 97,8 | | 73,1 | | 110,6 | | 111,4 | | 105,0 | | 96,2 | | 94,8 | | 118,5 |



| Vitesse km/h | Épreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| 20,2 | 384 | 104 | 100 | — |
| 20,5 | 396 | 98 | 94 | --- |
| 53,8 | 386 | 102 | 95 | 103 |
| 54,9 | 398 | 100 | 104 | 104 |
| 85,6 | 388 | 95 | 89 | 106 |
| 70,8 | 400 | 102 | 102 | 107 |
| 107,2 | 390 | 110 | 97 | 106 |
| 103,5 | 402 | 102 | 103 | 96 |



jusqu'à 34% sous les roues du second de ces types ainsi que de la roue d'arrière du tender de la locomotive Pt₃₁, dont la surcharge atteignait 30%.

Les épreuves photographiques (fig. 35 à 36) font voir, outre les traits caractéristiques indiqués ci-dessus, des vibrations périodiques du rail: plus grandes de petite fréquence à proximité de certains groupes de roues et très petites de grande fréquence presque sur tout le parcours de l'abaissement du rail.

TABLEAU XVII.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

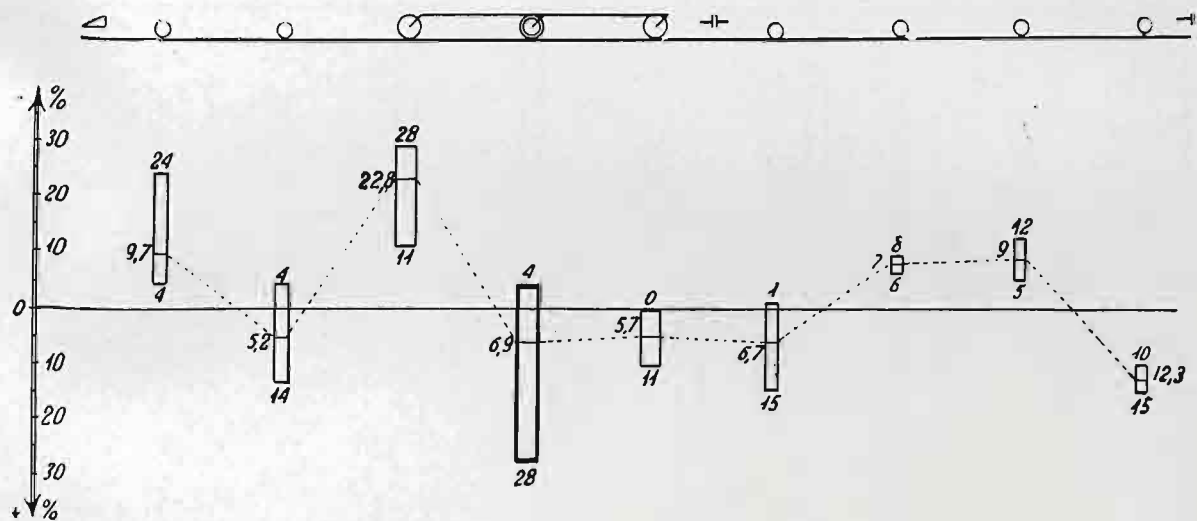
Locomotive Ok 22.

Année 1933.

$D = 11590 \text{ kg/cm}$

Point observé au droit de la traverse 12.

| Vitesse km/h | Epreuve n° | Roues portuses | | | | Roues motrices | | | | | | Roues du tender | | | | | | | |
|-----------------|---------------|----------------|------|------|-------|----------------|------|-------|-----|------|-------|-------------------|-------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | | 3 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ |
| 0 | — | 2,175 | 100 | 2,65 | 100 | 3,45 | 100 | 2,975 | 100 | 2,80 | 100 | de 2,10 à 2,20 | 100 | de 2,69 à 2,83 | 100 | de 2,72 à 2,86 | 100 | de 2,17 à 2,28 | 100 |
| 29,2 | 383 | 2,06 | 95 | 2,55 | 96 | 2,56 | 74 | 2,85 | 96 | 3,12 | 111 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 53,8 | 385 | 2,06 | 95 | 2,88 | 109 | 2,53 | 75 | 3,09 | 104 | 2,80 | 100 | 2,53 | 115 | 2,63 | 95 | 2,75 | 95 | 2,65 | 115 |
| 83,6 | 387 | 1,66 | 76 | 2,70 | 102 | 2,50 | 72 | 2,98 | 100 | 2,88 | 103 | 2,13 | 99 | 2,61 | 94 | 2,55 | 90 | 2,50 | 112 |
| 107,2 | 389 | 2,08 | 96 | 3,02 | 114 | 3,07 | 89 | 3,80 | 128 | 3,04 | 109 | 2,25 | 106 | 2,48 | 92 | 2,38 | 88 | 2,38 | 110 |
| | | | 90,3 | | 105,2 | | 77,2 | | | | 105,7 | | 106,7 | | 93,0 | | 91,0 | | 112,3 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 29,2 | 383 | 95 | 94 | — |
| 53,8 | 385 | 102 | 92 | 105 |
| 83,6 | 387 | 89 | 92 | 99 |
| 107,2 | 389 | 105 | 109 | 99 |

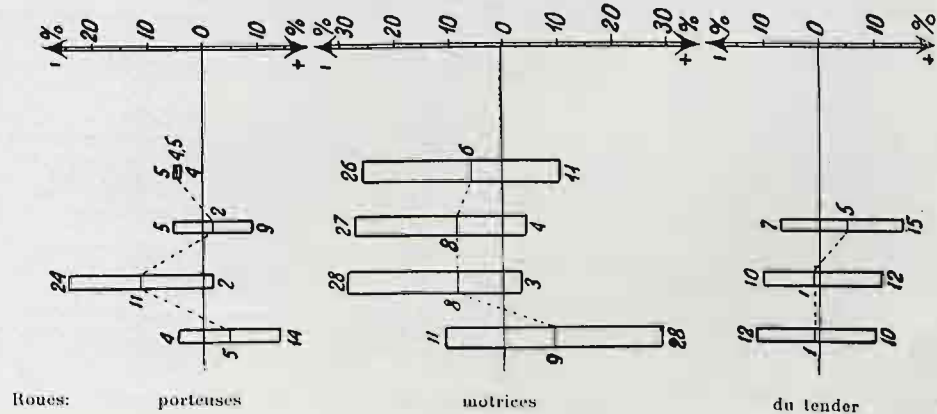


TABLEAU XVIII.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

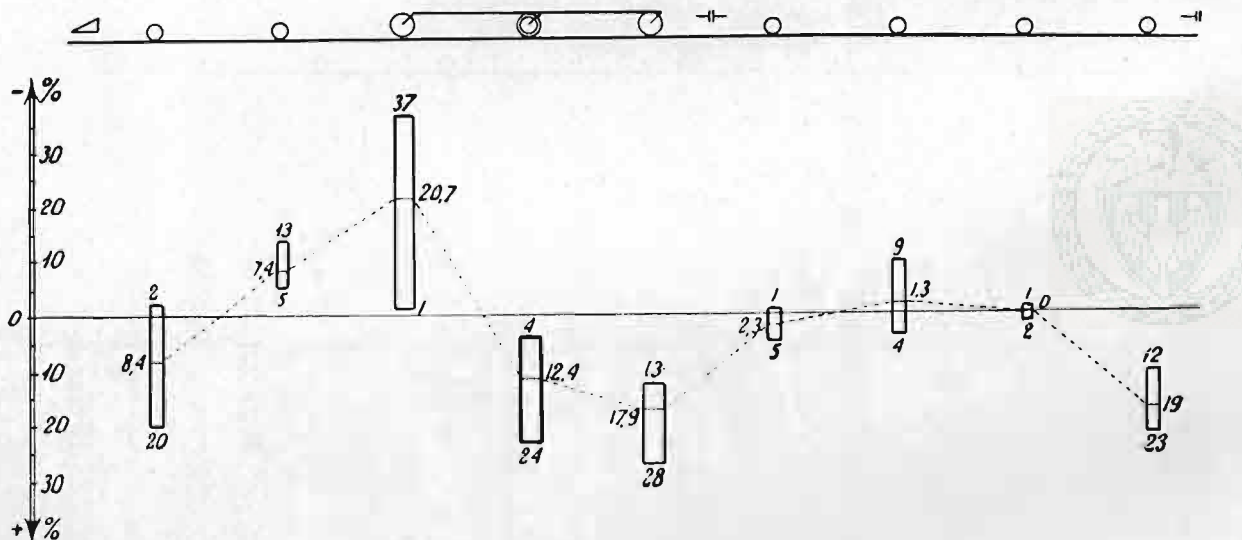
Locomotive Ok 22.

Année 1933.

Point observé au droit de la traverse 13.

$$D = 10675 \text{ kg/cm}$$

| Vitesse km/h | Epreuve n° | Roues porteuses | | | | Roues motrices | | | | | | Roues du tender | | | | | | | |
|--------------|------------|-----------------|-------|------|------|----------------|------|------|-------|------|-------|-------------------|-------|-------------------|------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | | 3 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ |
| 0 | — | 2,33 | 100 | 2,87 | 100 | 3,74 | 100 | 3,24 | 100 | 2,99 | 100 | de 2,23 à 2,36 | 100 | de 2,85 à 3,02 | 100 | de 2,90 à 3,07 | 100 | de 2,29 à 2,43 | 100 |
| 29,5 | 395 | 2,61 | 112 | 2,67 | 95 | 2,35 | 65 | 4,02 | 124 | 3,37 | 113 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 54,9 | 397 | 2,40 | 105 | 2,51 | 87 | 2,62 | 70 | 3,74 | 115 | 3,38 | 115 | 2,42 | 105 | 2,89 | 104 | 3,12 | 102 | 2,73 | 112 |
| 70,8 | 399 | 2,29 | 98 | 2,73 | 95 | 3,20 | 86 | 3,45 | 106 | 3,51 | 117 | 2,29 | 99 | 2,67 | 91 | 2,98 | 99 | 2,92 | 123 |
| 103,5 | 401 | 2,80 | 120 | 2,72 | 95 | 3,69 | 99 | 3,36 | 104 | 3,84 | 128 | 2,34 | 105 | 2,87 | 101 | 2,87 | 99 | 2,80 | 122 |
| | | | 108,4 | | 92,6 | | 79,3 | | 112,4 | | 117,9 | | 102,3 | | 98,7 | | 100,0 | | 119,0 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|--------------|------------|----------------------------------|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 29,5 | 395 | 102 | 100 | — |
| 54,9 | 397 | 95 | 99 | 105 |
| 70,8 | 399 | 97 | 103 | 103 |
| 103,5 | 401 | 107 | 110 | 107 |

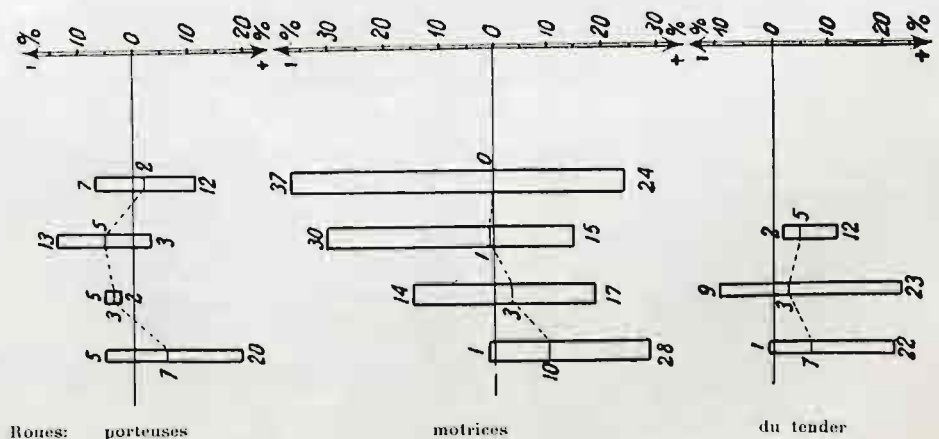


TABLEAU XIX.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

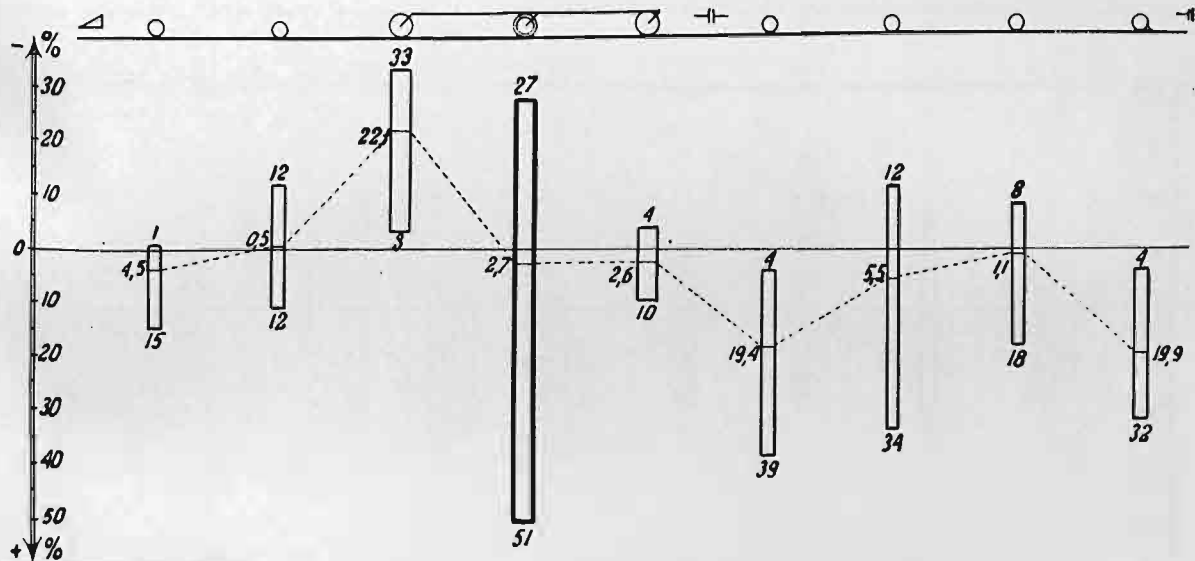
Locomotive Ok 22.

Année 1934.

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

Point observé 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 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ |
| 0 | — | 2,52 | 100 | 3,15 | 100 | 4,09 | 100 | 3,57 | 100 | 3,25 | 100 | de 1,89 à 2,51 | 100 | de 2,43 à 3,22 | 100 | de 2,47 à 3,28 | 100 | de 1,94 à 2,57 | 100 |
| 28,6 | 754 | 2,51 | 100 | 3,58 | 107 | 3,05 | 75 | 3,54 | 94 | 3,45 | 106 | 2,66 | 106 | 2,84 | 88 | 3,07 | 94 | 2,95 | 115 |
| 31,3 | 772 | 2,84 | 113 | 3,19 | 101 | 3,11 | 76 | 3,74 | 105 | 3,45 | 106 | 2,37 | 116 | 2,68 | 102 | 2,74 | 103 | 2,57 | 123 |
| 58,0 | 932 | 2,68 | 106 | 2,78 | 88 | 2,75 | 67 | 3,98 | 111 | 3,58 | 110 | 2,58 | 137 | 3,25 | 134 | — | — | — | — |
| 60,0 | 756 | 2,53 | 100 | 2,96 | 94 | 3,11 | 76 | 3,12 | 87 | 3,16 | 97 | 2,54 | 104 | 3,08 | 98 | 3,12 | 97 | 2,92 | 116 |
| 60,0 | 776 | — | — | 3,35 | 106 | 2,92 | 71 | 3,72 | 104 | 3,12 | 96 | 2,82 | 118 | 3,28 | 107 | 3,18 | 102 | 3,12 | 127 |
| 60,1 | 950 | 2,49 | 99 | 3,18 | 101 | 3,06 | 75 | 3,58 | 100 | 3,13 | 96 | 2,58 | 131 | — | — | — | — | — | — |
| 60,5 | 770 | 2,65 | 104 | 3,18 | 101 | 3,45 | 84 | 4,70 | 132 | 3,00 | 92 | 2,45 | 118 | 2,86 | 108 | 2,80 | 103 | 2,80 | 132 |
| 63,0 | 966 | 2,57 | 102 | 2,89 | 92 | 3,52 | 86 | 3,36 | 94 | 3,39 | 104 | 2,62 | 133 | 2,94 | 116 | 3,05 | 118 | — | — |
| 63,0 | 970 | 2,62 | 104 | 2,82 | 90 | 3,05 | 75 | 2,60 | 73 | 3,50 | 108 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 79,2 | 958 | 2,89 | 115 | 3,05 | 96 | 2,76 | 67 | 3,40 | 95 | 3,37 | 104 | 2,34 | 109 | 2,68 | 97 | 2,73 | 97 | 2,29 | 104 |
| 79,2 | 968 | 2,50 | 99 | 3,40 | 108 | 3,95 | 97 | 3,05 | 85 | 3,55 | 109 | 3,10 | 139 | 3,00 | 105 | 3,12 | 107 | 2,95 | 129 |
| 100,0 | 768 | — | — | — | — | 2,76 | 67 | 3,65 | 102 | 3,23 | 99 | 2,33 | 111 | 2,69 | 100 | 2,52 | 92 | 2,47 | 114 |
| 100,0 | 758 | 2,70 | 107 | 3,44 | 109 | 3,95 | 96 | 3,40 | 151 | 3,45 | 106 | 2,60 | 111 | 3,15 | 105 | 3,00 | 98 | 2,87 | 119 |
| | | | 104,5 | | 99,5 | | 77,9 | | 102,7 | | 102,6 | | 119,4 | | 105,5 | | 101,1 | | 119,9 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 28,6 | 754 | 103 | 92 | 101 |
| 31,3 | 772 | 107 | 96 | 111 |
| 58,0 | 932 | 97 | 96 | 135 |
| 60,0 | 756 | 97 | 87 | 104 |
| 60,0 | 776 | 106 | 90 | 114 |
| 60,1 | 950 | 100 | 92 | 131 |
| 60,5 | 770 | 102 | 103 | 115 |
| 63,0 | 966 | 97 | 95 | 122 |
| 63,0 | 970 | 97 | 85 | — |
| 79,2 | 958 | 105 | 89 | 102 |
| 79,2 | 968 | 104 | 97 | 120 |
| 100,0 | 768 | — | 89 | 104 |
| 100,0 | 758 | 108 | 118 | 108 |

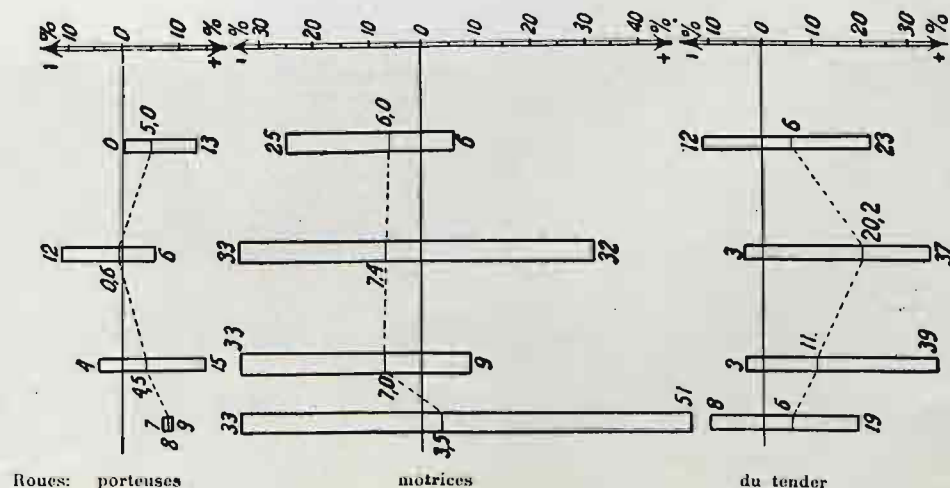


TABLEAU XX.

