

ESSAI  
SUR LES  
REMORQUES MAXIMA  
DES  
TRAINS DE MARCHANDISES

PAR

**L.-E. CREPLET**

*Inspecteur principal au chemin de fer du Pienlo (Chine)  
Inspecteur technique à l'État-Belge.*

À la mémoire glorieuse de mes Col-  
lègues Maurice Hasyn, mort au Champ  
d'Honneur, et Léon Helbouille, martyr  
de la déportation.

---

BRUXELLES

GOEMAERE, IMPRIMEUR DU ROI, ÉDITEUR  
21, rue de la Limite

ESSAI  
SUR  
LES REMORQUES MAXIMA  
DES  
LOCOMOTIVES A MARCHANDISES

---

NOTE

de **M. CREPLET, L.-E.**

Inspecteur principal au chemin de fer du Pienlo (Chiue).

Inspecteur technique à l'État-Belge.

---

**TRAINS DE MARCHANDISES**

*Essai de détermination des remorques maxima (1) des locomotives en prenant pour exemples les locomotives du Pienlo (Compound, Mogul et Lunghai) sur les diverses sections de Kaifeng à Loyang, Chine septentrionale.*

**Définitions et Postulats.**

**EFFORT MAXIMUM A LA JANTE.** — Cet effort atteint, dans une locomotive satisfaisante à ce point de vue, aux vitesses faibles; toute son adhérence. Celle-ci est pratiquement indépen-

(1) « Remorques » pour « charges remorquées » : l'action pour la chose qui la subit. On voudra bien sans doute admettre, pour la concision des énoncés de cette étude, cette métonymie.

dante du profil; elle est dépendante de l'état du rail, maximum sur rail sec ou — à peu près — sur rail lavé par une averse, minimum sur rail humide ou gras; elle est indifférente à la vitesse (1). Exprimons sous forme algébrique cette relation :

$$E. \text{ Max. } J. \leq \text{ Adh.}$$

L'EFFORT MAXIMUM AU CROCHET est ce qui reste de l'effort maximum à la jante, après déduction des résistances propres, celle due à la rampe y comprise, le cas échéant, de la locomotive et du tender :

$$E. \text{ Max. } Cr. = E. \text{ Max. } J - \text{ Rés. (loc + tend.)}$$

La REMORQUE MAXIMUM en tonnes, sur une rampe donnée, est le quotient de l'Effort Maximum au Crochet, sur la rampe et la vitesse considérées, divisé par la Résistance Unitaire de la Remorque à cette vitesse :

$$\text{Rem. Max} = \frac{E. \text{ Max. } Cr.}{\text{Rés. Unit. Rem.}}$$

« En pratique et dans les circonstances ordinaires », lit-on dans l' « *Agenda Dunod* », p. 105, éd. 1908, « on compte en moyenne sur une adhérence de 1/7 ou 14 p. c »; le Cours des Chemins de fer de l'École spéciale des Travaux publics de Paris (*Etude et Infrastructure*, p. 23) prend, dans ses exemples, le même rapport. M. Doyen, dans sa méthode déjà citée conseille, d'après ses essais sur le réseau belge « de ne pas compter en pratique sur un coefficient d'adhérence de plus de 15 p. c. »

Certaines formules américaines attribuent à l'adhérence une valeur beaucoup plus élevée, jusqu'à 25 p. c. — ce qui donnerait 11,000 kilogrammes pour nos Compound — comme « ordinary maximum » et 20 p. c. — ce qui donnerait 8,800 kilogrammes pour ces mêmes locomotives « if the rail is slippery (glissant) or greasy (gras) ». (Merriman, éd. 1916, p. 206); or, les essais à l'aide du wagon-dynamomètre de l'État belge,

(1) Tel est du moins l'avis exprimé par M. Doyen dans sa « *Méthode d'essai de la locomotive en route* ». D'autres auteurs pensent au contraire que l'adhérence diminue avec la vitesse suivant des lois encore inconnues (« *Manuel du Mécanicien* », par Richard et Baclé, p. 106, et « *Agenda Dunod* », p. 105, éd. 1908) mais admettront néanmoins, croyons-nous, qu'elle est encore maximum à 45 ou 20 km./h., vitesses faibles qu'il suffit d'envisager pour des trains de marchandises chargés à leur limite et dans les rampes les plus ardues.

essais auxquels il nous a été donné d'assister, sur des locomotives à 57 tonnes de poids adhérent par exemple, n'ont pas fait constater en palier et même avec l'usage de la sablière, un effort au crochet supérieur à  $9 \frac{1}{2}$  t., ce qui suppose 11 ou  $11 \frac{1}{4}$  tonnes à la jante, soit à peine 20 p. c. du poids adhérent. Ed. Sauvage, dans sa « *Machine locomotive* », p. 109, admet le même rapport-limite de 20 p. c.

Notre indicateur des efforts au crochet, dynamomètre que nous avons taré personnellement et monté très simplement sur une voiture de service, nous a donné les plus grands efforts ci-après, tous constatés par temps sec :

Locomotive Compound, poids adhérent 43,960 tonnes ;

6,600 tonnes en rampe de 10 mm. à 15 km/h. immédiatement suivi d'un patinage ou affolement des roues motrices.

7,200 tonnes à un démarrage en palier et en courbe de 350 mètres de rayon, immédiatement suivi d'un patinage.

Locomotive Mogul, poids adhérent, 40,000 tonnes :

6,500 tonnes à un démarrage en palier et en alignement droit.

Locomotive Lunghai, poids adhérent, 44,400 tonnes :

4,650 tonnes en rampe de 10 mm. à 19 km./h.

Addition étant faite des résistances propres, y compris celle due à la rampe ou à la courbe pour les deux premiers chiffres, les quatre efforts au crochet supposent, à la jante :

De la Compound : 8.850 kg. ou 20,1 p. c. et 8.635 kg. ou 19,5 p. c.

De la Mogul : 7.650 kg. ou 19 p. c.

De la Lunghai : 6.590 kg. ou 14,9 p. c.

Le dernier rapport présente une infériorité qui témoigne de ce que, dans la locomotive Lunghai, qui est d'ailleurs une locomotive-tender à poids variable en eau et en charbon, le moteur ne peut utiliser toute l'adhérence maxima. L'effort maximum théorique à la jante de cette locomotive, calculé d'après l'ex-

pression connue  $0.65 p \times \frac{d^2 l}{b}$  est 7,400 kilogrammes. Même

en donnant brusquement tout l'effort dont elle est capable, — nous avons constaté en palier un effort instantané de démarrage au crochet de 6<sup>t</sup>,400 qui a d'ailleurs faibli <sup>6<sup>t</sup>,000</sup> de suite à 5<sup>t</sup>,500 — cette locomotive n'arrive pas à patiner sur rail sec. Cette constatation, que nous croyons constante en service, corrobore le rapport faible ci-dessus.

Les rapports 20,1 p. c. et 19,5 p. c. sont, peut-on dire, tout ce que nos Compound peuvent donner, puisque le patinage sur rail sec s'en est suivi. Le rapport 19 p. c. n'est peut-être pas tout ce que nos Mogul peuvent donner, puisque le patinage sur rail sec n'a pas été atteint cette fois-là.

Nos Compound, étant bien conduites et en des circonstances toutes favorables, peuvent remorquer dans nos rampes de 10 millimètres par mètre, à vitesse uniforme de l'ordre de 15 km./h., des charges de l'ordre de 480 tonnes; le train d'essai du 2 juillet 1918 pesait 500 tonnes.

L'économie de l'exploitation demande des remorques aussi élevées que possibles, c'est-à-dire très proches de la limite de puissance des locomotives; les passages ardu sont en somme des exceptions dans l'itinéraire des trains, ce qui tend à diminuer les risques incidentels de telles charges; au surplus, le rail est, au long de l'année, plus généralement sec en Chine que dans les pays plus froids et plus brumeux d'Europe. En fait, le coefficient d'adhérence de 15 p. c. supposé appliqué dans nos rampes de 10 millimètres par mètre ne permettrait que des remorques maxima de 340 tonnes, vraiment trop inférieures à ce que peuvent ces locomotives d'après l'expérience de tous les jours; 16,7 p. c. ou  $1/6$  ne permettrait dans le même exemple que 410 tonnes, qui seront trouvées encore, pensons-nous, insuffisantes; il faut finalement un coefficient tel que 17,5 p. c. pour permettre des charges de 430 tonnes que nous croyons acceptables, assez proches, d'une part, du maximum maximorum de 520 tonnes avec 20 p. c. d'adhérence pour être encore économiques et laissant d'autre part une marge encore rassurante pour les cas de quelque résistance anormale ou de nécessité de se remettre en marche après un arrêt dans la rampe, sur un signal. Le coefficient de 25 p. c. selon Merriman nous mènerait à 690 tonnes, c'est à-dire d'après l'expérience constante, à l'absurde.