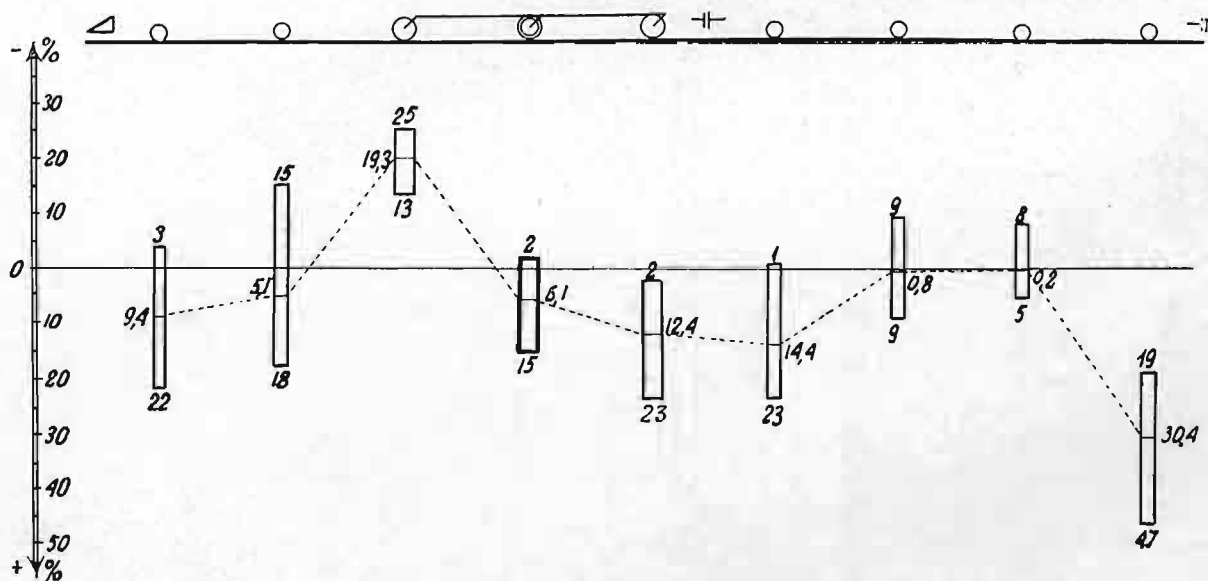
Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

Locomotive Ok 22. Année 1934.

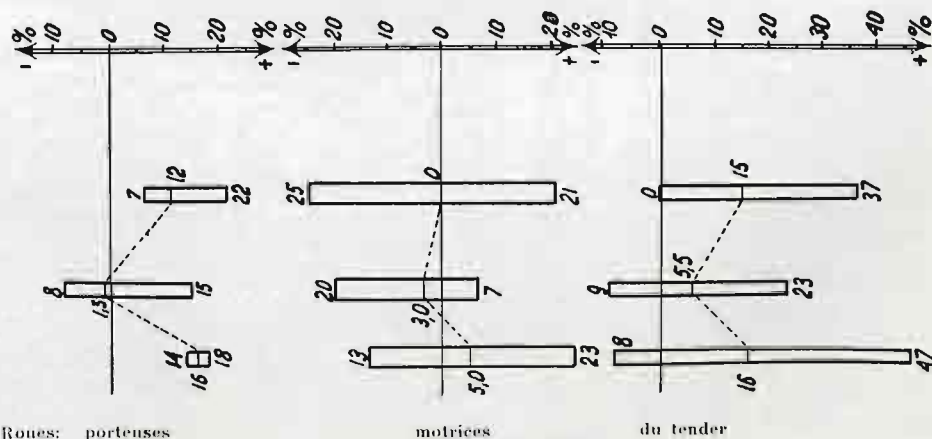
$D = 8740 \text{ kg/cm}$

Point observé dans la travée 13 — 14.

| Vitesse km/h | Epreuve n° | Roues porteuses | | | | Roues motrices | | | | | | Roues du tender | | | | | | | |
|-----------------|---------------|-----------------|-------|------|-------|----------------|------|------|-------|------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | | 3 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | mm | g/o | mm | g/o | mm | g/o | mm | g/o | mm | g/o | mm | g/o | mm | g/o | mm | g/o | mm | g/o |
| 0 | — | 2,72 | 100 | 3,48 | 100 | 4,48 | 100 | 3,85 | 100 | 3,48 | 100 | de 2,29 à 2,60 | 100 | de 2,95 à 3,35 | 100 | de 3,02 à 3,41 | 100 | de 2,33 à 2,64 | 100 |
| 30,6 | 764 | 2,90 | 107 | 3,72 | 107 | 3,58 | 75 | 4,02 | 105 | 3,78 | 109 | 3,05 | 117 | 3,65 | 109 | 3,48 | 102 | 3,32 | 126 |
| 31,1 | 760 | 3,52 | 122 | 3,85 | 111 | 3,56 | 75 | 4,44 | 115 | 4,21 | 121 | 2,94 | 123 | 3,07 | 100 | 3,51 | 105 | 3,52 | 137 |
| 81,5 | 940 | 2,95 | 108 | 3,64 | 105 | 3,57 | 80 | 4,10 | 106 | 3,72 | 107 | 2,72 | 116 | 2,88 | 95 | 3,08 | 100 | 2,95 | 123 |
| 87,0 | 948 | 2,65 | 97 | 2,95 | 85 | 3,88 | 87 | 3,79 | 98 | 3,56 | 102 | 2,57 | 99 | 2,81 | 91 | 3,21 | 102 | 2,89 | 119 |
| 103,8 | 762 | 3,10 | 114 | 4,12 | 118 | 3,88 | 87 | 4,08 | 106 | 4,28 | 123 | 2,68 | 117 | 3,22 | 109 | 2,78 | 92 | 3,42 | 147 |
| | | | 109,4 | | 105,1 | | 80,7 | | 106,1 | | 112,4 | | 114,4 | | 100,8 | | 100,2 | | 130,4 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | g/o | g/o | g/o |
| 30,6 | 764 | 107 | 96 | 114 |
| 31,1 | 760 | 117 | 104 | 116 |
| 81,5 | 940 | 106 | 98 | 108 |
| 87,0 | 948 | 91 | 96 | 105 |
| 103,8 | 762 | 116 | 105 | 116 |



Roues: porteuses

motrices

du tender

TABLEAU XXI.

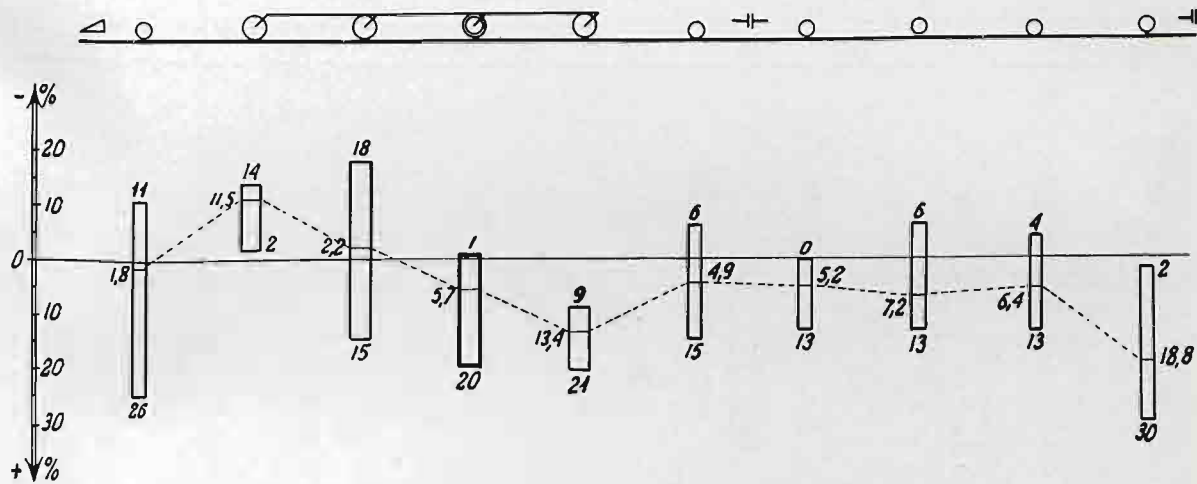
Abaissement du rail S sous la marche de trains et sous charge au repos d'après le calcul.

Locomotive Pt 31. Année 1933.

Point observé dans la travée 13—14.

$$D = 10675 \text{ kg/cm}$$

| Vitesse km/h | Epreuve n° | Roue porteuse d'avant | | Roues motrices | | | | | | | | Roue porteuse d'arrière | | Roue du tender | | | | | | | |
|-----------------|------------|-----------------------------|-------|----------------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------------------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|---|--|
| | | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | mm | °/₀ | mm | °/₀ | mm | °/₀ | mm | °/₀ | mm | °/₀ | mm | °/₀ | mm | °/₀ | mm | °/₀ | mm | °/₀ | | |
| 0 | — | 2,575 | 100 | 3,25 | 100 | 3,45 | 100 | 3,45 | 100 | 3,25 | 100 | 3,025 | 100 | de 2,60 à 2,85 | 100 | de 2,74 à 3,26 | 100 | de 2,66 à 3,21 | 100 | | |
| 27,9 | 364 | 2,53 | 98 | 2,82 | 87 | 3,31 | 96 | 3,56 | 105 | 3,78 | 116 | — | — | — | — | — | — | — | — | | |
| 30,5 | 376 | 2,26 | 95 | 2,78 | 86 | 3,30 | 96 | 3,48 | 101 | 3,60 | 111 | — | — | — | — | — | — | — | — | | |
| 54,3 | 366 | 2,20 | 93 | 3,19 | 98 | 3,22 | 93 | 4,14 | 120 | 5,93 | 121 | 3,15 | 103 | 3,01 | 106 | 3,06 | 94 | 3,13 | 96 | | |
| 55,5 | 378 | 2,99 | 126 | 2,94 | 90 | 2,82 | 82 | 3,60 | 104 | 3,67 | 113 | 3,48 | 115 | 2,94 | 113 | 3,10 | 113 | 3,06 | 112 | | |
| 87,1 | 368 | 2,52 | 106 | 2,78 | 86 | 3,36 | 97 | 3,54 | 103 | 3,54 | 109 | 3,40 | 112 | 2,98 | 106 | 3,35 | 113 | 3,08 | 104 | | |
| 90,0 | 370 | 2,12 | 89 | 2,82 | 87 | 3,65 | 106 | 3,41 | 99 | 3,75 | 115 | 3,01 | 100 | 2,78 | 101 | 3,05 | 106 | 3,25 | 113 | | |
| 112,0 | 372 | 2,50 | 105 | 2,81 | 86 | 3,97 | 115 | 3,79 | 110 | 3,53 | 109 | 2,84 | 94 | 2,61 | 100 | 3,03 | 110 | 2,94 | 107 | | |
| | | | 101,8 | | 88,5 | | 97,8 | | 105,7 | | 113,4 | | 104,9 | | 105,2 | | 107,2 | | 106,4 | | |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mô- trices | du tender |
| | | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| 27,9 | 364 | 98 | 100 | — |
| 30,5 | 376 | 95 | 99 | — |
| 54,5 | 366 | 98 | 108 | 100 |
| 55,5 | 378 | 120 | 97 | 113 |
| 87,1 | 368 | 109 | 99 | 110 |
| 90,0 | 370 | 95 | 102 | 112 |
| 112,0 | 372 | 100 | 105 | 112 |

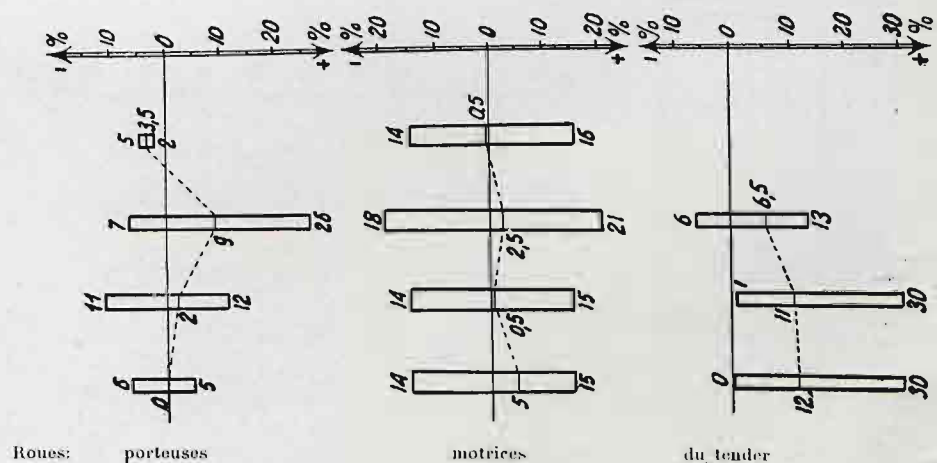


TABLEAU XXII.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

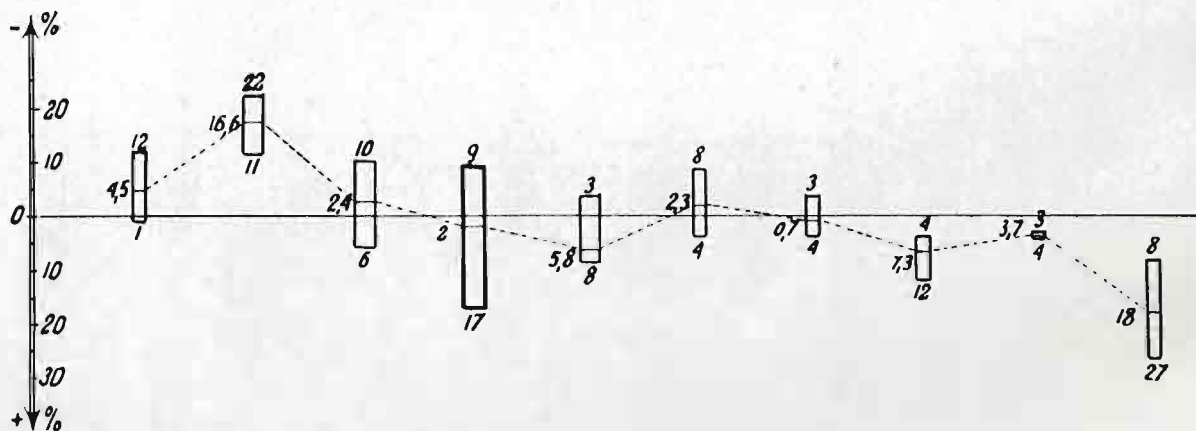
Locomotive Pt 31.

Année 1933.

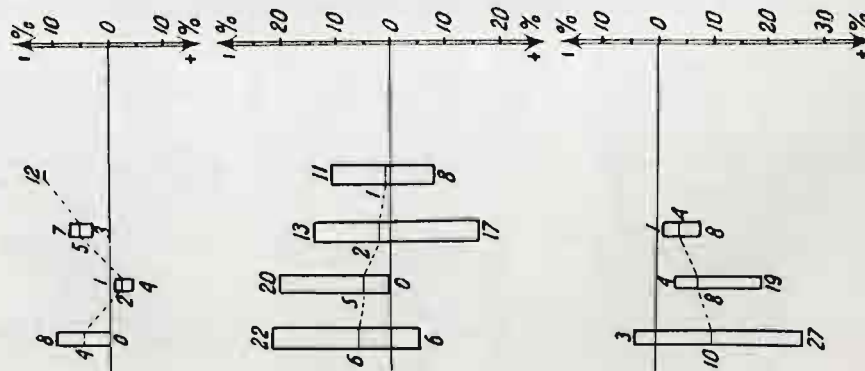
Point observé au droit de la traverse 14.

$D = 10180 \text{ kg/cm}$

| Vitesse km/h | Epreuve n° | Roue porteuse d'avant | | Roues porteuses | | | | | | | | Roue porteuse d'arrière | | Roues du tender | | | | | | | |
|--------------|------------|-----------------------|------|-----------------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------------------------|------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | | |
| 0 | — | 2,47 | 100 | 3,41 | 100 | 3,64 | 100 | 3,65 | 100 | 3,40 | 100 | 3,14 | 100 | de 2,74 à 2,98 | 100 | de 2,88 à 3,14 | 100 | de 2,89 à 3,14 | 100 | de 2,80 à 3,06 | 100 |
| 27,9 | 363 | 2,17 | 88 | 3,03 | 89 | 3,48 | 96 | 3,66 | 101 | 3,66 | 108 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 54,3 | 365 | 2,29 | 93 | 2,95 | 87 | 3,26 | 90 | 4,23 | 117 | 3,94 | 97 | 3,06 | 97 | 3,02 | 101 | 3,25 | 104 | 3,27 | 104 | 3,29 | 108 |
| 87,1 | 367 | 2,50 | 101 | 2,74 | 80 | 3,62 | 99 | 3,64 | 100 | 3,38 | 99 | 3,26 | 104 | 3,07 | 104 | 3,29 | 106 | 3,19 | 103 | 3,57 | 119 |
| 112,0 | 371 | 2,47 | 100 | 2,66 | 78 | 3,85 | 106 | 3,51 | 91 | 3,41 | 100 | 2,88 | 92 | 2,66 | 97 | 3,21 | 112 | 3,00 | 104 | 3,55 | 127 |
| | | | 95,5 | | 83,4 | | 97,6 | | 102,0 | | 105,8 | | 97,7 | | 100,7 | | 107,3 | | 103,7 | | 118,0 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|--------------|------------|----------------------------------|-----------|-----------|
| | | por-teuses | mo-trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 27,9 | 363 | 88 | 99 | — |
| 54,5 | 365 | 95 | 98 | 104 |
| 87,1 | 367 | 102 | 95 | 108 |
| 112,0 | 371 | 96 | 94 | 110 |



Roues: porteuses

motrices

du tender

T A B L E A U XXIII.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

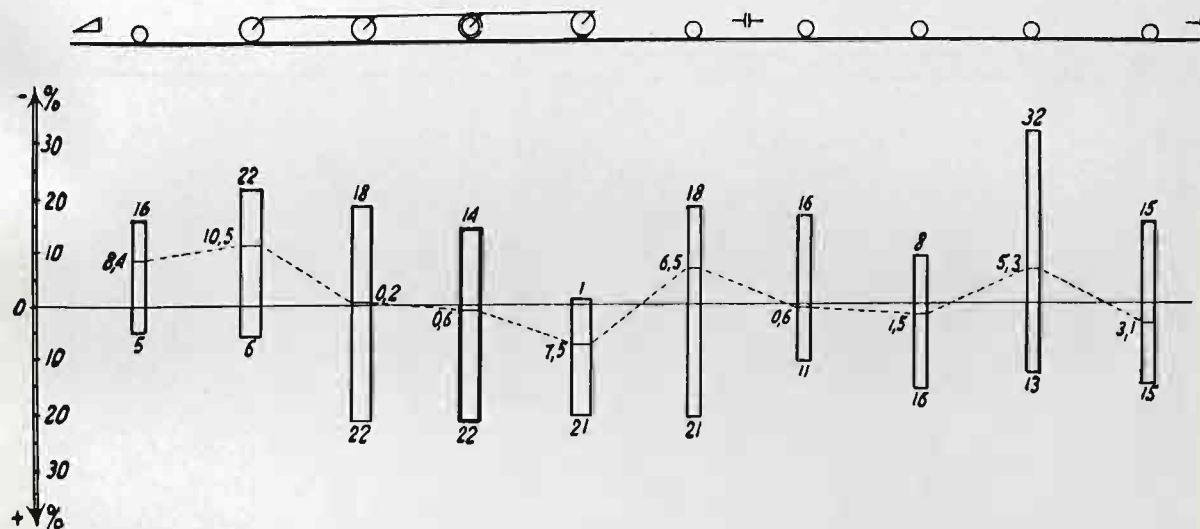
Locomotive Pt 31.