Le coefficient de 17,5 p. c. est celui que nous avons finalement admis dans les calculs qui vont suivre, sauf en ce qui concerne la locomotive Lunghai pour la raison particulière que nous avons dite ci-avant. D'où les maxima suivants d'Efforts à la Jante; en palier :

Pour nos *Compound* :  $43.960 \text{ k.} \times 17,5 \text{ p. c.} = 7.700 \text{ kilo-grammes.}$

Pour nos *Moghul* : 40.000 k.  $\times$  17,5 p. c. = 7.000 kilogrammes.

Pour nos *Lunghai* : 6.600 kilogrammes, moindre que 44.300 k.  $\times$  17,5 p. c.

La résistance propre de la locomotive et du tender n'a pas encore reçu jusqu'à présent de formule décisive à notre connaissance. Ed. Sauvage lui attribue grosso-modo une résistance unitaire — par tonne de poids — double de celle de la remorque. Guédon dans son *Mécanicien des chemins de fer*, cite à quelques pages d'intervalle « 10 à 15 kilogrammes par tonne de poids des puissantes machines actuelles en y comprenant le tender » (il prend 12 kilogrammes dans un exemple de train de marchandises), puis, sans expliquer la divergence déroutante entre cette donnée et la suivante, reproduit un graphique de la Compagnie des Chemins de fer du Nord suivant lequel la résistance qui nous occupe varierait, à des vitesses de 0 à 40 k./h., entre 3,5 et 6,5 kilogrammes seulement par tonne. Nous avons été un moment tenté d'utiliser, parce qu'elle nous paraissait la dernière en date, une formule américaine d'après Merriman (éd. de 1916, p. 152) qui attribuerait à nos Compound, par exemple, 690 kilogrammes de résistance ~~par tonne~~ à 20 km./h.

Des deux résistances propres des locomotives, à régulateur ouvert et à régulateur fermé, la seconde est la plus aisée à déterminer, mais c'est la première qui, dans la question de remorques maxima, importe. M. Doyen, dans son essai déjà cité, rappelle que « les opinions sont très partagées au sujet » de ces deux résistances. Frank est d'avis que la résistance » est la plus grande à régulateur fermé — les pistons moteurs » fonctionnant alors en pompe à air — qu'à régulateur ouvert. » Sanzin s'arrête à la conclusion contraire. Le fait que les » ingénieurs qui ont le mieux étudié cette question ne sont » pas arrivés à se mettre d'accord sur le point de savoir » quelle est la plus grande de ces deux résistances prouve, » semble-t-il, que la différence entre les deux n'est pas » importante. »

Cette impression d'un spécialiste peut être acceptée, au moins provisoirement, pensons-nous, comme un fait établi ; nous ne disposons d'ailleurs pas d'un certain ergomètre qui mesure directement et continuellement le travail de la vapeur dans les cylindres et qui serait nécessaire pour déterminer, en

soustrayant le travail au crochet, la résistance de la locomotive à régulateur ouvert.

Pour déterminer la résistance de nos trois types de locomotives à régulateur fermé, résistance que nous admettrons donc pour le cas du régulateur ouvert, nous avons procédé à des essais directs, dont voici les résultats :

Compound, avec le tender plein d'eau et de charbon, poids 130<sup>t</sup>,800, à 13 k./h., 1.090 kilogrammes, moyenne de 36 lectures; nous admettrons à 20 k./h., 1.150 kilogrammes. <sup>1</sup>

Mogul, avec tender et wagon-réservoir pleins d'eau et de charbon, poids 95<sup>t</sup>,500, à 22 k./h., 1.190 kilogrammes, moyenne de 22 lectures; nous admettrons à 20 k./h., 1.150 kilogrammes. <sup>1.1</sup>

Lunghai, avec wagon-réservoir plein d'eau et de charbon, poids 86<sup>t</sup>,0 à 20 k./h., 1.100 kilogrammes, moyenne de 53 lectures. <sup>1.71</sup>

Nous voudrions, lorsque nous nous fions ainsi à quelques expériences personnelles, non assez nombreuses ni assez parfaites pour être décisives, pouvoir invoquer que leurs résultats constituent des moyennes entre les estimations d'auteurs que nous avons rappelées. Ils ne le sont pas précisément. Nos deux motifs de confiance sont que nous sommes sûrs du tarage du dynamomètre dont nous nous servons et que nos trois chiffres sont assez concordants entre eux. <sup>26</sup>

Sur la résistance propre de la remorque, rappelons les formules les plus connues; les deux premières visent les voitures à voyageurs; la troisième vise les wagons à marchandises et nous pensons qu'il en est de même de la quatrième.

1<sup>o</sup> Formule de Polonceau et Forquenot, de la Compagnie d'Orléans :

$$1,50 + \frac{V^2}{4.100}$$

2<sup>o</sup> Formule de Desdoutis, d'après le Cours spécial des Travaux Publics (Infrastructure, p. 21);

$$\begin{aligned} \text{à } 60 \text{ k./h.} & \dots \dots \dots 1,50 - 0,000.7V^2 \\ \text{à } 60 \text{ k./h.} & \dots \dots \dots 1,50 - 0,04V \end{aligned}$$

3<sup>o</sup> Formule de Vuillemain, Guébart et Dieudonné pour le matériel à marchandises graissé à l'huile, à la Compagnie de l'Est-Français;

$$1,65 + 0,5V$$

4° Formules de Finck, dans des conditions favorables ;

$$2,50 + 0,001V^2.$$

Pour  $V = 20$  k /h., ces formules attribuent à la remorque respectivement les résistances de  $1^k.78$ ,  $1^k.87$ ,  $2^k.65$ ,  $2^k.9$  par tonne. Vu la variété presque infinie des cas et des circonstances pratiques des trains de marchandises plus encore que des trains de voyageurs, on ne peut escompter, pensons-nous, que les deux premières formules soient toujours exactes à moins de  $0^k.10$  près et les deux dernières qui nous intéressent le plus, à moins de  $0^k.25$  près par tonne.

L'American Railway Engineer Association, dans son bulletin n° 20 de 1910 a proposé une autre formule où intervient le nombre de wagons et qui attribue ainsi une grande importance à la concentration ou à la dissémination de la charge (wagons chargés ou wagons vides). Son application ne laisse pas d'être assez compliquée du fait de la variable introduite dans le second membre : le nombre de wagons ; elle pourrait au besoin, cependant, servir de guide dans des tolérances à consentir aux mécaniciens qui remorquent de longs trains vides.

Par temps calme, nous avons relevé sur deux trains de marchandises, en palier et à vitesse uniforme, des résistances par tonne telles que 3,1 k. (15 juillet 1918, à 20 k./h.), 2,8 k., 3 k. et 3,5 k. (19 septembre 1918, à 30 k./h., 23 k./h., et 33 k./h. respectivement). Ces valeurs expérimentales de 3,10, 2,8, 3,00 et 3,05 k. sont bien du même ordre que celles que l'on déduirait des deux formules de l'Est-Français et de Finck. Nous avons voulu, en les recherchant, nous guider dans notre choix parmi les diverses formules d'auteurs ; nous pensons qu'elles nous fondent assez à prendre dans nos calculs, à la vitesse de 20 k./h., la moyenne entre les deux dernières, soit 2,8 k., donc 2,8 kilogrammes par tonne de remorque (1). Telle autre valeur un peu différente que l'on

(1) Rappelons le fait d'expérience suivant : un wagon vide à boggies, tare 17 tonnes, en exigeant trois quarts d'heure d'efforts de vingt coolies dont quatre armés de leviers en fer, pour avancer de 20 mètres en palier, témoignant d'une résistance propre peut-être décuple de 14 autres wagons identiques de la même rame (réfection d'une coupure, août 1916). Des vérifications systématiques des wagons dans les Dépôts de la Traction donneraient peut-être des résultats intéressants. Nous ne pensons pas qu'on puisse expliquer autrement que par

préférerait — 2,6 k. ou 3,0 k. par exemple — ne changerait d'ailleurs les remorques maxima que dans les rapports de 29 à 30 pour les paliers et de 74 à 75 pour les « rampes pratiques » de 12 millimètres par mètre, différences peu importantes.