Année 1934.

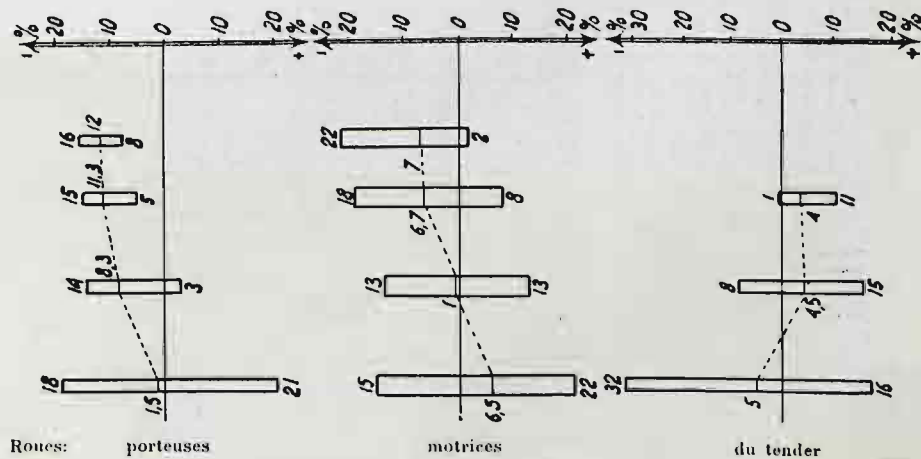
Point observé dans la travée 12—13.

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

| 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 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | | |
| 0 | — | 2,56 | 100 | 3,58 | 100 | 3,85 | 100 | 3,84 | 100 | 3,55 | 100 | 3,25 | 100 | de 2,75 à 3,26 | 100 | de 2,86 à 3,40 | 100 | de 2,90 à 3,44 | 100 | de 2,79 à 3,30 | 100 |
| 5,0 | 804 | 2,56 | 92 | 2,96 | 85 | 3,81 | 99 | 3,75 | 98 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5,0 | 812 | 2,14 | 84 | 2,79 | 78 | 3,74 | 98 | 3,65 | 95 | 3,61 | 102 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 30,1 | 802 | 2,22 | 87 | 3,06 | 85 | 3,65 | 95 | 3,65 | 95 | 3,84 | 108 | 2,84 | 87 | 2,96 | 100 | 3,07 | 99 | 3,39 | 108 | — | — |
| 31,8 | 818 | 2,25 | 88 | 3,00 | 84 | 3,15 | 82 | 3,32 | 86 | 3,75 | 106 | 3,10 | 95 | 3,24 | 105 | 3,27 | 99 | 3,42 | 102 | 3,51 | 109 |
| 34,0 | 810 | 2,30 | 90 | 3,06 | 85 | 3,49 | 91 | 3,66 | 95 | 3,80 | 107 | 2,75 | 85 | 2,89 | 105 | 3,00 | 105 | 3,17 | 109 | 3,11 | 111 |
| 68,8 | 786 | 2,20 | 86 | 3,12 | 87 | 3,65 | 95 | 3,73 | 97 | 3,65 | 105 | 2,78 | 86 | 3,00 | 97 | 2,96 | 92 | 3,01 | 92 | 3,11 | 99 |
| 65,9 | 800 | — | — | 3,27 | 91 | 3,85 | 101 | 4,08 | 106 | 3,95 | 111 | 3,13 | 96 | 3,28 | 107 | 3,40 | 106 | 3,38 | 104 | 3,55 | 115 |
| 65,0 | 808 | 2,29 | 89 | 3,38 | 94 | 3,61 | 94 | 3,84 | 100 | 3,80 | 107 | 2,88 | 89 | 2,95 | 105 | 3,05 | 105 | 3,35 | 115 | 3,05 | 107 |
| 69,2 | 816 | 2,28 | 89 | 3,38 | 94 | 3,55 | 95 | 3,85 | 100 | 4,00 | 115 | 3,35 | 105 | 3,40 | 106 | 3,45 | 105 | — | — | 3,75 | 115 |
| 106,5 | 784 | 2,54 | 99 | 3,05 | 85 | 3,94 | 105 | 3,60 | 94 | 3,55 | 99 | 2,82 | 87 | 2,91 | 95 | 3,06 | 95 | 2,25 | 68 | 2,70 | 85 |
| 108,0 | 798 | 2,52 | 98 | 3,29 | 92 | 4,35 | 114 | 3,90 | 102 | 3,75 | 106 | 2,67 | 82 | 2,65 | 84 | 3,08 | 94 | 2,26 | 68 | 2,90 | 91 |
| 102,5 | 806 | — | — | 3,80 | 106 | 4,25 | 110 | 4,68 | 122 | 4,28 | 121 | 3,18 | 98 | 3,18 | 111 | 3,45 | 116 | — | — | — | — |
| 105,5 | 814 | 2,70 | 105 | 3,55 | 99 | 4,68 | 122 | 4,55 | 118 | 3,85 | 108 | 3,95 | 121 | 3,15 | 96 | 3,55 | 104 | 3,05 | 88 | 3,25 | 98 |
| | | | 91,6 | | 89,5 | | 99,8 | | 100,6 | | 107,5 | | 95,5 | | 100,6 | | 101,5 | | 94,7 | | 105,1 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 5,0 | 804 | 92 | 95 | — |
| 5,0 | 812 | 84 | 95 | — |
| 30,1 | 802 | 87 | 96 | 102 |
| 31,8 | 818 | 91 | 90 | 105 |
| 34,0 | 810 | 88 | 94 | 107 |
| 68,8 | 786 | 86 | 95 | 95 |
| 65,9 | 800 | 96 | 102 | 108 |
| 65,0 | 808 | 89 | 99 | 107 |
| 69,2 | 816 | 96 | 100 | 108 |
| 106,5 | 784 | 95 | 95 | 85 |
| 108,0 | 798 | 90 | 104 | 84 |
| 102,5 | 806 | 98 | 115 | 114 |
| 105,5 | 814 | 115 | 112 | 97 |



T A B L E A U XXIV.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

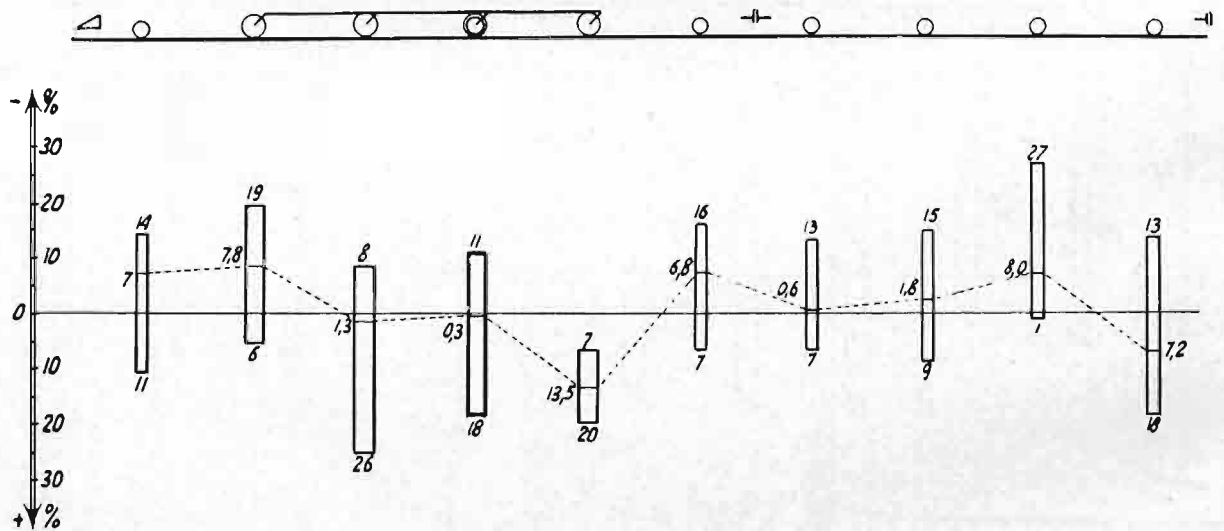
Locomotive Pt 31.

Année 1934.

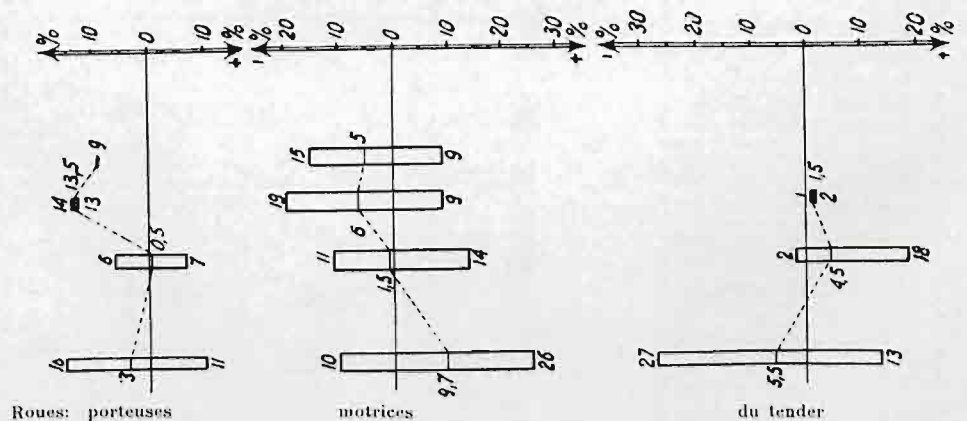
Point observé dans la travée 13—14.

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

| 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 | | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | | | |
| 0 | — | 2,74 | 100 | 3,85 | 100 | 4,20 | 100 | 4,22 | 100 | 3,79 | 100 | 3,45 | 100 | de 3,07 à 3,64 | 100 | de 3,22 à 3,82 | 100 | de 3,46 à 3,91 | 100 | de 3,21 à 3,61 | 100 | |
| 7,5 | 850 | 2,48 | 91 | 3,28 | 85 | 4,05 | 96 | 3,82 | 91 | 4,15 | 109 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 31,5 | 828 | 2,55 | 86 | 3,12 | 81 | 3,98 | 95 | 3,78 | 90 | 4,12 | 109 | 2,99 | 87 | 3,15 | 102 | 3,25 | 101 | — | — | — | — | |
| 68,0 | 834 | 2,61 | 95 | — | — | 3,98 | 95 | 4,00 | 95 | 4,55 | 114 | 3,25 | 94 | 3,57 | 101 | 3,65 | 98 | 3,82 | 101 | 3,95 | 111 | |
| 68,9 | 824 | — | — | 3,74 | 97 | 3,85 | 92 | 3,76 | 89 | 4,06 | 107 | 3,68 | 107 | 3,21 | 100 | — | — | 3,51 | 101 | 3,81 | 118 | |
| 101,0 | 826 | 3,05 | 111 | 3,60 | 94 | 4,50 | 107 | 4,60 | 109 | 4,45 | 117 | 3,15 | 91 | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 102,1 | 852 | 2,55 | 95 | 3,48 | 90 | 4,17 | 99 | 4,68 | 111 | 4,48 | 118 | 2,89 | 84 | 3,17 | 87 | 3,25 | 85 | 2,85 | 75 | 3,16 | 87 | |
| 102,5 | 822 | 2,95 | 107 | 4,08 | 106 | 5,28 | 126 | 5,00 | 118 | 4,55 | 120 | 3,55 | 97 | 3,55 | 107 | 3,75 | 109 | 3,28 | 95 | 3,75 | 115 | |
| | | | | 93,0 | | 92,2 | | 101,5 | | 100,5 | | 115,5 | | 95,2 | | 99,4 | | 98,2 | | 92,0 | | 107,2 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 7,5 | 850 | 91 | 95 | — |
| 31,5 | 828 | 87 | 94 | 101 |
| 68,0 | 834 | 94 | 101 | 105 |
| 68,9 | 824 | 107 | 96 | 106 |
| 101,0 | 826 | 101 | 107 | — |
| 102,1 | 852 | 88 | 105 | 85 |
| 102,5 | 822 | 102 | 117 | 106 |



T A B L E A U XXV.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

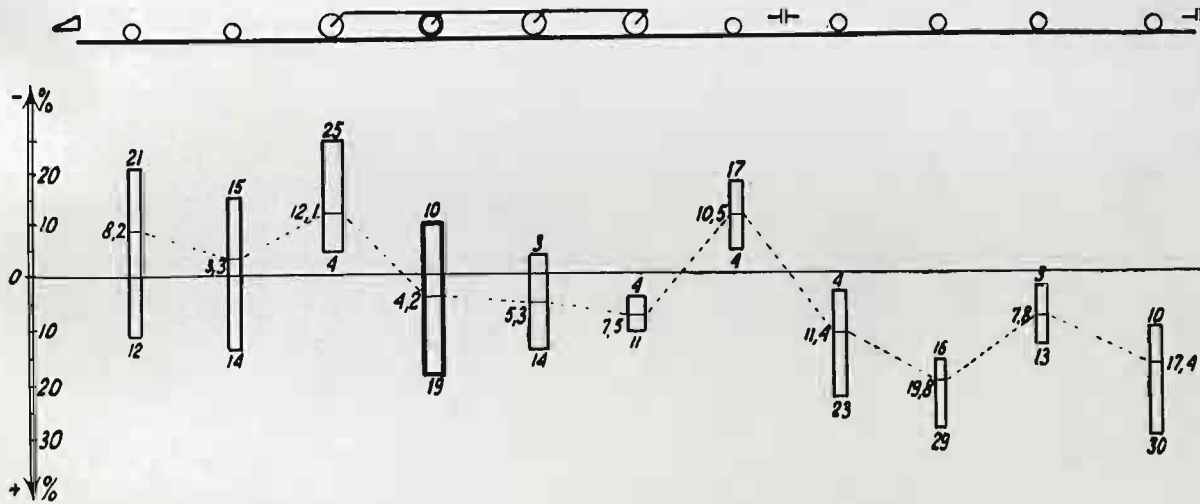
Locomotive Pu 29.

Année 1933.

$D = 11590 \text{ kg/cm}$

Point observé 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 | | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | |
| 0 | — | 1,775 | 100 | 2,40 | 100 | 3,525 | 100 | 3,25 | 100 | 3,30 | 100 | 3,10 | 100 | 2,95 | 100 | de 2,09 à 2,54 | 100 | de 2,13 à 2,56 | 100 | de 2,14 à 2,58 | 100 | de 2,16 à 2,60 | 100 |
| 30,7 | 354 | 1,40 | 79 | 1,98 | 83 | 3,02 | 86 | 2,92 | 90 | 3,41 | 103 | 3,44 | 111 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 56,4 | 350 | 1,88 | 106 | 2,35 | 98 | 3,18 | 90 | 3,86 | 119 | 3,65 | 111 | 3,44 | 111 | 2,82 | 96 | 2,82 | 111 | 3,30 | 129 | 2,92 | 113 | 3,10 | 119 |
| 57,6 | 356 | 1,45 | 82 | 2,29 | 95 | 3,03 | 86 | 3,34 | 103 | 3,21 | 97 | 3,35 | 108 | 2,46 | 83 | 2,30 | 104 | 2,60 | 116 | 2,33 | 103 | 2,69 | 117 |
| 81,0 | 358 | 1,41 | 79 | 2,04 | 85 | 2,64 | 75 | 3,16 | 97 | 3,39 | 103 | 3,23 | 104 | 2,52 | 85 | 2,46 | 113 | 2,61 | 118 | 2,48 | 111 | 2,93 | 130 |
| 108,6 | 352 | 1,98 | 112 | 2,73 | 114 | 3,40 | 96 | 3,60 | 111 | 3,76 | 114 | 3,30 | 106 | 2,73 | 93 | 3,00 | 123 | 2,92 | 118 | 2,68 | 108 | 2,78 | 111 |
| 105,5 | 360 | 1,66 | 94 | 2,55 | 105 | 3,32 | 94 | 3,43 | 106 | 3,42 | 104 | 3,24 | 105 | 2,67 | 91 | 2,42 | 116 | 2,52 | 118 | 2,22 | 104 | 2,37 | 110 |
| | | | 91,8 | | 96,7 | | 87,9 | | 104,2 | | 105,3 | | 107,5 | | 89,5 | | 111,4 | | 119,8 | | 107,8 | | 117,4 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 30,7 | 354 | 81 | 97 | — |
| 56,4 | 350 | 100 | 108 | 118 |
| 57,6 | 356 | 87 | 98 | 110 |
| 81,0 | 358 | 83 | 95 | 118 |
| 108,6 | 352 | 106 | 107 | 115 |
| 105,5 | 360 | 97 | 102 | 112 |

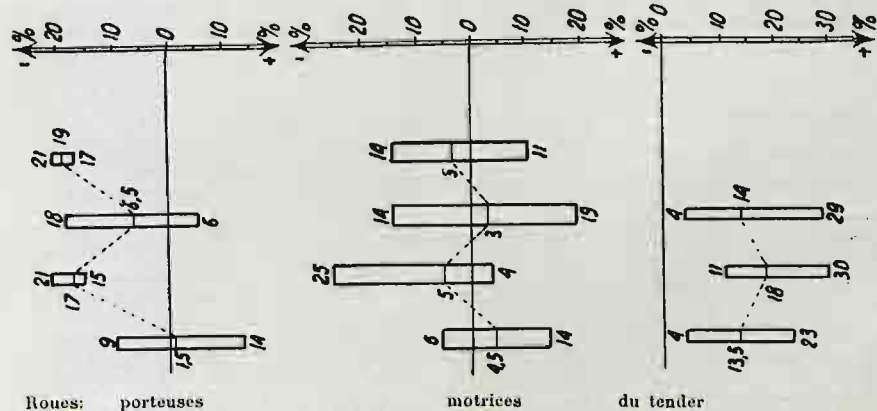


TABLEAU XXVI.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

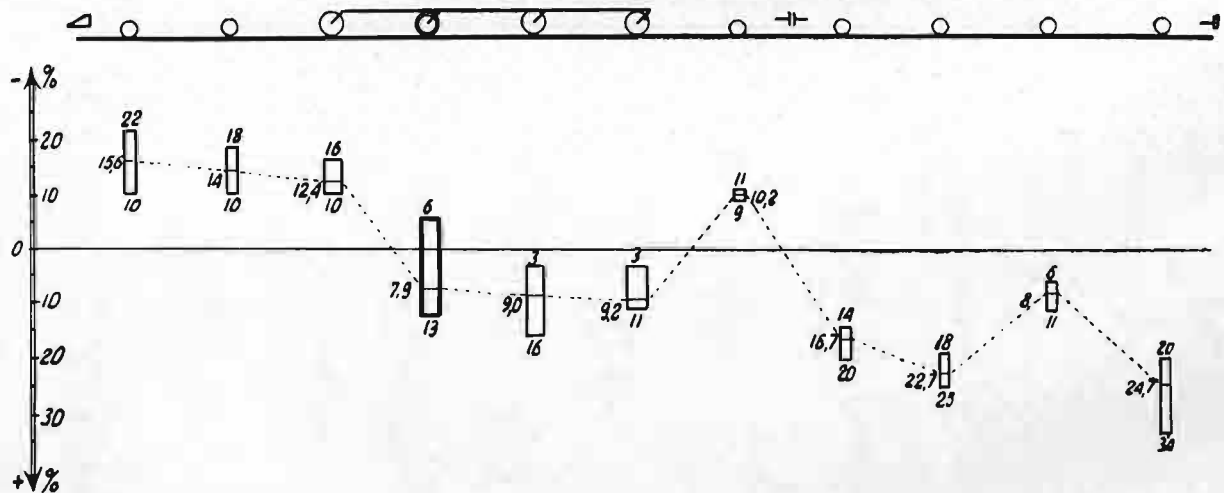
Locomotive Pu 29.