A cette résistance propre de 2,8 kilogrammes, il faut ajouter, en cas de rampes, 1 kilogramme par millimètre d'inclinaison par mètre.

ÉQUIVALENCE DES COURBES EN MILLIMÈTRES DE RAMPE. — Tous les expérimentateurs dont nous avons rappelé les noms à propos de la résistance de la remorque ont proposé des formules pour la résistance supplémentaire due aux courbes (1) et exprimée en millimètres par mètre de rampe équivalente.

La plus simple est celle de Desdouts :

$$\frac{750}{R} \text{ pour la voie normale de } 1^{\text{m}}.50.$$

Cette résistance supplémentaire s'augmente sans doute, en ce qui concerne particulièrement les trains de marchandises, du fait des dévers calculés et établis uniformément pour une vitesse de 60 km./h. (il en est ainsi au Pienlo) alors que ces trains ne parcourent ces courbes, à la montée des rampes difficiles, qu'à 15 ou 20 km./h. par exemple. Le dévers est alors excessif dans les rapports considérables de 1 à 9 ou de 1 à 16 si l'on a admis une formule de dévers telle que

$$\frac{1,50 v^2}{g \times R}$$

une ou plusieurs résistances anormales de l'espèce le fait que, dans des circonstances exactement aussi favorables dans les deux cas et sur la même section, de deux locomotives Compound identiques, l'une vienne un jour à bout de 520 tonnes et l'autre tombe un autre jour en détresse au milieu de la même rampe avec 442 tonnes seulement, manomètre au maximum et adhérence utilisée jusqu'à sa limite.

(1) Les profils en long des lignes que l'on construit ou projette actuellement, telle le Lunghai-Ouest, sont étudiés avec des atténuations de rampe dans les courbes de rayons moindres que 1000 mètres, atténuations qui égalent précisément les équivalences en rampe de ces courbes. En pareil cas il suffira d'attribuer à toute la rampe, courbes incluses, l'inclinaison donnée à ses alignements droits.

où la vitesse, trois ou quatre fois moindre ici, intervient à la seconde puissance. Nous ne croyons pas que cette résistance augmente, de ce fait, de plus de moitié. A défaut de données personnelles précises et cette résistance n'ayant qu'une importance de second ou de troisième ordre dans nos calculs, nous appliquerons la formule ci-dessus de Desdouits sans autres complications.

Une courbe ou des courbes de rayons divers, le cas échéant, ne couvrent généralement pas tout le développement de la rampe; il faut alors prendre leur moyenne proportionnelle et répartir celle-ci sur tout le développement de la rampe.

ATTÉNUATION DE RAMPE DUE A L'INERTIE. — Une réduction progressive de la vitesse d'un train au long d'une rampe agit comme un supplément de puissance de la locomotive ou, aussi bien, comme une atténuation de la rampe. Ces ralentissements se produisent d'eux-mêmes quand l'effort à la jante de la locomotive est moindre que la somme des résistances instantanées du train entier.

L'atténuation de rampe qui en résulte se chiffre par la différence de ce que nous appellerons les « Puissances d'élévation verticale »,

$$\frac{1,06 v^2}{2g} \text{ ou } \frac{V^2}{241}$$

le *Velocity Head* des traités américains (Wellington, Railway Location, p. 333) des deux vitesses du train, vitesse initiale au pied de la rampe et vitesse finale au sommet de celle-ci.

Les expressions ci-dessus tiennent compte de l'énergie cinétique des roues comme masses tournantes.

Le tableau n° 1 ci-joint donne les « Élévations verticales » qui correspondent aux diverses vitesses, de 10 à 70 km./h.

Proportionnellement au travail à effectuer, cette atténuation est considérable ou même prédominante sur les rampes faibles et courtes; elle est au contraire presque nulle sur les rampes fortes et longues. Elle n'existe guère qu'en pleine voie, sur les rampes qui sont abordées à des vitesses relativement grandes (au moins 20 km./h. par exemple); elle n'existe pas — et peut même être négative, c'est-à-dire aggraver la rampe — sur les rampes situées à la sortie immédiate d'une gare et sur lesquelles les trains de marchandises n'ont pas de vitesse à perdre ou même ont à accélérer leur allure de départ. Elle est d'autant

plus grande, toutes autres circonstances égales, que la *vitesse initiale* est plus grande et la *vitesse finale* plus faible.