Année 1933.

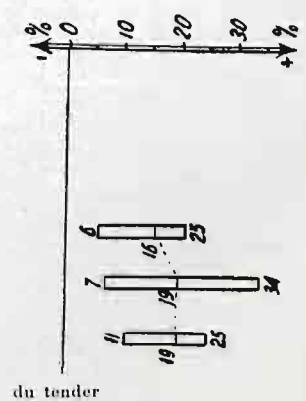
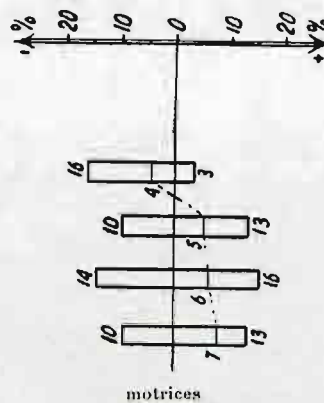
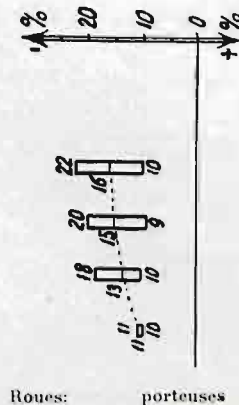
Point observé au droit de la traverse 13.

$D = 10675 \text{ kg/cm}$

| Vitesse km/h | Epreuve n° | Roues porteuses | | | | Roues motrices | | | | | | | | Roue porteuse d'arrière | | Roues du tender | | | | | | | |
|--------------|------------|-----------------|------|------|------|----------------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------------------------|------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ |
| 0 | — | 1,97 | 100 | 2,65 | 100 | 3,86 | 100 | 3,56 | 100 | 3,53 | 100 | 3,46 | 100 | 3,27 | 100 | de 2,21 à 2,35 | 100 | de 2,32 à 2,46 | 100 | de 2,31 à 2,46 | 100 | de 2,28 à 2,43 | 100 |
| 30,7 | 355 | 1,53 | 78 | 2,38 | 90 | 3,24 | 84 | 3,35 | 94 | 3,65 | 103 | 3,58 | 103 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 57,6 | 357 | 1,58 | 80 | 2,22 | 84 | 3,49 | 90 | 4,04 | 113 | 3,67 | 104 | 3,84 | 111 | 2,97 | 91 | 2,68 | 114 | 3,08 | 125 | 2,61 | 106 | 2,92 | 120 |
| 81,0 | 359 | 1,77 | 90 | 2,16 | 82 | 3,32 | 86 | 3,98 | 112 | 4,09 | 116 | 3,82 | 110 | 2,94 | 90 | 2,66 | 116 | 2,86 | 118 | 2,57 | 107 | 3,20 | 134 |
| 105,5 | 361 | 1,77 | 90 | 2,36 | 89 | 3,48 | 90 | 3,99 | 112 | 3,98 | 113 | 3,87 | 112 | 2,90 | 89 | 2,65 | 120 | 2,91 | 125 | 2,57 | 111 | 2,75 | 120 |
| | | | 84,4 | | 86,0 | | 87,6 | | 107,9 | | 109,0 | | 109,2 | | 89,8 | | 116,7 | | 122,7 | | 108,0 | | 124,7 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|--------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 30,7 | 355 | 84 | 96 | — |
| 57,6 | 357 | 85 | 105 | 116 |
| 81,0 | 359 | 87 | 106 | 119 |
| 105,5 | 361 | 89 | 107 | 119 |



T A B L E A U XXVII.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

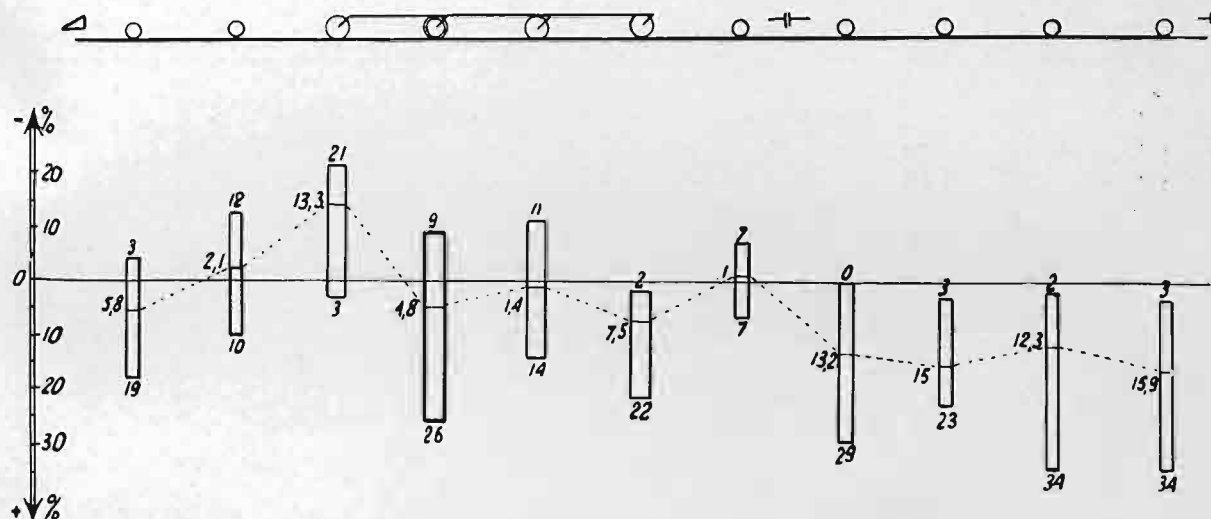
Locomotive Pu 29.

Année 1934.

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

Point observé 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 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ |
| 0 | — | 2,10 | 100 | 2,90 | 100 | 4,18 | 100 | 3,88 | 100 | 3,92 | 100 | 3,67 | 100 | 3,43 | 100 | de 2,44 à 3,25 | 100 | de 2,54 à 3,31 | 100 | de 2,57 à 3,35 | 100 | de 2,47 à 3,22 | 100 |
| 8,0 | 892 | 2,12 | 101 | 2,56 | 88 | 3,45 | 82 | 3,78 | 97 | — | — | 3,78 | 105 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8,4 | 884 | 2,18 | 104 | 2,85 | 97 | 3,48 | 85 | 4,00 | 105 | 3,85 | 98 | 3,85 | 104 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8,9 | 866 | 2,10 | 100 | 2,71 | 95 | 3,50 | 79 | 3,80 | 98 | 3,70 | 94 | 4,00 | 109 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 28,7 | 864 | 2,20 | 105 | 2,57 | 89 | 3,55 | 80 | 3,77 | 97 | 3,75 | 96 | 3,81 | 104 | 3,24 | 94 | 2,97 | 104 | — | — | — | — | — | — |
| 29,0 | 890 | 2,10 | 100 | 2,58 | 89 | 3,55 | 85 | 4,24 | 109 | 4,01 | 102 | 3,87 | 105 | 3,35 | 97 | 3,35 | 105 | — | — | — | — | — | — |
| 63,0 | 862 | 2,17 | 104 | 3,15 | 109 | 3,15 | 75 | 3,58 | 92 | 3,88 | 99 | 3,75 | 102 | 3,20 | 95 | 2,90 | 100 | 3,25 | 107 | 3,18 | 106 | 3,28 | 112 |
| 66,5 | 888 | 2,05 | 97 | 2,75 | 95 | 3,75 | 89 | 4,10 | 106 | 3,88 | 99 | 3,79 | 105 | 3,28 | 96 | 3,28 | 105 | 3,36 | 105 | 3,52 | 107 | 3,71 | 117 |
| 68,0 | 882 | 2,17 | 104 | 2,75 | 95 | 3,58 | 86 | 3,80 | 98 | 3,88 | 99 | 3,75 | 102 | 3,28 | 96 | 2,98 | 122 | 3,10 | 122 | 3,45 | 134 | 3,30 | 134 |
| 96,0 | 880 | — | — | — | — | — | — | 4,70 | 121 | 4,48 | 114 | 4,02 | 110 | 3,50 | 102 | 3,25 | 129 | 3,20 | 125 | 3,12 | 119 | 3,12 | 125 |
| 98,5 | 860 | 2,48 | 118 | 3,08 | 106 | 3,98 | 95 | 4,88 | 126 | 4,28 | 109 | 4,48 | 122 | 3,62 | 106 | 3,55 | 120 | 3,45 | 111 | 3,20 | 102 | 3,15 | 105 |
| 103,0 | 868 | 2,50 | 119 | 3,05 | 105 | 3,98 | 95 | 3,82 | 98 | 3,78 | 96 | 4,02 | 109 | 3,45 | 101 | 3,18 | 120 | 3,25 | 118 | 3,00 | 108 | 2,75 | 105 |
| 109,0 | 886 | 2,58 | 115 | 3,20 | 110 | 4,32 | 105 | 4,28 | 110 | 4,28 | 109 | 4,32 | 118 | 3,68 | 107 | 3,68 | 116 | 4,00 | 121 | 3,68 | 110 | 3,78 | 117 |
| | | | 105,8 | | 97,9 | | 86,7 | | 104,8 | | 101,4 | | 107,5 | | 99,0 | | 115,2 | | 115,0 | | 112,5 | | 115,9 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 8,0 | 892 | 95 | 94 | — |
| 8,4 | 884 | 100 | 97 | — |
| 8,9 | 866 | 97 | 95 | — |
| 28,7 | 864 | 96 | 94 | 104 |
| 29,0 | 890 | 95 | 100 | 105 |
| 63,0 | 862 | 102 | 92 | 106 |
| 66,5 | 888 | 96 | 99 | 108 |
| 68,0 | 882 | 98 | 96 | 128 |
| 96,0 | 880 | 102 | 115 | 125 |
| 98,5 | 860 | 110 | 113 | 110 |
| 103,0 | 868 | 108 | 100 | 112 |
| 109,0 | 886 | 110 | 110 | 116 |

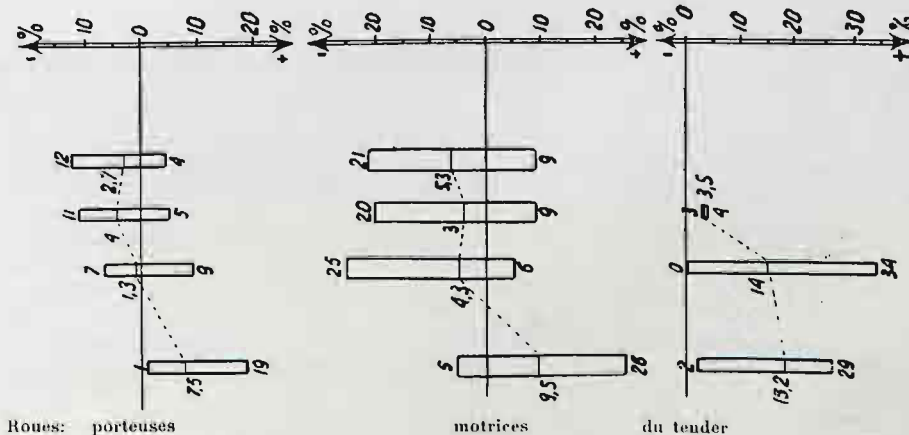


TABLEAU XXVIII.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

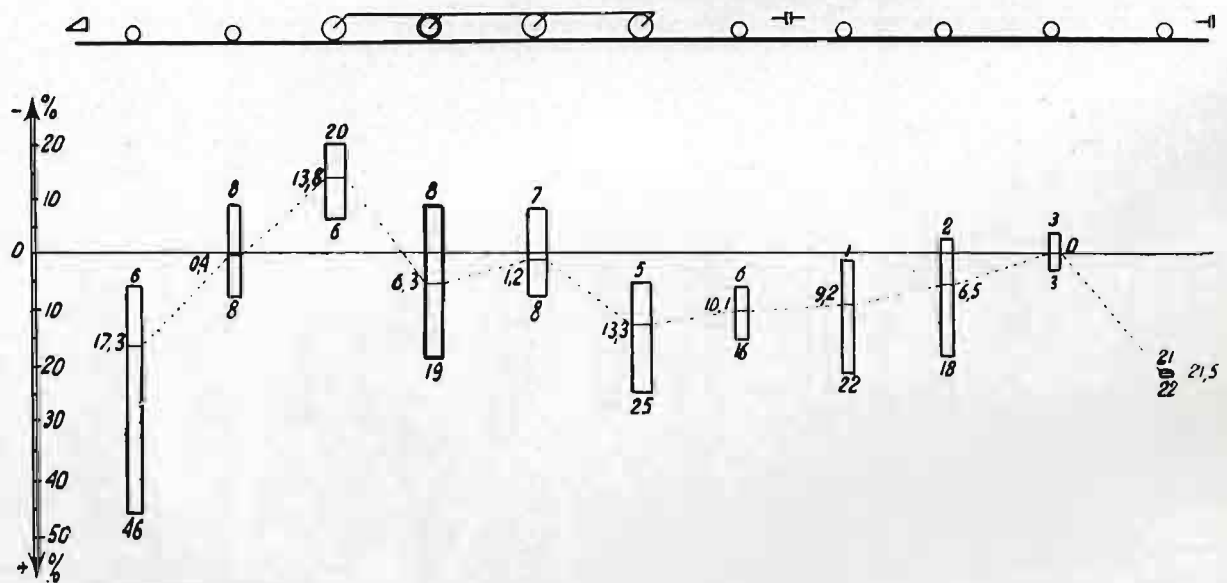
Locomotive Pu 29.

Année 1934.

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

Point observé dans la travée 13—14.

| 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 | | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | |
| 0 | — | 2,24 | 100 | 3,16 | 100 | 4,50 | 100 | 4,21 | 100 | 4,30 | 100 | 3,89 | 100 | 3,59 | 100 | de 2,92 à 3,22 | 100 | de 3,06 à 3,38 | 100 | de 3,13 à 3,46 | 100 | de 2,93 à 3,24 | 100 |
| 7,5 | 902 | 2,37 | 106 | 2,92 | 92 | 3,80 | 84 | 3,88 | 92 | 4,32 | 100 | 4,18 | 107 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8,8 | 876 | 2,49 | 111 | 3,11 | 98 | 3,61 | 80 | 4,21 | 100 | 3,99 | 93 | 4,10 | 105 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 29,6 | 874 | 2,52 | 113 | 3,42 | 108 | 3,80 | 84 | 4,50 | 107 | 4,12 | 96 | 4,32 | 111 | 3,90 | 109 | 3,47 | 112 | — | — | — | — | — | — |
| 60,0 | 898 | — | — | — | — | 4,22 | 94 | 4,62 | 110 | 4,38 | 102 | 4,50 | 116 | 3,95 | 110 | 3,32 | 106 | 3,37 | 103 | — | — | — | — |
| 65,5 | 872 | 2,48 | 111 | 3,32 | 105 | 4,08 | 91 | 4,48 | 106 | 4,58 | 107 | 4,78 | 123 | 4,02 | 112 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 100,0 | 896 | — | — | — | — | — | — | 4,45 | 106 | 4,65 | 108 | 4,88 | 125 | 4,15 | 116 | 3,88 | 122 | 3,95 | 118 | — | — | — | — |
| 100,0 | 878 | 3,28 | 146 | 3,10 | 98 | 3,75 | 83 | 5,02 | 119 | 4,48 | 104 | 4,58 | 115 | 3,88 | 108 | 3,08 | 105 | 3,28 | 107 | 3,22 | 103 | 3,58 | 122 |
| 102,0 | 870 | — | — | — | — | — | — | 4,65 | 110 | 4,28 | 100 | 4,12 | 106 | 3,82 | 106 | 3,20 | 101 | 3,32 | 98 | 3,35 | 97 | 3,92 | 121 |
| | | | 117,3 | | 100,4 | | 86,2 | | 106,3 | | 101,2 | | 113,5 | | 110,1 | | 109,2 | | 106,5 | | 100,0 | | 121,5 |



| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|-----------------|------------|--|---------------|--------------|
| | | por- teuses | mo- trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 7,5 | 902 | 99 | 96 | — |
| 8,8 | 876 | 105 | 95 | — |
| 29,6 | 874 | 110 | 99 | 112 |
| 60,0 | 898 | 110 | 105 | 105 |
| 65,5 | 872 | 109 | 107 | — |
| 100,0 | 896 | 116 | 113 | 120 |
| 100,0 | 878 | 117 | 105 | 109 |
| 102,0 | 870 | 106 | 105 | 104 |

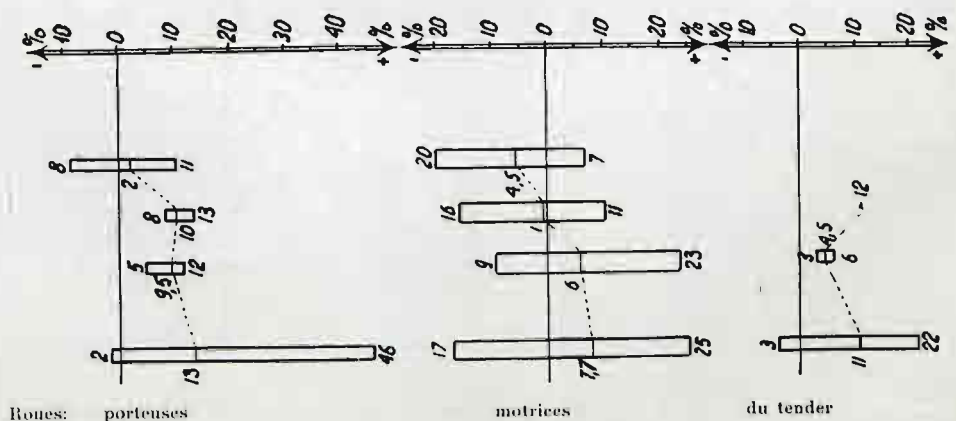


TABLEAU XXIX.

Abaissement du rail S sous la marche des trains et sous charge au repos d'après le calcul.

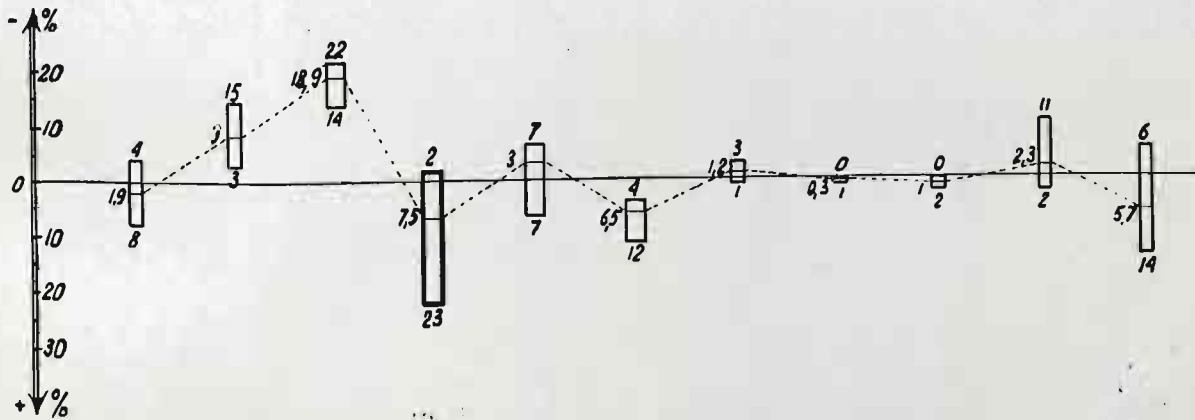
Locomotive Pu 29.

Année 1934.

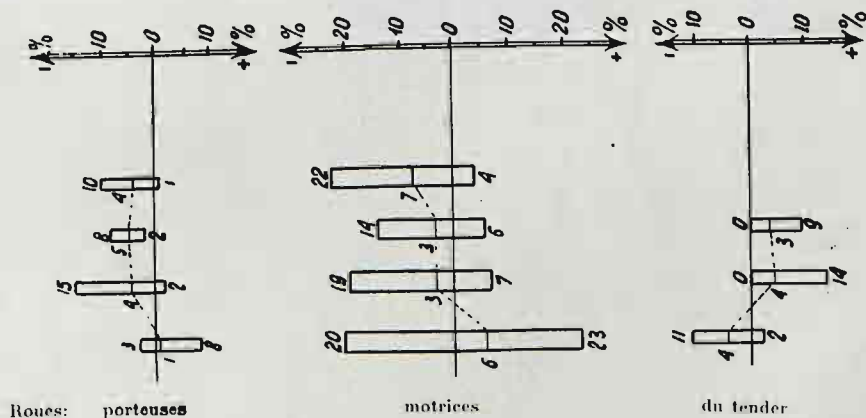
Point observé au droit de la traverse 13.

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

| Vitesse km/h | Epreuve n° | Roues porteuses | | | | Roues motrices | | | | | | | | Roue porteuse d'arrière | | Roues du tender | | | | | | | |
|--------------|------------|-----------------|-------|------|------|----------------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------------------------|------|-----------------|-------|----------------|-------|----------------|------|----------------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | | | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ | mm | ‰ |
| 0 | — | 2,24 | 100 | 3,16 | 100 | 4,50 | 100 | 4,21 | 100 | 4,50 | 100 | 3,89 | 100 | 3,59 | 100 | de 3,39 à 3,54 | 100 | de 3,56 à 3,72 | 100 | de 3,64 à 3,80 | 100 | de 3,40 à 3,56 | 100 |
| 9,0 | 858 | 2,26 | 101 | 2,85 | 90 | 3,51 | 78 | 4,13 | 98 | 3,99 | 95 | 4,06 | 104 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 31,7 | 856 | 2,15 | 96 | 2,90 | 92 | 3,87 | 86 | 4,32 | 103 | 4,02 | 93 | 4,13 | 106 | 3,53 | 98 | 3,38 | 100 | 3,55 | 100 | 3,56 | 102 | 3,69 | 109 |
| 64,7 | 854 | 2,29 | 102 | 2,70 | 85 | 3,63 | 81 | 4,50 | 107 | 4,08 | 95 | 4,04 | 104 | 3,61 | 101 | 3,45 | 100 | 3,67 | 101 | 3,78 | 102 | 3,94 | 114 |
| 103,5 | 852 | 2,43 | 108 | 3,05 | 97 | 3,59 | 80 | 5,16 | 123 | 4,59 | 107 | 4,34 | 112 | 3,50 | 97 | 3,57 | 101 | 3,66 | 102 | 3,40 | 89 | 3,33 | 94 |
| | | | 101,9 | | 91,0 | | 81,1 | | 107,5 | | 97,0 | | 106,5 | | 98,8 | | 100,3 | | 101,0 | | 97,7 | | 105,7 |



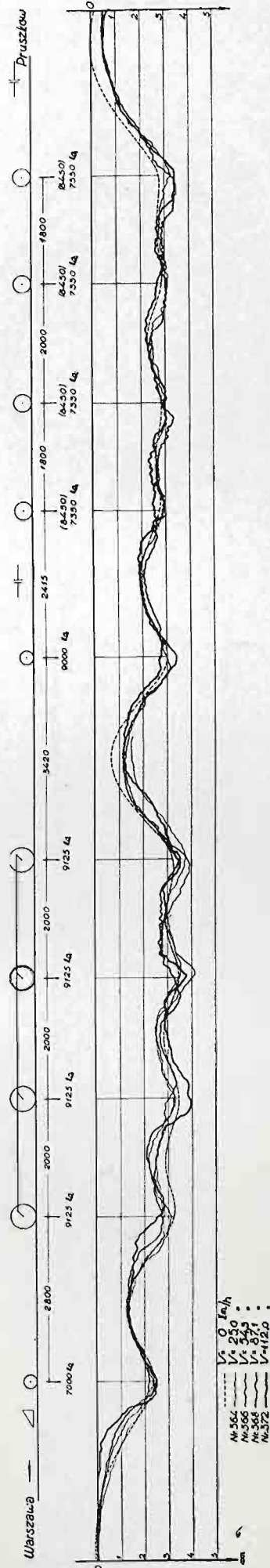
| Vitesse km/h | Epreuve n° | Abaissement moyen sous les roues | | |
|--------------|------------|----------------------------------|-----------|-----------|
| | | por-teuses | mo-trices | du tender |
| | | ‰ | ‰ | ‰ |
| 9,0 | 858 | 96 | 93 | — |
| 31,7 | 856 | 95 | 97 | 103 |
| 64,7 | 854 | 96 | 97 | 104 |
| 103,5 | 852 | 101 | 106 | 96 |



Année 1933.

Locomotive 1-4-1, série Pt 31, avec tender 32-D-29.

Travée 13-14.



Année 1934.

Locomotive 1-4-1, série Pt 31, avec tender 32-D-29.

Travée 12-13.

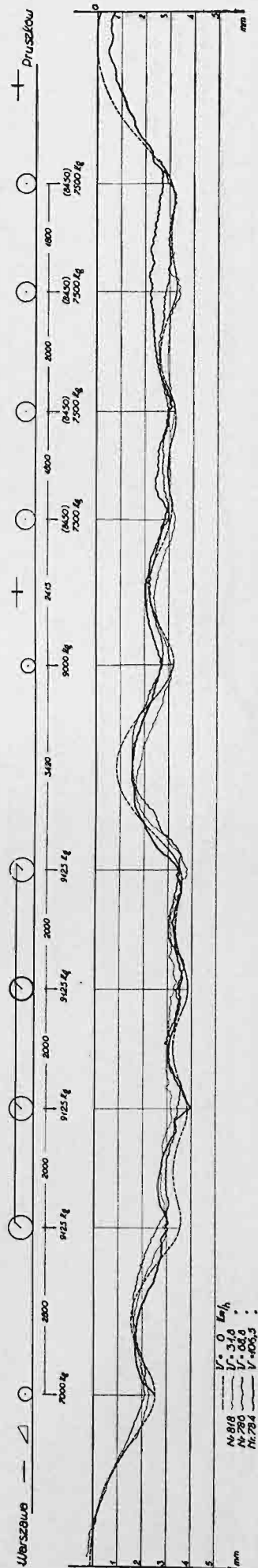
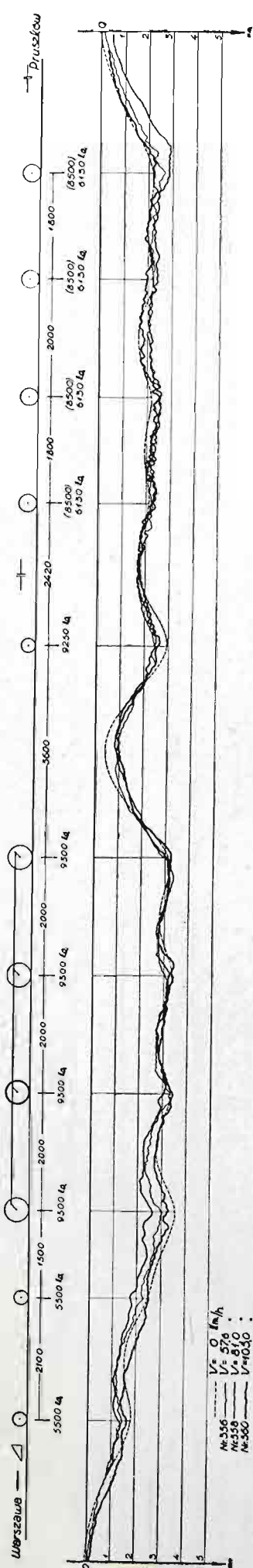
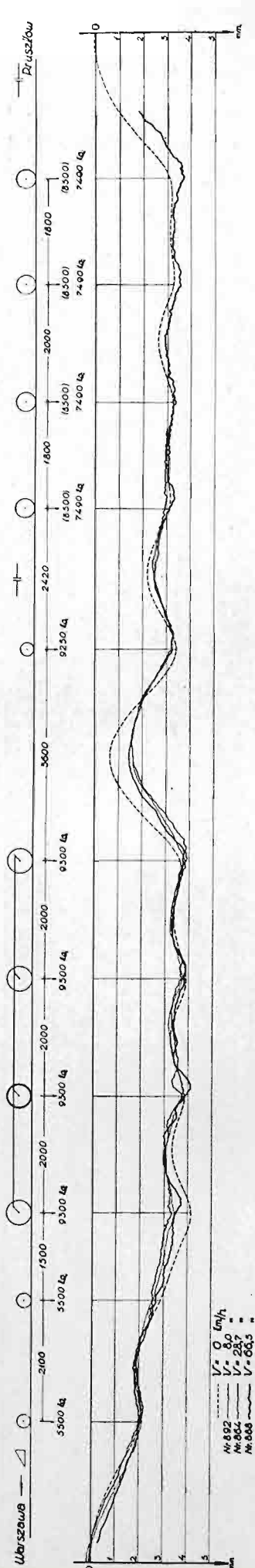


Fig. 34. Abaissement observé du rail S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparé à l'abaissement au repos d'après le calcul.

L'axe 12-13.



Travée 12-13.



An droit de la traverse 13.

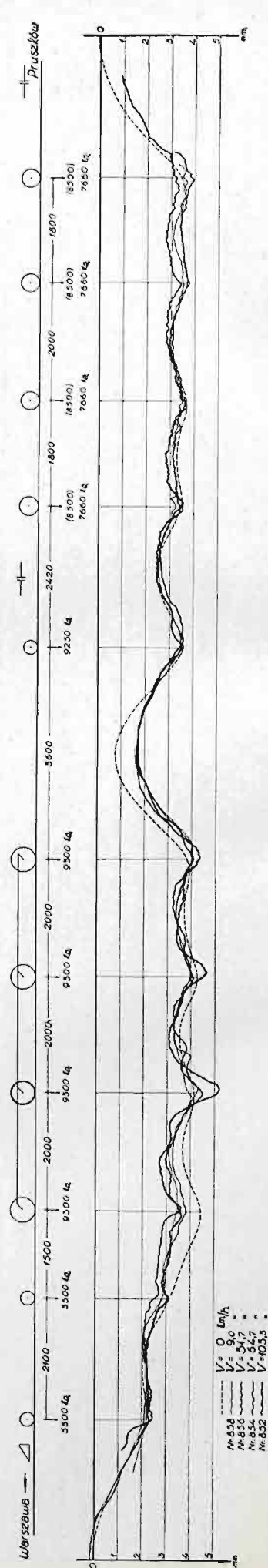
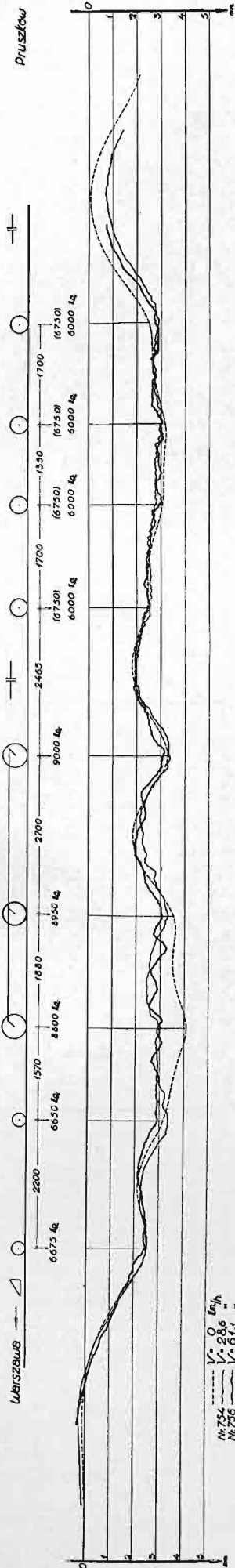


Fig. 35. Abaissement observé du rail S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparé à l'abaissement au repos d'après le calcul.

Travée 12-13.

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

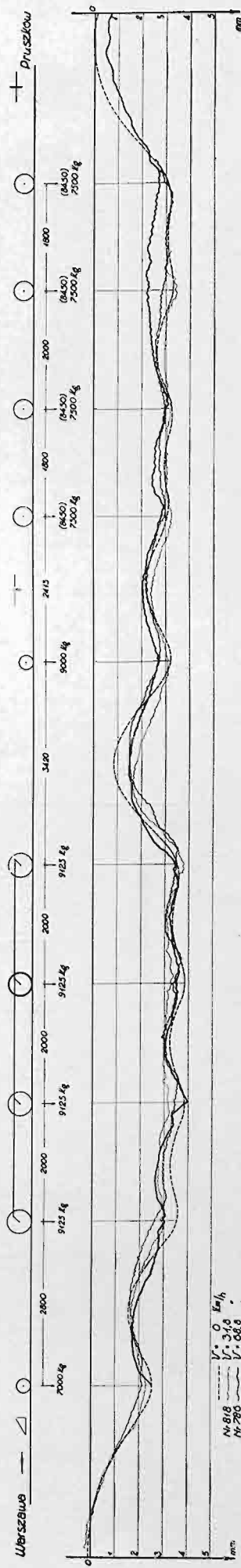
Année 1934.



Travée 12-13.

Locomotive 1-4-1, série Pt 31, avec tender 32-D-29.

Année 1934.



Travée 12-13.

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

Année 1934.

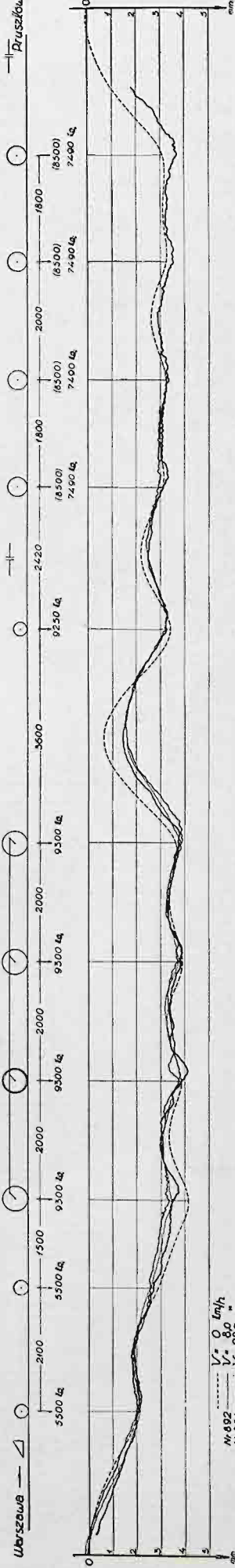


Fig. 36. Abaissement observé du rail S de 42,5 kg/m à différentes vitesses comparé à l'abaissement au repos d'après le calcul.

TABLEAU XXX a.

Abaissement observé du rail sous les roues des locomotives et des tenders en marche à toutes vitesses en pour-cents de l'abaissement au repos d'après le calcul.

[illegible]

TABLEAU XXXb.

Abaissement observé du rail sous les roues des locomotives et des tenders en marche à différentes vitesses en pour-cents de l'abaissement au repos d'après le calcul.

| Locomotive | Roues du tender | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------|------|------|-----------|---------|------|--------|-----------|---------|--------|-------|-----------|--------|
| | I | | | II | | | III | | | IV | | | |
| | mojenne | max. | min. | variation | mojenne | max. | min. | variation | mojenne | max. | min. | variation | |
| Ok 22 | +12,5 | +39 | — | 5 44 | +0,6 | +34 | —12 46 | +1,7 | +18 | —12 50 | +20,6 | +47 | + 4 45 |
| Pu 31 | + 1,3 | +13 | —16 | 29 | +2,9 | +16 | —15 31 | —1,8 | +13 | —32 45 | + 9,7 | +30 | —15 45 |
| Pu 29 | +10,9 | +29 | 0 | 29 | +13,6 | +29 | 0 29 | +7,1 | +34 | —11 45 | +16,6 | +34 | — 6 40 |
| mojenne | + 8,2 | +27 | — 7 | 34 | +5,7 | +26 | — 9 55 | +2,3 | +22 | —18 40 | +15,7 | +37 | — 6 45 |

| Locomotive | Vitesse de 28 à 34 km/h | | | Vitesse de 53 à 69 km/h | | | Vitesse de 71 à 90 km/h | | | Vitesse de 96 à 112 km/h | | | | | | |
|---|----------------------------|------|------|----------------------------|----------|------|----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|------|-----------|----------|------|------|-----------|
| | moienne | max. | min. | variation | moienne | max. | min. | variation | moienne | max. | min. | variation | moienne | max. | min. | variation |
| 1. Sous les roues motrices | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ok 22 | — 5,0 +24 | — 44 | 68 | — | 5,6 +52 | — 53 | 65 | — | 4,5 +17 | — 35 | 50 | — | 4,4 +51 | — 53 | 84 | |
| Pt 31 | — 4,0 +16 | — 19 | 55 | — | 0,5 +21 | — 18 | 59 | — | 1,5 +15 | — 20 | 55 | — | 6,0 +26 | — 22 | 48 | |
| Pu 29 | — 2,8 +11 | — 20 | 51 | — | 0,8 +25 | — 25 | 48 | — | 0,5 +16 | — 25 | 41 | — | 7,5 +26 | — 20 | 46 | |
| moienne | — 5,5 +17 | — 28 | 45 | — | 1,8 +25 | — 25 | 50 | — | 1,7 +16 | — 26 | 42 | — | 6,0 +54 | — 25 | 59 | |
| 2. Sous les roues porteuses des locomotives | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ok 22 | — 4,1 +22 | — 12 | 54 | — | 0,5 +11 | — 15 | 24 | — | 0,5 +15 | — 24 | 59 | — | 8,0 +20 | — 12 | 52 | |
| Pt 31 | — 6,3 — 2 | — 15 | 15 | — | 2,2 +26 | — 14 | 40 | — | 2,0 +12 | — 11 | 25 | — | 2,1 +21 | — 18 | 59 | |
| Pu 29 | — 6,5 +15 | — 22 | 55 | — | 1,9 +12 | — 20 | 32 | — | 15,0 — 10 | — 21 | 11 | — | 5,6 +46 | — 9 | 55 | |
| moienne | — 2,9 +11 | — 16 | 27 | — | 1,5 +16 | — 16 | 52 | — | 4,4 + 5 | — 19 | 24 | — | 5,8 +29 | — 15 | 42 | |
| 3. Sous les roues des tenders | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ok 22 | — 10,5 +57 | — 12 | 49 | — | 15,8 +37 | — 9 | 46 | — | 6,0 +59 | — 10 | 49 | — | 5,1 +47 | — 12 | 59 | |
| Pt 31 | — 5,5 +11 | — 1 | 12 | — | 4,9 +18 | — 8 | 26 | — | 10,0 +50 | — 1 | 29 | — | 1,1 +50 | — 52 | 62 | |
| Pu 29 | — 5,5 +12 | 0 | 12 | — | 11,9 +54 | 0 | 54 | — | 18,5 +54 | — 7 | 27 | — | 12,4 +29 | — 11 | 40 | |
| moienne | — 6,4 +20 | — 4 | 24 | — | 10,2 +50 | — 6 | 56 | — | 11,5 +54 | — 1 | 55 | — | 5,5 +56 | — 18 | 54 | |

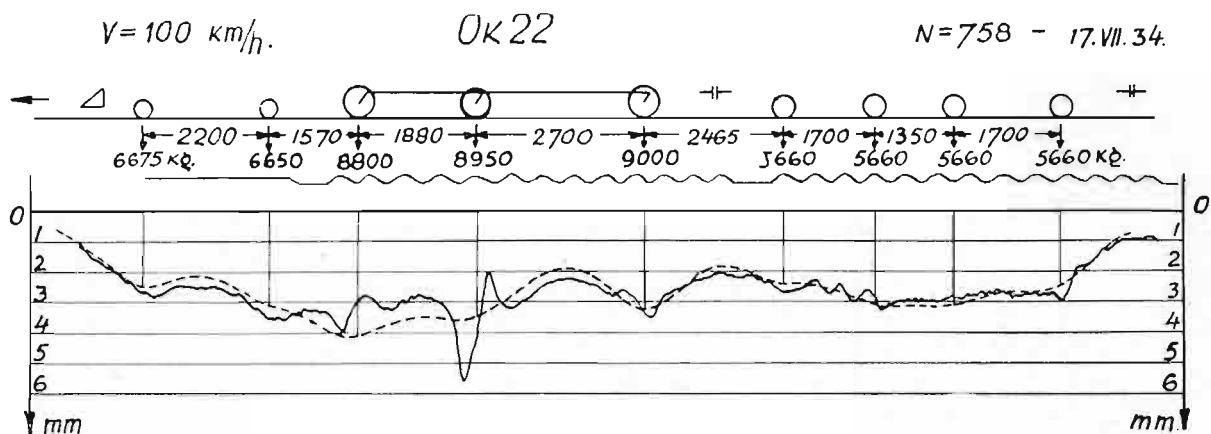


Fig. 37. Exemple d'un grand écart d'abaissement du rail sous la roue motrice de la locomotive Ok 22. (+ 51%).