Nous prendrons 45 km./h. comme limite maximum de vitesse initiale et 15 km./h. (Merriman, éd. 1916, p. 232, *Momentum Grades*) comme limite minimum de vitesse finale.

ATTÉNUATION DES RAMPES DU FAIT DE LA LONGUEUR PROPRE DES TRAINS. — On envisage généralement le travail des locomotives sur les rampes comme si la masse entière du train, locomotive et remorque, était concentrée en un point sans longueur propre comme sur un seul essieu fictif et comme si les profils divers se suivaient à angles vifs, sans transitions comme sur les profils en long à petite échelle. Ces deux conceptions simplificatrices ne sont pas conformes à la réalité; les trains ont une longueur propre et les points de rencontre des divers profils sont adoucis par des courbes de raccord.

S'il n'en reste pas moins que la locomotive a à effectuer complètement un travail théorique déterminé — le poids du train multiplié par la différence des niveaux, les résistances propres en cours de route supposées un instant inexistantes — ces deux circonstances ménagent à la locomotive un chemin plus long et conséquemment un temps plus long pour effectuer complètement ce travail et cela se traduit par une réduction de la puissance requise.

La longueur propre d'un train, 330 mètres par exemple, locomotive y comprise, fait que, sur une rampe de deux kilomètres par exemple, la *pleine surcharge*  $E_r$ , due à la rampe ne se produira que sur

$$2,000 \text{ mètres} - 330 \text{ mètres} = 1,670 \text{ mètres.}$$

Sur  $2 \times 330$  mètres soit 660 mètres, existera une surcharge atténuée, de O à  $E_r$  sur 330 mètres au bas de la rampe, puis de  $E_r$  à O au sommet de la rampe si celle-ci se raccorde, au pied et au sommet, à deux paliers par exemple.

Au total, on peut dire que la longueur propre des trains adoucit les rampes comme si elle les étendait sans augmenter la différence des niveaux.

La longueur propre des trains de marchandises, du premier essieu de la locomotive au dernier essieu de la remorque, comparée aux longueurs diverses des rampes du Pienlo, n'est pas en réalité négligeable. Estimons-la, par exemple, à un mètre linéaire de train, locomotive non comprise, pour 2<sup>t</sup>.250 de

charge remorquée, d'où les longueurs comme 175 mètres, 310 mètres et 450 mètres pour des remorques de 400, 700 et 1.000 tonnes respectivement.

Les extensions de rampes que nous avons tenté de définir ci-dessus ne sont pas sans doute absolument égales à la longueur propre des trains parce que, notamment, un train n'est pas une masse homogène, la locomotive pesant 5 à 6 tonnes par mètre linéaire, c'est-à-dire 2 à 5 fois autant que la remorque chargée ou vide.

On peut admettre cependant, pensons-nous, des extensions telles que :

160 mètres	pour un train de	400 tonnes.
295 mètres	--	700 --
435 mètres	--	1000 --

En fait, les remorques peuvent mesurer un mètre pour 0,8 T. ou pour 3,9 T. de charge et leurs longueurs se traduire par des extensions de rampes plus ou moins grandes que ci-dessus. Nous croyons inutile d'envisager ces extrêmes, leurs effets étant assez compensés, pensons-nous, par la réduction de la résistance propre par tonne d'un véhicule vide à un véhicule chargé complètement.

**EFFET DES COURBES DE RACCORD DU PROFIL EN LONG.** — Nous venons de rappeler que les pentes, les paliers et les rampes ne se succèdent pas brusquement.

On les raccorde par des courbes, dans un plan vertical, de 10,000 mètres par exemple de rayon d'où des développements — tous calculs faits — de 100 mètres, 65 mètres et 35 mètres pour des rampes de 9, 6 et 3 millimètres par mètre respectivement et supposées raccordées à des paliers.