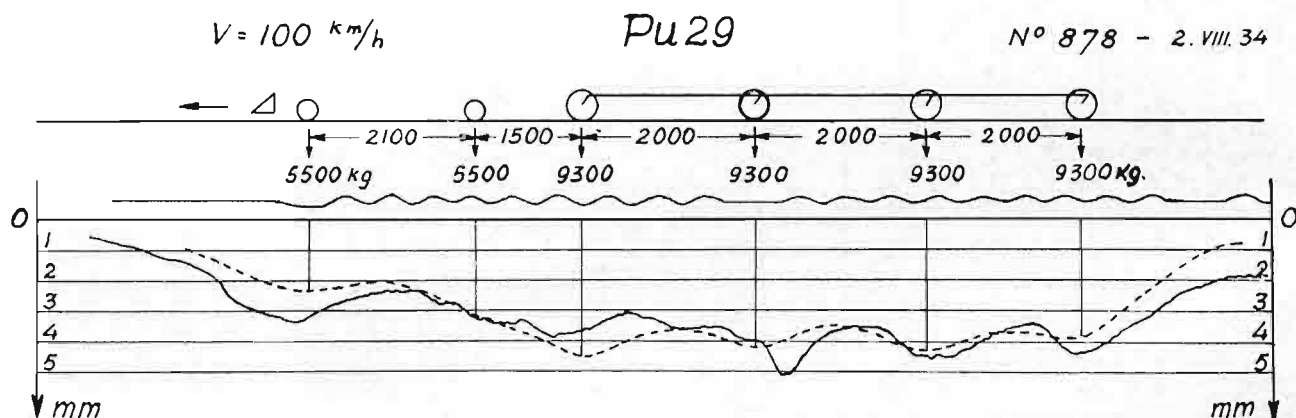


Fig. 38. Exemple de grands écarts d'abaissement du rail sous la première roue porteuse ainsi que sous la première roue accouplée et la roue d'attaque de la locomotive Pu 29. (+ 46%, - 17%, + 19%).

3. Influence de la construction des locomotives.

L'examen des tableaux XVI à XXX permet de constater que la vitesse du roulement des roues des locomotives et des tenders exerce dans les limites des observations une très petite influence sur l'abaissement du rail et que les roues prises séparément ont certaines propriétés quant à leur influence sur cet abaissement. Cet examen ne donne cependant pas une explication des causes produisant dans tel ou tel cas des différences très sensibles dans l'abaissement du rail.

Pour découvrir ces causes il est indispensable d'examiner les propriétés des locomotives en question dépendant de leur construction, notamment du fonctionnement de leurs moteurs, de la suspension de la chaudière ainsi que de l'équilibre des masses en mouvement de rotation et en mouvement rectiligne alternatif.

a. Pression de la vapeur sur les roues motrices.

Sur fig. 39 on a représenté les diagrammes de la pression de la vapeur d'après l'indicateur dans les cylindres de la locomotive Ok 22 aux admissions $\varepsilon = 0.2$ et $\varepsilon = 0.3$, ces admissions étant les limites entre lesquelles cette locomotive conduisait les trains d'épreuve. D'après ces diagrammes on a tracé des diagrammes de la composante verticale N_i de la pression de la vapeur réduite à l'axe de la roue motrice. Des diagrammes analogues se rapportant à la locomotive Pt 31 aux admissions $\varepsilon = 0.27$ et $\varepsilon = 0.38$ sont représentés sur fig. 40. Pour cette locomotive la composante N_i de la pression de la vapeur aux mêmes admissions, auxquelles cette pression fut calculée pour la locomotive Ok 22, peut être obtenue par interpolation.

b. Pression de la crosse du piston sur les glissières.

La pression de la vapeur, qui par suite de manque de longueur de la bielle motrice donne une composante verticale augmentant la pression de la roue sur le rail, produit en direction inverse une pression de la même grandeur de la crosse du piston sur les glissières. Cette pression décharge les roues d'avant de la locomotive au prix d'une surcharge des roues d'arrière, ainsi que des vibrations des ressorts, dont il convient d'examiner les suites.

c. Vibrations des ressorts.

Les ressorts plats pressant sur les roues motrices des locomotives examinées ont une longueur de $l = 1200$ mm et se composent de $n = 12$ feuilles d'une largeur $b = 120$ mm et d'une épaisseur $h = 15$ mm. La flexion d'un ressort chargé de chaque côté d'un poids P a une valeur

$$s = \frac{6P}{Enb} \cdot \left(\frac{l}{2h} \right)^3$$

par conséquent, le coefficient K de l'élasticité du ressort, égal à la charge aux deux de ses abouts produisant une flexion d'un centimètre, est:

$$K = \frac{Enb}{6} \cdot \left(\frac{2h}{l} \right)^3$$

Admettant la valeur du coefficient de l'élasticité de l'acier $E = 2200000$ kg/cm²:

$$K = \frac{2200000 \times 12 \times 12,0}{6} \times \left(\frac{2 \times 1,5}{120} \right)^3 = 538 \text{ kg/cm}$$

La charge statique du ressort sur la roue motrice est de

$$\frac{18000 - 4500}{2} = 6750 \text{ kg.}$$

donc la flexion statique du ressort:

$$s = \frac{6750}{538 \times 2} = 6,27 \text{ cm.}$$

et la période τ des vibrations libres du ressort:

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{s}{g}} = 6,283 \sqrt{\frac{6,27}{981}} = 0,502''$$

La pression verticale maximum de la crosse du piston sur les glissières, produisant sous l'action de la vapeur des vibrations forcées du ressort, a une période d'un demi-tour de roue. Les roues motrices de la locomotive Ok 22 ont un diamètre de 1,75 m, celles de la locomotive Pt 31 1,85 m. Par conséquent la période τ_1 d'un demi-tour de roue a respectivement une valeur de

$$\tau_1 = 0,875 \frac{\pi}{v} = \frac{2,749}{v} \quad \text{et} \quad \tau_1 = 0,925 \frac{\pi}{v} = \frac{2,906}{v} \quad (22)$$

v étant la vitesse de roulement de la roue en m/sec.

Le rapport de l'amplitude des vibrations forcées du ressort (envisagée comme écartement maximum de sa position d'équilibre) à sa flexion statique sous l'effort perturbateur aura la valeur¹⁾ de

$$\frac{1}{1 - \left(\frac{\tau}{\tau_1} \right)^2} \quad (23)$$

¹⁾ Timoshenko. Vibration Problems in Engineering, I, 3, (20).

Il s'ensuit des formules (22) et (23) que la vitesse critique, qui pourrait produire une résonance des vibrations du ressort, aura lieu en cas de $\tau_1 = \tau$ et sa valeur sera respectivement:

pour locomotive Ok 22

$$v = \frac{0.875}{0.502} \cdot \pi = 5.48 \text{ m/sec} = 19.7 \text{ km/h.}$$

et pour locomotive Pt 51

$$v = \frac{0.925}{0.502} \cdot \pi = 5.79 \text{ m/sec} = 20.8 \text{ km/h.}$$

Les vibrations sont étouffées par suite du frottement du ressort qu'on peut admettre comme constant et indépendant de la vitesse, par conséquent il ne changera pas la fréquence des vibrations et ne fera que pousser leur centre à une distance de $\delta = F/2K$ dans la direction de la résistance, F étant la force de frottement du ressort et K le coefficient de son élasticité. Quant à l'amplitude des vibrations, sa valeur diminuera de 2δ pendant chaque demi-période de vibration¹⁾.

Le coefficient f du frottement du ressort, réduit au point de son appui sur la boîte à huile, a une valeur

$$f = 2\varphi(n-1)\frac{h}{l}$$

φ étant le coefficient de frottement des lames d'acier du ressort dont la valeur à une petite vitesse peut être prise égale à 0.2, c'est-à-dire

$$f = 0.4(12-1)\frac{15}{1200} = 0.0477$$

Pendant une demi-période de vibration libre du ressort ayant une valeur de $0.251''$, l'amplitude de sa vibration sera réduite de 2δ :

$$2\delta = \frac{2F}{2K} = \frac{2 \times 0.0477 \times 6750}{2 \times 538} = 0.598 \text{ cm}$$

De plus, tenant compte du déplacement du centre de vibration du ressort de $\delta = 0.299 \text{ cm}$, on parvient à établir que pendant une période des vibrations libres du ressort $\tau = 0.502''$ le frottement diminuera l'amplitude de ses vibrations de

$$5\delta = 0.299 \times 5 = 1.495 \text{ cm}$$

ce qui fait $149.5:6.27 = 23.8\%$ de sa flexion statique.

Par conséquent, si la surcharge du ressort à une vitesse de 20 km/h ne dépassera pas 23.8%, le frottement étouffera le surplus de sa flexion statique qui en résulterait, avant que se répète la cause forçant l'accroissement de cette flexion.

Si la vitesse est moindre, la vibration qu'elle produirait sera encore plus vite étouffée, ce qui fait qu'une surcharge, même supérieure à 23.8%, ne produira pas de résonance.

Ces calculs attestent, que la construction des ressorts est pour les locomotives en question une garantie suffisante contre une résonance des vibrations résultant de l'action de leurs moteurs.

d. Variations de la charge des roues par suite des vibrations des ressorts.

Si la vitesse de marche des locomotives examinées n'atteint pas 20 km/h et si la période τ_1 de l'effort produisant les vibrations du ressort, égale au demi-tour de la roue, est plus petite que la période τ de ses vibrations libres, en ce cas, comme le démontre la

¹⁾ Ibid., I, 9, (40).

formule (23), le rapport de l'amplitude des vibrations forcées du ressort à sa flexions statique devient avec l'accroissement de la vitesse de plus en plus petit. Par conséquent, si la vitesse de la locomotive est très grande, le ressort fléchi demeurera dans sa position sans vibrer.

A une vitesse de 100 km/h \approx 28 km/h le rapport de l'amplitude des vibrations forcées du ressort, causées par la pression de la crosse du piston sur les glissières, à la flexion statique du ressort peut être calculé comme suit:

Période des vibrations libres du ressort $\tau = 0,502''$.

Période des vibrations forcées du ressort d'après la formule (22):

$$\text{pour locomotive Ok 22} \quad \tau_1 = \frac{2,749}{28} = 0,098''$$

$$\text{pour locomotive Pt 31} \quad \tau_1 = \frac{2,906}{28} = 0,104''$$

$$\text{donc en moyenne} \quad \tau_1 = 0,101''$$

Le rapport de l'amplitude des vibrations forcées du ressort à sa flexion sous la force qui produit ces vibrations est selon la formule (23):

$$\frac{1}{1 - \left(\frac{\tau}{\tau_1}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{0,502}{0,101}\right)^2} \approx - \frac{1}{24}$$

La composante verticale de la pression maximum de la vapeur, réduite à l'axe de la roue motrice, et la pression de la crosse du piston sur les glissières qui lui est égale, ont à l'admission $\varepsilon = 30\%$ la valeur:

$$\begin{array}{llll} \text{pour locomotive Ok 22} & 1,565 \text{ } t & \text{ou} & 17,5\% \\ \text{pour locomotive Pt 31} & 2,074 \text{ } t & \text{ou} & 22,7\% \end{array}$$

de la pression de ces roues sur le rail.

Il s'ensuit que dans ces conditions l'amplitude des vibrations forcées du ressort ne dépassera pas 0,7 à 0,9% de la pression statique de la roue sur le rail, c'est-à-dire que le ressort fléchi demeurera pratiquement immobilisé dans la position à laquelle il fut porté par la pression de la crosse du piston sur les glissières.

Cela se rapporte indifféremment à tous les ressorts, soit déchargés, soit surchargés sous l'action de la vapeur, autant que le travail du moteur restera invariable.

e. Le surplus de contrepoids.

Le calcul du surplus de contrepoids dans les locomotives Ok 22 et Pt 31 pour égaler l'inertie des masses en mouvement rectiligne alternatif fut exécuté d'après les données des ateliers de construction de ces locomotives.

Sur ces données on a calculé la composante verticale N_2 de la force de l'inertie de ces masses pour chaque roue motrice et accouplée d'après la formule:

$$N_2 = m r \omega^2 \sin \alpha$$

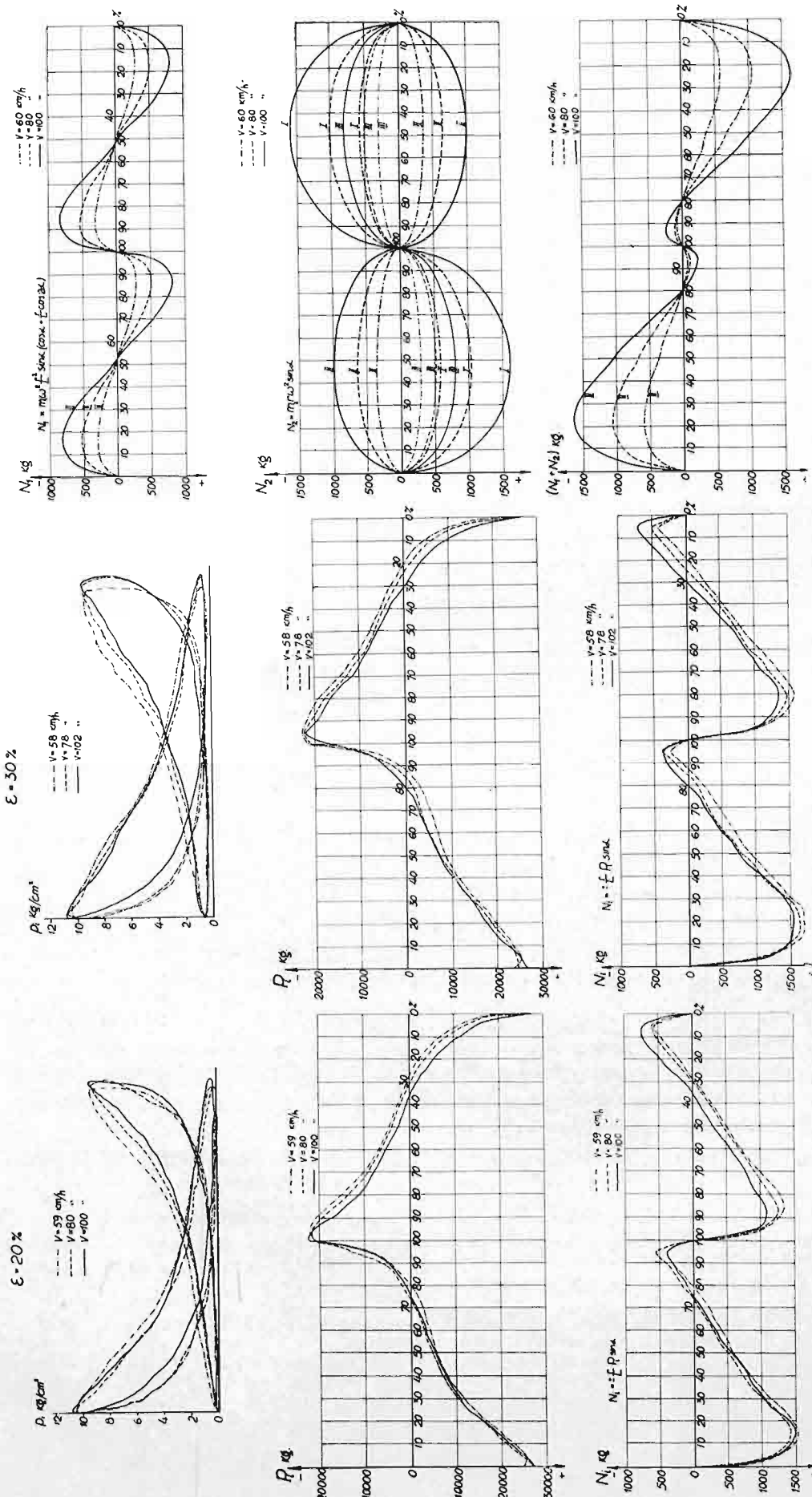
m étant la masse du surplus de contrepoids,