Ces courbes de raccord raccourcissent de deux fois leurs demi-longueurs la rampe à pleine inclinaison ; elles atténuent les rampes comme fait la longueur propre des trains envisagée ci-dessus ; mais les effets de celle-ci et de celles-là se superposent ou se confirment sans s'ajouter. C'est pourquoi nous conserverons les chiffres de 160, 295 et 435 ci-dessus sauf à les faire entrer dans le tableau suivant, où pour l'homogénéité de ce tableau, nous faisons les produits des millimètres de rampe par les extensions, uniformément égaux à un nombre arbitraire : 1.500.

Rampes.	Extensions admises.
3 millimètres par mètre. . .	500 mètres.
4 — . . .	375 —
5 — . . .	300 —
6 — . . .	250 —
7 — . . .	215 —
8 — . . .	190 —
9 — . . .	165 —
10 — . . .	150 —

RAMPES PRATIQUES. — Nous appelons ainsi, pour une rampe quelconque de la ligne, la somme algébrique de :

- 1) l'inclinaison inscrite sur le profil en long, différence des niveaux divisés par la longueur;
- 2) éventuellement, l'équivalence de la courbe — ou des courbes — incluse;
- 3) l'atténuation due à l'inertie;
- 4) l'atténuation due à la longueur propre des trains et aux courbes de raccord du profil en long.

RAMPE DÉTERMINANTE. — Nous appelons ainsi, pour une section quelconque d'une gare à une autre, la rampe de cette section qui est pratiquement la plus ardue pour les trains lourds de marchandises. C'est celle, parmi les rampes de cette section, dont la rampe pratique est la plus forte.

RAMPE PRATIQUE MINIMUM. — Toute section d'une gare à une autre — fût-elle en palier et droite d'un bout à l'autre — doit être considérée comme affectée dès le départ d'une rampe pratique de 3 millimètres par mètre. En effet, le démarrage et l'accélération pour atteindre la vitesse de 27 km./h., par exemple, sur un kilomètre qu'il parcourra en quatre minutes à peu près, nécessite le même effort supplémentaire sur cette distance que nécessiterait une rampe de 3 millimètres par mètre supposée parcourue sans changement de vitesse. Cela résulte du tableau n° 1 ci-joint, qui attribue à la vitesse de 27 km./h. une puissance d'élévation verticale de 3<sup>m</sup>,02.

Cette rampe fictive de démarrage ne bénéficie même pas de l'atténuation due à la longueur propre du train dont bénéficient les rampes réelles.

Ainsi, de Chengchow à Kaifeng, les gares et leurs sorties sont pratiquement en palier; en pleine voie, aucune rampe de

3 millimètres par mètre n'existe; les diverses sections de gare à gare de cette ligne sont donc affectées, sans plus et dans les deux sens de la marche, de la rampe pratique minimum de 3 millimètres par mètre.

EXTRA-RÉSISTANCE AU PREMIER DÉMARRAGE. — Merriman s'exprime comme suit à ce sujet : « Des véhicules qui sont » restés stationnaires la nuit, particulièrement par temps froid, » ... requièrent au premier démarrage un effort beaucoup » plus grand... Trente-cinq essais sur le réseau de Rock- » Island, avec des trains de 34 à 45 wagons, ont donné des » résistances qui varient de 5 kg,3 à 9 kg,1 par tonne, avec » une moyenne de 7 kg,5. Les mêmes essais ont donné » 15 kilogrammes par tonne quand un train avait stationné la » nuit et était gelé (frozen up), ainsi qu'une résistance de » 3 kilogramme seulement quand l'arrêt n'avait été qu'instan- » tané. D'autres essais ont montré une moyenne de 7 kilo- » grammes par tonne. »

Ces extra-résistances ne se produisent guère que dans les gares de formation, non dans les gares de passage. Faire pousser par une locomotive de manœuvre — il y en a toujours au moins une dans toute gare de formation — jusqu'à la sortie de celle-ci, nous paraît être une solution simple et suffisante.

PUISSANCE DES LOCOMOTIVES. — Jusqu'ici nous n'avons pas fait mention de ce facteur, par lequel on serait tenté de débiter dans une étude sur les charges maxima.

Il suffit de nous assurer si ce facteur est suffisant, dans chacun des trois types de locomotives considérées, pour entretenir au moins pendant les temps de la montée des rampes déterminantes les efforts maxima à la jante que nous avons admis.