r le rayon de la manivelle,

ω la vitesse angulaire des masses,

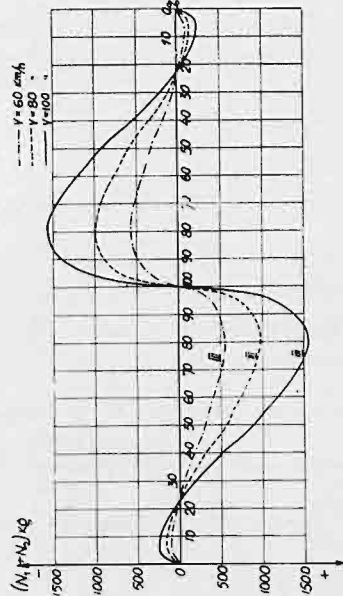
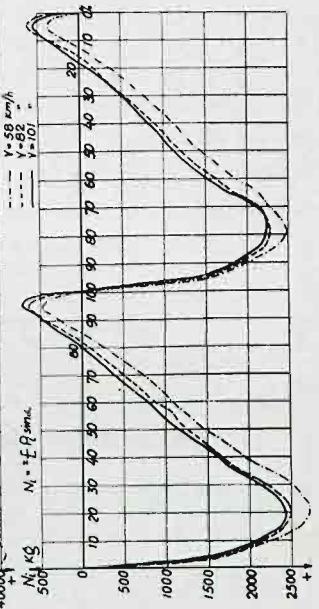
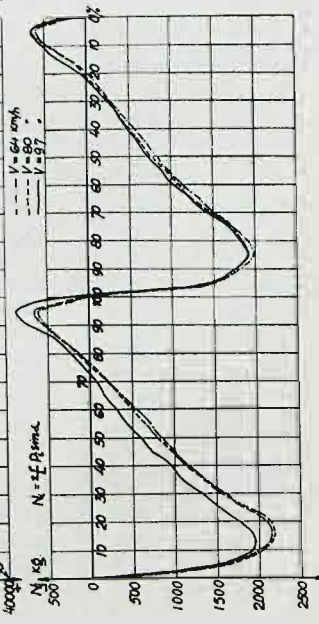
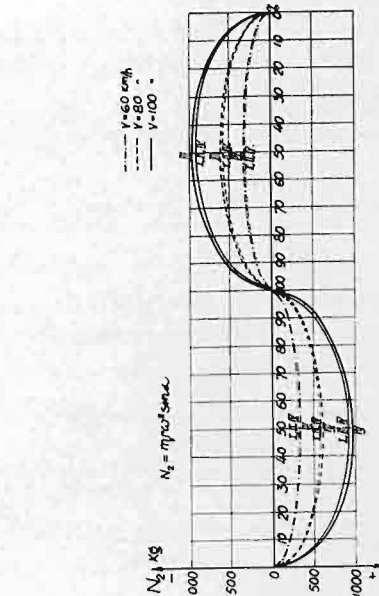
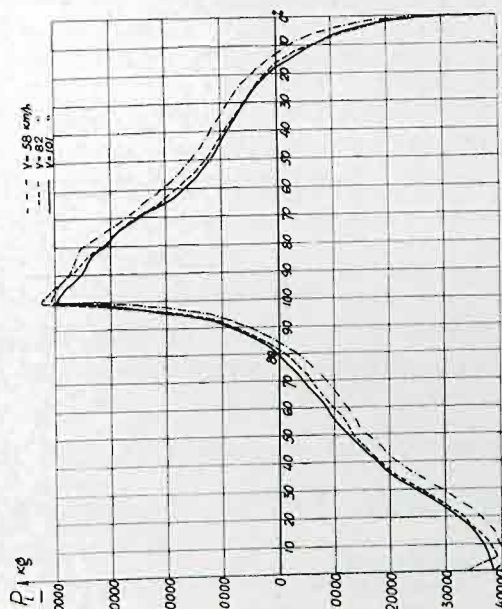
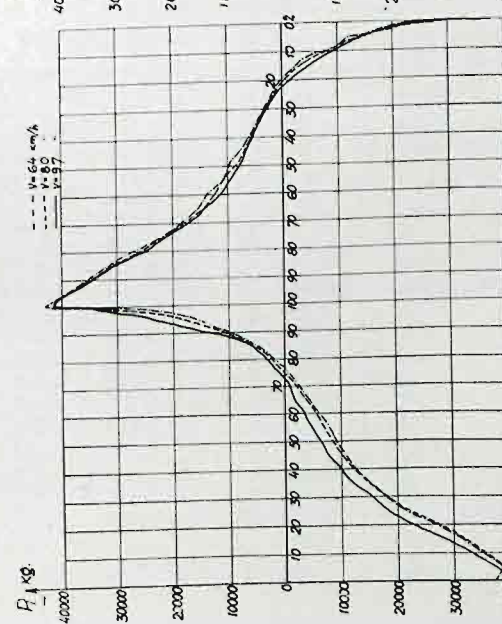
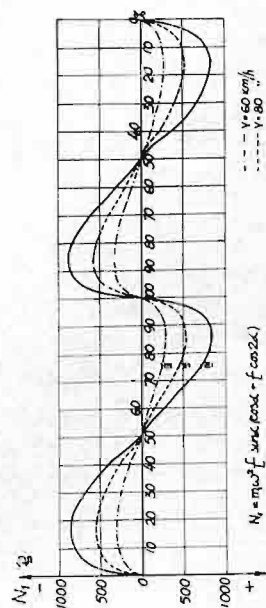
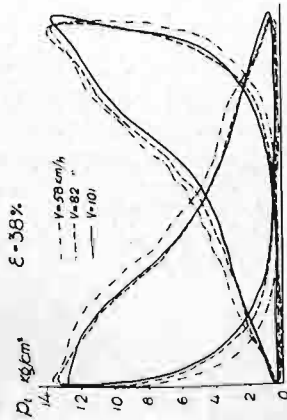
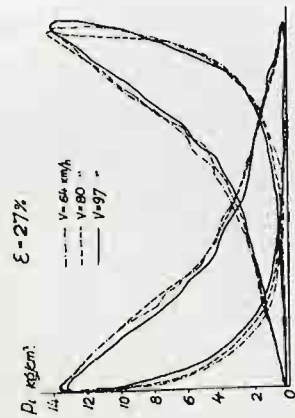
α l'angle de la manivelle avec l'horizon.

Les résultats de ces calculs, représentés en forme de diagrammes sur fig. 39 et 40, montrent que le surplus non balancé de contrepoids produit pendant un demi-tour de la roue sa surcharge et pendant le demi-tour suivant sa décharge. Le tableau XXXI donne les valeurs maxima de la surcharge et de la décharge de chaque roue à la vitesse de 100 km/h.



ε — admission
 P_i — pression de la vapeur en kg/cm^2
 P_i — effort de pression sur le piston en kg
 N_1 — composante verticale de l'effort de pression de la vapeur exercée sur la roue motrice
 r — rayon de manivelle motrice
 L — longueur de la bielle motrice
 α — angle de la manivelle avec l'horizon
 N_1 — composante verticale des efforts d'inertie des masses alternantes sur la roue motrice
 N_2 — composante verticale de la force centrifuge des masses des contrepois de l'équilibre horizontal
 L, II, III — n°s d'ordre des roues motrices
 m_1, m_2 — masses en mouvement rectiligne alternatif et masses des contrepois de l'équilibre horizontal
 ω — vitesse angulaire

Fig. 39. Influence du mécanisme de la locomotive Ok 22 sur la surcharge des roues motrices.



Légende sur figure 39.

Fig. 40. Influence du mécanisme de la locomotive Pt 31 sur la surcharge des roues motrices.

T A B L E A U XXXI.

Maxima des composantes verticales de l'inertie des masses alternantes et des masses des contrepoids de l'équilibre horizontal.

| Type de locomotive | Roue d'attaque | | Roues accouplées | | | |
|--------------------|----------------|----------------|------------------|----------|----------|----------|
| | N_2 kg | $N_1 + N_2$ kg | I | II | III | IV |
| | | | N_2 kg | N_2 kg | N_2 kg | N_2 kg |
| Ok 22 | ± 1000 | ± 1600 | ± 1600 | — | ± 800 | — |
| Pt 31 | ± 950 | ± 1550 | ± 900 | ± 900 | — | ± 900 |

T A B L E A U XXXII.

Influence de l'inertie des masses tournantes et des masses alternantes sur la surcharge des roues motrices des locomotives Ok 22 et Pt 31 à la vitesse de 100 km/h

| Type de locomotive | Roue d'attaque | | | | Roues accouplées | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|--------------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|--|--|
| | Composante verticale des forces d'inertie $N_1 + N_2$ | En pour-cents de la charge au repos. | Amplitude des oscillations par rapport à l'abaissement statique sous $N_1 + N_2$ | Augmentation de la pression de roue au repos | I | | | | II | | | | III | | | |
| | | | | | Composante verticale des forces d'inertie N_2 | En pour-cents de la charge au repos | Amplitude des oscillations par rapport à l'abaissement statique sous N_2 | Augmentation de la pression de roue au repos | Composante verticale des forces d'inertie N_2 | En pour-cents de la charge au repos | Amplitude des oscillations par rapport à l'abaissement statique sous N_2 | Augmentation de la pression de roue au repos | Composante verticale des forces d'inertie N_2 | En pour-cents de la charge au repos | Amplitude des oscillations par rapport à l'abaissement statique sous N_2 | Augmentation de la pression de roue au repos |
| Ok 22 | ±1600 | 17,9 | 1,07 | 19,2 | ±1600 | 18,2 | 1,06 | 19,3 | — | — | — | — | ± 800 | 8,9 | 1,06 | 9,4 |
| Pt 31 | ±1550 | 17,0 | 1,06 | 18,0 | ± 900 | 9,9 | 1,05 | 10,4 | ± 900 | 9,9 | 1,05 | 10,4 | — | — | — | — |

T A B L E A U XXXIII.

Abaissement du rail et des traverses par unité de pression de roue selon la position de la roue par rapport à la traverse.

Année 1933

| n° de la traverse | Abaissement de la traverse la roue étant située | | | Abaissement du rail la roue étant située | | |
|-------------------|---|---|----------|--|---|----------|
| | au droit de la traverse | entre la traverse observée et la traverse | | au droit de la traverse | entre la traverse observée et la traverse | |
| | | précédente | suivante | | précédente | suivante |
| 2 | 0,257 | 0,230 | 0,242 | 0,369 | 0,323 | 0,355 |
| 3 | 0,388 | 0,342 | 0,360 | 0,432 | 0,366 | 0,377 |
| 4 | 0,392 | 0,354 | 0,365 | 0,482 | 0,404 | 0,447 |
| 5 | 0,405 | 0,370 | 0,390 | 0,455 | 0,405 | 0,421 |
| 6 | 0,272 | 0,252 | 0,255 | 0,558 | 0,518 | 0,522 |
| 7 | 0,290 | 0,270 | 0,272 | 0,578 | 0,552 | 0,554 |
| 8 | 0,265 | 0,255 | 0,245 | 0,564 | 0,504 | 0,520 |
| 9 | 0,287 | 0,260 | 0,270 | 0,578 | 0,524 | 0,542 |
| 10 | 0,275 | 0,258 | 0,264 | 0,557 | 0,500 | 0,522 |
| 11 | 0,224 | 0,206 | 0,205 | 0,264 | 0,245 | 0,245 |
| 12 | 0,260 | 0,231 | 0,229 | 0,345 | 0,295 | 0,299 |
| 13 | 0,234 | 0,191 | 0,207 | 0,325 | 0,245 | 0,269 |
| 14 | 0,501 | 0,269 | 0,282 | 0,571 | 0,514 | 0,550 |
| 15 | 0,266 | 0,251 | 0,261 | 0,517 | 0,278 | 0,297 |
| 16 | 0,542 | 0,507 | 0,551 | 0,568 | 0,525 | 0,545 |
| 17 | 0,252 | 0,234 | 0,241 | 0,544 | 0,502 | 0,522 |
| 18 | 0,286 | 0,267 | 0,274 | 0,562 | 0,525 | 0,552 |
| 19 | 0,519 | 0,291 | 0,305 | 0,550 | 0,516 | 0,522 |
| 20 | 0,195 | 0,169 | 0,194 | 0,515 | 0,258 | 0,506 |
| 21 | 0,212 | 0,189 | 0,211 | 0,269 | 0,224 | 0,260 |
| moyenne | 0,286 | 0,258 | 0,269 | 0,559 | 0,510 | 0,529 |

Année 1934

| n° de la traverse | Abaissement de la traverse la roue étant située | | | Abaissement du rail la roue étant située | | |
|-------------------|---|---|----------|--|---|----------|
| | au droit de la traverse | entre la traverse observée et la traverse | | au droit de la traverse | entre la traverse observée et la traverse | |
| | | précédente | suivante | | précédente | suivante |
| — | — | — | — | — | — | — |
| 0,527 | 0,266 | 0,520 | 0,558 | 0,267 | 0,529 | 0,539 |
| 0,588 | 0,556 | 0,575 | 0,416 | 0,570 | 0,405 | 0,408 |
| 0,415 | 0,575 | 0,592 | 0,451 | 0,598 | 0,408 | 0,408 |
| 0,414 | 0,565 | 0,595 | 0,454 | 0,592 | 0,425 | 0,425 |
| 0,542 | 0,525 | 0,555 | 0,401 | 0,565 | 0,585 | 0,585 |
| 0,259 | 0,224 | 0,255 | 0,541 | 0,509 | 0,527 | 0,527 |
| 0,258 | 0,215 | 0,228 | 0,284 | 0,248 | 0,264 | 0,264 |
| 0,252 | 0,205 | 0,221 | 0,262 | 0,221 | 0,246 | 0,246 |
| 0,259 | 0,224 | 0,245 | 0,266 | 0,251 | 0,245 | 0,245 |
| 0,288 | 0,265 | 0,288 | 0,515 | 0,265 | 0,272 | 0,272 |
| 0,508 | 0,256 | 0,284 | 0,409 | 0,525 | 0,570 | 0,570 |
| 0,559 | 0,526 | 0,540 | 0,419 | 0,561 | 0,582 | 0,582 |
| 0,571 | 0,525 | 0,569 | 0,421 | 0,579 | 0,405 | 0,405 |
| 0,424 | 0,402 | 0,427 | 0,474 | 0,459 | 0,460 | 0,460 |
| 0,505 | 0,265 | 0,291 | 0,557 | 0,280 | 0,508 | 0,508 |
| 0,286 | 0,275 | 0,271 | 0,572 | 0,549 | 0,549 | 0,549 |
| 0,511 | 0,277 | 0,297 | 0,528 | 0,500 | 0,505 | 0,505 |
| 0,259 | 0,211 | 0,224 | 0,298 | 0,242 | 0,260 | 0,260 |
| — | — | — | — | — | — | — |
| 0,519 | 0,286 | 0,507 | 0,565 | 0,519 | 0,541 | 0,541 |

Les roues motrices de la locomotive Ok 22 ont un manque de contrepoids, par suite de quoi un accroissement de la pression de cette roue sous l'action de la force d'inertie des masses en mouvement de rotation correspond à un décroissement de la pression des autres roues sous l'action de l'inertie de leur masse en même mouvement.

f. Masses en mouvement rectiligne alternatif.

La composante verticale N_1 des masses en mouvement rectiligne alternatif, notamment des masses des manivelles, des bielles motrices et des bielles d'accouplement, est une autre cause variant périodiquement la pression des roues sous l'influence des forces d'inertie. La valeur de cette composante, représentée sur les diagrammes fig. 39 et 40, fut calculée d'après la formule

$$N_1 = m \omega^2 \frac{r^2}{L} \sin \alpha \left(\cos \alpha + \frac{r}{L} \cos 2 \alpha \right)$$

m étant la masse entière en mouvement rectiligne alternatif.

ω la vitesse angulaire des masses,

L la longueur de la bielle motrice,

r le rayon de la manivelle.

α l'angle de la manivelle avec l'horizon.

Les forces d'inertie dont nous parlons, agissent sur les roues motrices en périodes d'un demi-tour des roues. Cependant les valeurs maxima de ces forces et de la force d'inertie du surplus de contrepoids n'apparaissent pas en même temps, par suite de quoi le maximum de leur somme, de même que la force d'inertie des contrepoids, a une période d'un tour entier.

Cette somme atteint les valeurs suivantes:

$$\begin{array}{ll} \text{pour locomotive Ok 22:} & N_1 + N_2 = \pm 1600 \text{ kg,} \\ \text{pour locomotive Pt 31 :} & N_1 + N_2 = \pm 1550 \text{ kg.} \end{array}$$

g. Vibrations libres de la roue par suite des variations de sa pression.

Les variations de la pression de roue, causées par l'inertie du surplus de contrepoids et par l'inertie des masses en mouvement rectiligne alternatif, de même que celles causées par une usure inégale des bandages, doivent nécessairement occasionner des vibrations libres de la roue. Les charges de roue par suite de la pression qu'exercent les crosses des pistons sur les glissières, ont un caractère plus ou moins durable, par conséquent les vibrations de la roue qu'ils pourraient produire doivent être beaucoup plus rares et plus faibles.

L'action dynamique des forces d'inertie produit une augmentation de l'abaissement du rail par rapport à l'abaissement qu'elles auraient du produire à l'état statique. La valeur de cette augmentation dépendra du rapport de la période des vibrations libres de la roue τ à la période des vibrations forcées, égale dans le cas présent à la période τ_1 d'un tour de la roue. On obtiendra l'effet dynamique des forces d'inertie par rapport à leur effet statique d'après la formule:

$$\frac{y_d}{y} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\tau}{\tau_1} \right)^2} \quad (23)$$

La période τ des vibrations libres de la roue est:

$$\tau = 2 \pi \sqrt{\frac{y}{g}} = 2 \pi \sqrt{\frac{q}{kg}}$$

y étant l'abaissement statique du rail sous la charge q d'un demi-essieu et d'une roue,

$$k = 2 D \sqrt[4]{\frac{2}{5} \gamma} \quad \text{pression sur le rail produisant son abaissement de 1 cm,}$$

q poids d'un demi-essieu et d'une roue, faisant pour les roues d'attaque 1750 kg et pour les roues accouplées 1500 kg,

$$\gamma = \frac{6 EI}{a^3 D} = 4,5$$

$$k = 2 \times 10,9 \times \sqrt[4]{5} = 28,7 \text{ t/cm.}$$

D'après ces chiffres l'on obtient la valeur de τ pour roues d'attaque:

$$\tau = 2 \times 3,14 \sqrt{\frac{1,75}{28,7 \times 981}} = 6,28 \sqrt{0,0000622} = 0,0495''$$

et pour roues accouplées:

$$\tau = 2 \times 3,14 \sqrt{\frac{1,5}{28,7 \times 981}} = 6,28 \sqrt{0,0000535} = 0,0458''$$

La circonférence des roues motrices étant de $\pi \times 1,75 = 5,50$ m et $\pi \times 1,85 = 5,81$ m, on obtient à une vitesse de 28 m/sec = 100 km/h la période d'un tour de roue:

$\tau_1 = 0,196''$ respectivement $\tau_1 = 0,208''$, en moyenne $\tau_1 = 0,2''$, par conséquent le rapport $\tau : \tau_1 = 0,25$,

et l'effet dynamique des forces d'inertie par rapport à leur effet statique:

$$\frac{y_d}{y} = \frac{1}{1 - (0,25)^2} = 1,067$$

Cependant, d'après les diagrammes de l'abaissement observé du rail au passage à grande vitesse de la locomotive Ok 22 (fig. 33) les fortes vibrations du rail qu'on y remarque et qui proviennent indubitablement des vibrations libres de la roue, ont une période d'à peu près 0,02'' à 0,025'' c'est-à-dire au moins deux fois plus petite que celle que nous venons de calculer. C'est pourquoi il paraît convenable de réduire la valeur de l'effet dynamique des forces d'inertie par rapport à leur effet statique à

$$\frac{y_d}{y} = \frac{1}{1 - (0,125)^2} = 1,016$$

ce qui fait que l'augmentation dynamique des forces d'inertie ne devrait pas dépasser environ 2%.

Le tableau XXXII donne pour chaque roue des locomotives Ok 22 et Pt 31 les valeurs de l'abaissement dynamique du rail sous l'action des forces d'inertie par rapport à son abaissement sous charge statique. Les chiffres de ce tableau prouvent, que les forces dynamiques augmentent périodiquement l'abaissement du rail sous la charge des roues d'attaque des deux locomotives Ok 22 et Pt 31 à peu près de 20% et presque autant sous la charge de la première roue accouplée de la locomotive Ok 22. L'accroissement de l'abaissement du rail sous les autres roues accouplées de ces deux locomotives ne dépasse pas 10%.

h. Influence des dénivellations de la surface de roulement du rail et de l'usure locale des bandages sur la pression de roue.

Pour se rendre compte jusqu'à quel degré les différences de l'abaissement du rail observées au passage des roues ont pu avoir pour causes des dénivellations du rail et une usure locale de la surface de roulement des bandages, on s'est servi du calcul suivant.

Le surcroît d'abaissement y du rail causé par des enfoncements dans la surface de roulement du rail ou du bandage, dépend de la profondeur h de l'enfoncement et du

rapport entre la période τ des vibrations libres de la roue et la durée τ_1 du passage de la roue par l'enfoncement. Ce surcroît a la valeur¹⁾

$$y = \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{\tau_1}{\tau}\right)^2} \left(\cos \frac{2\pi t}{\tau_1} - \cos \frac{2\pi t}{\tau} \right) \quad (24)$$

t temps écoulé depuis l'entrée de la roue sur l'enfoncement.

Comme nous l'avons remarqué à l'article précédent, la période des vibrations libres de la roue fut trouvée d'après les observations (fig. 35) plus courte que d'après le calcul théorique (p. 84) et sa valeur fut d'environ 0,025". L'enfoncement permanent maximum du rail observé, indiqué sur son profil en long (fig. 3), a une longueur de $73 \times 9 = 657$ cm et une profondeur au droit de la traverse 13 de $h = 0,26$ cm. Une roue qui roule à raison de 100 km/h ou environ 28 m/sec passera cet enfoncement dans un temps

$$\tau_1 = \frac{657}{2800} = 0,235''$$

Le rapport $\frac{\tau_1}{\tau}$ étant égal à $0,235 : 0,025 = 9,4$, le surcroît d'enfoncement atteindra sa valeur maximum à peu près au moment

$$t = 0,5316 \tau_1 \approx 0,532 \tau_1$$

et alors

$$\begin{aligned} \max \max y &= \frac{0,15}{1 - (9,4)^2} (\cos 1,064\pi - \cos 10,00\pi) = \\ &= -0,001488 (\cos 191^\circ 31' - 1) \approx +0,00295 \text{ cm.} \end{aligned}$$

L'abaissement du rail sous la pression statique de la roue d'attaque de la locomotive Ok 22 (page 84) est de

$$\frac{8,95}{28,7} = 0,312 \text{ cm}$$

par conséquent, l'enfoncement de la surface de roulement du rail produira à une vitesse de 100 km/h un surcroît de la pression de la roue de

$$\frac{0,295}{0,312} = 0,95\%$$

c'est-à-dire d'une valeur négligeable.

L'influence qu'aura sur l'abaissement du rail une usure locale du bandage sera bien différente.

Selon le règlement concernant la révision et l'entretien des essieux et des roues aux chemins de fer de l'Etat polonais, la profondeur de l'usure locale des bandages des roues des locomotives en forme de méplats (à l'exception des locomotives de manoeuvre et des trains de réfection) ne doit pas dépasser 2 mm. La longueur minimum admise de l'usure locale n'y est pas indiquée. Supposant que cette usure disparaît sur une longueur pas moindre d'un quart de la circonférence des deux côtés de son milieu, le passage de cet enfoncement à une vitesse de 100 km/h d'une roue ayant un diamètre de 1,75 m durera

$$\tau_1 = \frac{1,75 \times 3,14}{28 \times 4} = 0,049''$$

¹⁾ Timoshenko. Stresses in Railroad Track. Proceedings of the 2-nd International Congress for Applied Mechanics. 1927 p. 7.

et son rapport à la période des vibrations libres de la roue est:

$$\frac{\tau_1}{\tau} = \frac{0.049}{0.025} \approx 2$$

Par conséquent, l'accroissement maximum de l'abaissement du rail arrivant au moment $t = 0,5 \tau_1$ aura une valeur

$$\max y = \frac{0.1}{1-2^2} (\cos \pi - \cos 2\pi) = \frac{-0.2}{-5} = 0.067 \text{ cm}$$

ce qui fait $\frac{6.7}{0.312} = 21.5\%$ de l'enfoncement sous charge statique de la roue.

Si l'usure locale du bandage, en conservant sa longueur, aurait une profondeur de 4,5 mm, le surcroît d'abaissement du rail atteindrait 48%.

Ces chiffres s'accordent assez bien avec les résultats des observations.

i. Amplitude maximum des vibrations des ressorts.

A titre d'intéressant complément des observations photographiques des déformations verticales du rail, on a mesuré la flexion maximum des ressorts des locomotives conduisant les trains sur le parcours de Skierniewice — Varsovie sur lequel se trouve le tronçon expérimenté de Włochy. Ce mesurage, entrepris dans le but de savoir jusqu'à quel point les différences de pression des roues motrices sont-elles accompagnées de changements de pression des ressorts, fut exécuté au moyen d'une plaque en plomb et d'un burin, attachés à la boîte à l'huile et à une de ses plaques de garde auprès de la roue motrice d'une locomotive Ok 22.

L'amplitude maximum des vibrations des ressorts d'après ce mesurage se montait à ± 16 mm. Vu que le coefficient d'élasticité des ressorts de cette locomotive a une valeur de $538 \times 2 = 1076 \text{ kg}$ (voir p. 77), l'amplitude mesurée de ses vibrations correspond aux oscillations de sa pression de $\pm 1,6 \times 1076 = \pm 1722 \text{ kg}$, ce qui fait $\pm 172200 : 8950 = \pm 19\frac{1}{4}\%$ de la pression statique de la roue motrice et correspond au surcroît de cette pression résultant de l'inertie des masses.

k. Vibrations libres du rail.

Au nombre des causes pouvant influencer sur le caractère et la valeur des déplacements verticaux du rail il convient d'examiner ses vibrations libres.

La période τ de ces vibrations peut être calculée d'après la formule

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{y}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{qa}{Dg}}$$

$\frac{D}{a}$ étant le poids du rail par mètre produisant son abaissement de 1 cm.

q le poids du rail en kg/m.

$$\tau = 6,28 \sqrt{\frac{0,425 \times 75}{10000 \times 981}} = 6,28 \times 10^{-4} \sqrt{316} = 0.0112''.$$

La fig. 42 représente des diagrammes photographiques de plusieurs tronçons de la ligne d'abaissement du rail agrandis jusqu'à 25 fois grandeur naturelle pour mieux voir les vibrations libres du rail.

On remarque que la période des vibrations libres du rail, de même que la période des vibrations libres de la roue (voir page 84), est d'après les observations de 2 à 2,5 fois plus petite qu'il ne résulte des calculs théoriques. Ce phénomène est difficile à expliquer, car

on pourrait supposer, au contraire, que la masse des supports des rails devrait prendre une certaine part dans les vibrations de la roue et du rail, ce qui aurait dû augmenter la période de leurs vibrations au lieu de la rendre plus petite. En attendant, il faut se contenter de constater que la valeur théorique de la période de vibration est dans les deux cas du même rang que celle qui fut observée.

En ce qui concerne l'amplitude des vibrations libres du rail, leur grandeur observée ne surpasse pas 1% de l'abaissement du rail sous charge statique, c'est pourquoi elles ne peuvent pas avoir d'influence prononcée sur l'abaissement du rail et sur la pression de la roue, sous laquelle elles apparaissent.

4. Retard des déformations verticales.

Outre l'abaissement du rail et de la traverse au moment où la roue se trouvait au droit de la traverse observée, on a mesuré sur les diagrammes photographiques aussi leur abaissement au moment où la roue se trouvait au milieu de la travée précédente et de la travée suivante du rail (tableau XXXIII). On est surpris de voir que l'abaissement des traverses ainsi que l'abaissement du rail au droit des traverses au moment où la roue se trouve au milieu de la travée qui suit la traverse observée, est plus grand qu'au moment où elle se trouve au milieu de la travée qui la précède.

Ce phénomène fut déjà observé lors des observations au chemin de fer de Varsovie-Vienne¹⁾, mais ne fut pas alors suffisamment éclairci. On a découvert sa cause maintenant en rapport avec les observations ayant pour but de noter avec précision le moment du passage de la roue par le point observé.

On a appliqué dans ce but un petit écran (fig. 41) qui couvrait sous la pression de la roue le point observé et occasionnait par suite une interruption dans le contour du diagramme. Comme on le voit en examinant les diagrammes fig. 42, l'abaissement du point observé atteint son maximum seulement après que la roue eut passé ce point. Ce retard de la déformation, bien connu sous le nom de histerèse dans d'autres cas de tensions, doit avoir pour suite une asymétrie du diagramme de l'abaissement du rail ainsi que de la traverse par rapport au point observé au moment du passage de la roue.

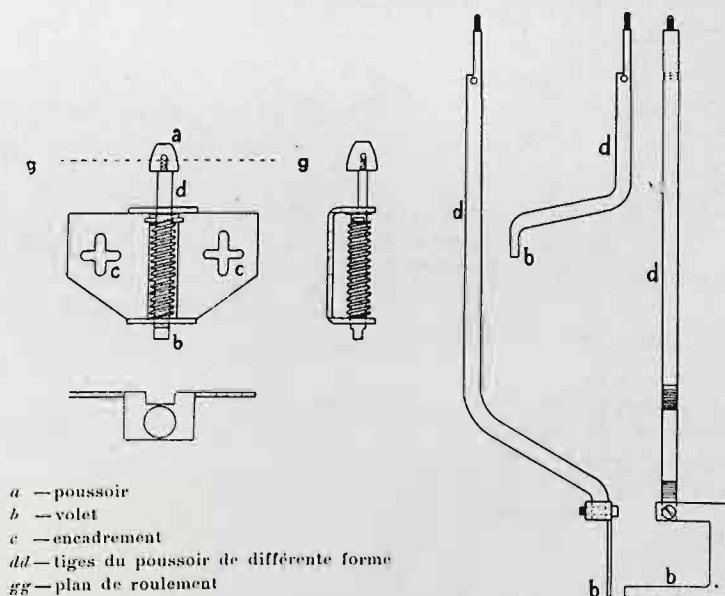


Fig. 41. Volet des marques pour indiquer le moment du passage de la roue.

Des mesurages sous un comparateur de la longueur de l'interruption du contour du diagramme pendant le passage de la roue ont donné des résultats différents quant à la longueur du chemin parcouru répondant à cette interruption, ce qui prouvait qu'il aurait fallu tenir compte d'un retard de l'écran à regagner sa position primitive. Pour corriger ce défaut probable, on a calculé le moment du passage de la roue par le point observé en comptant du commencement de l'interruption et en y ajoutant le temps nécessaire pour abaisser l'écran de 1,5 mm selon le diamètre de la roue. Comme résultat de 12 mesurages on a trouvé le retard de l'abaissement maximum sur le moment du pas-

¹⁾ Comptes rendus de la VI-e session du Congrès international des chemins de fer. Paris 1900 p. 2713.

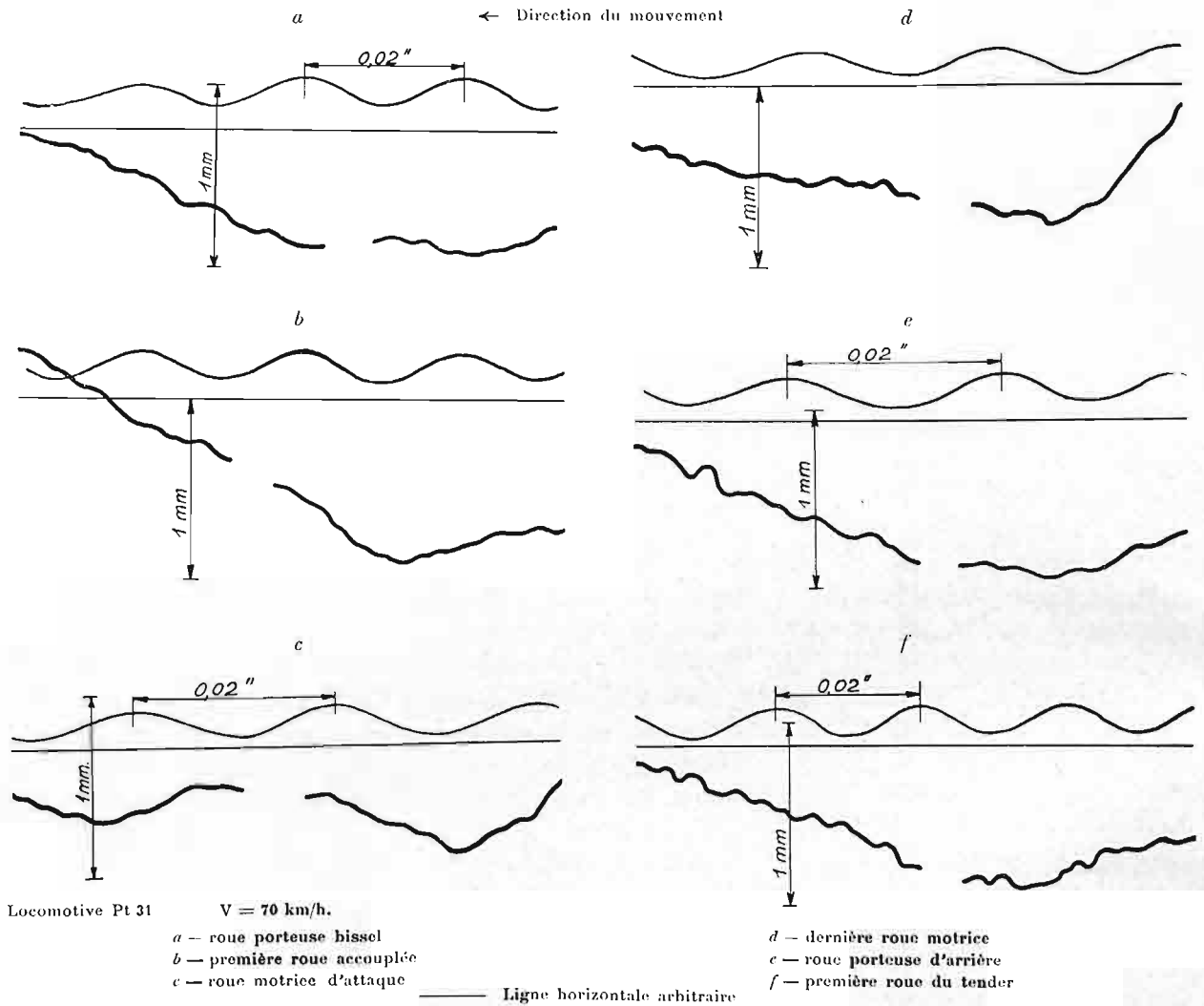


Fig. 42. Vibrations libres du rail. Position de la roue par rapport à l'abaissement maximum du rail.

sage de la roue de 0.004" à 0.014", en moyenne 0.008", ce qui correspondait à une distance du chemin parcouru de 86 mm.

On n'a pas trouvé de rapport entre le retard en question et la vitesse du train qui fut de 20 à 70 km/h.

C o n c l u s i o n s .

1. En comparant les déformations verticales du rail, observées sous la marche des trains, aux déformations calculées sous charge au repos pour en juger de l'effet dynamique des roues, le calcul des déformations sous charge au repos peut être fait en considérant le rail comme poutre sur assise élastique, vu que la différence de l'abaissement du rail dans ce cas et dans le cas de rail reposant sur appuis élastiques isolés ne dépasse pas $\frac{1}{2}\%$, indifféremment qu'il soit chargé d'un seul poids ou d'un système de poids.
2. L'abaissement observé du rail sous les roues motrices des locomotives, conduisant les trains à des vitesses jusqu'à 110 km/h en ligne droite et horizontale, diffère peu, en moyenne, de l'abaissement d'après le calcul sous charge au repos. Cependant à des vitesses de 80 à 110 km/h l'abaissement moyen est en général de 7% à 14% plus grand qu'à des vitesses inférieures.

3. A des vitesses de 80 à 110 km/h les abaissments observés du rail sous chaque roue motrice prise séparément déclinent des valeurs moyennes pour la plupart davantage qu'à des vitesses inférieures. Cependant dans certains groupes d'observations cet effet de la vitesse sur l'abaissement moyen du rail et sur ses écarts n'est pas à remarquer, ou même il est inverse.
 4. L'abaissement maximum du rail sous les roues motrices des locomotives diffère de l'abaissement sous charge au repos en général pas plus que de 28%. Un abaissement plus grand observé en deux cas, a été occasionné par des méplats anormaux d'un bandage.
 5. L'abaissement moyen du rail sous les roues porteuses des locomotives marchant à différentes vitesses, de même que sous les roues motrices, diffère peu de l'abaissement calculé sous charge au repos. Cependant l'influence de la vitesse sur l'abaissement moyen du rail, de même que sur ses écarts, est encore moins à remarquer que sous les roues motrices.
 6. Le rapport de l'abaissement maximum du rail sous les roues porteuses des locomotives à l'abaissement sous charge au repos est à peu près le même que sous les roues motrices. Cependant l'abaissement sous la première roue du bogie varie dans de plus larges limites que sous la deuxième roue.
 7. Sous les roues des tenders le rail se comporte quant à l'abaissement de la même manière que sous les roues porteuses des locomotives, mais les écarts de l'abaissement de sa valeur moyenne sont plus grands, allant jusqu'à 45 et 47%.
 8. L'analyse des causes des écarts de l'abaissement du rail de sa valeur moyenne démontre que ces causes dépendent des particularités de construction et d'entretien des locomotives, notamment:
 - a) de la pression des crosses du piston sur les glissières, produisant en moyenne une décharge continue de la première roue motrice, allant jusqu'à 23% de la charge au repos et, par suite, une surcharge de la roue motrice attaquée et des roues motrices d'arrière;
 - b) des variations périodiques de la pression des roues motrices sous l'action de l'inertie du surplus de contrepoids et des masses en mouvement alternatif;
 - c) des variations périodiques de la pression des roues porteuses et des roues motrices, produites par les méplats des bandages;
 - d) des oscillations libres des roues, étant la suite des variations de leur pression indiquées sous b) et c);
 - e) des oscillations des ressorts par suite des variations de la pression des roues et de l'abaissement du rail.
- Le calcul de l'influence de ces causes sur la pression du rail, basé sur les données constructives des locomotives expérimentées, conduisit à des résultats en bon accord avec l'observation de l'abaissement du rail qui en fut la suite.
9. Pour limiter la pression dynamique des roues, il est désirable:
 - a) que le poids de la locomotive soit réparti sur les essieux en tenant compte de la surcharge moyenne de l'essieu moteur attaqué et des essieux moteurs d'arrière;
 - b) que le surplus des contrepoids ne surpasse pas 10% et qu'il soit également réparti sur les essieux moteurs;
 - c) que les méplats des bandages soient limités non seulement quant à leur profondeur, mais aussi quant à leur longueur minimum, qui doit être d'autant plus grande que le méplat est plus profond.
 10. Comme suite des observations énumérées sous nos 2 à 6, dans les calculs des abaissments verticaux du rail sous les locomotives de grande vitesse mises à l'essai, en ligne droite horizontale, notamment sous les locomotives des types Ok 22 (Ten wheel, 2-3-0), Pt 31 (Mikado, 1-4-1) et Pu 29 (Mountain, 2-4-1), on doit tenir compte d'une augmentation de pression statique de roue: aux vitesses de 80 à 110 km/h d'à peu près 30%

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 rail¹⁾.

¹⁾ 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.