Le Cours de l'École Spéciale des Travaux Publics de Paris (*Études et infrastructure*, p. 20) dit :

« La puissance en chevaux-vapeur s'obtient par la formule » suivante, établie à la suite d'une conférence entre les ingé- » nieurs en chef de la Traction des sept grands réseaux » français :

$$P_{HF} = K \times \sqrt{G \times C_r \times P.}$$

» K = coefficient variable de 18 à 22, dépendant du type de la locomotive (on peut admettre 20 en moyenne).

- » G = surface de la grille en mètres carrés.  
 » C<sub>r</sub> = surface de chauffe réduite (surface de chauffe du foyer + 1/3 de celle des tubes).  
 » P = pression marquée par le timbre de la chaudière.  
 » On multiplie par 75 pour avoir des kilogrammètres par  
 » seconde, on divise par la vitesse en mètres par seconde  
 » qu'on veut atteindre, on obtient ainsi l'effort de traction :

$$F = \frac{T \times 75}{V}.$$

Si nous appliquons ces formules en attribuant aux locomotives Compound, Mogul et Lunghai des facteurs K respectivement de 20, 18 et 18, il vient :

*Compound :*

$$P = 20 \times \sqrt{2,42 \text{ m}^2 \times 70,15 \text{ m}^2 \times 15 \text{ k.}} = 1.015 \text{ ch. v.}$$

A la vitesse de 20 km./h. ou 5,55 m. par sec.,

$$E. \text{ Max. J.} = \frac{1,015 \text{ ch. v.} \times 75 \text{ kgm.}}{5,55 \text{ m./sec.}} = 13.600 \text{ kg.} > 7.700 \text{ kg.}$$

*Mogul :*

$$P = 18 \times \sqrt{2,05 \text{ m}^2 \times 45,89 \text{ m}^2 \times 14 \text{ k.}} = 652 \text{ ch. v.}$$

A la même vitesse de 5,55 m. par sec.,

$$E. \text{ Max. J.} = \frac{652 \text{ ch. v.} \times 75 \text{ kgm.}}{5,55 \text{ m./sec.}} = 8.900 \text{ kg.} > 7.000 \text{ kg.}$$

*Lunghai :*

$$P = 18 \times \sqrt{2,00 \text{ m}^2 \times 48,93 \text{ m}^2 \times 14 \text{ k.}} = 667 \text{ ch. v.}$$

$$E. \text{ Max. J.} = \frac{667 \text{ ch. v.} \times 75 \text{ kgm.}}{5,55 \text{ m./sec.}} = 9.000 \text{ kg.} > 6.600 \text{ kg.}$$

Il résulte de ces calculs que, dans chacune des trois locomotives, sa puissance de vaporisation est capable d'entretenir indéfiniment des efforts plus grands à la jante que ceux que nous avons considérés. Nous n'avons donc à craindre de ce côté aucune insuffisance.

Nous trouvons dans Merriman (p. 155) — et à peu près de même dans Sauvage — ce qui suit :

« Aux températures très basses, le surcroît de frottement

» des fusées (combiné avec un abaissement de la puissance de  
» la locomotive) requiert un abaissement essentiel des charges  
» permises. Quelques exploitations ont une échelle de réduction  
» de ces charges d'après la température. L'accroissement  
» de la résistance à la traction du trafic d'hiver comparé au  
» trafic d'été est d'environ 2 livres par tonne (1 ‰), avec  
» 2 livres additionnelles pour les températures sous zéro. »

Le « Livret du Service des Trains » de l'État-Belge prévoit, pour l'hiver (du 15 novembre au 15 mars) des charges maximales plus faibles que pour le reste de l'année et son « Livret réglementaire » des mécaniciens stipule que « la charge des trains » de marchandises sera réduite chaque fois que le mécanicien » en fera la demande. Cet agent déterminera l'importance de » la réduction en tenant compte de l'état de la machine, de » la longueur exceptionnelle du train (la présence de nombreux wagons vides) de la nature spéciale des véhicules » (wagons neufs, wagons étrangers, wagons à frein), des conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard, vent), enfin, » de toutes circonstances pouvant, selon lui, influencer sur la » régularité de la marche du train. »

Cela nous conduit à l'examen de l'influence des saisons qui sont, en Chine, plus nettement démarquées qu'en Europe.

INFLUENCE DES SAISONS. — Il résulte d'une courte statistique des « Consommations de charbon par 100 tonnes-kilométriques » (tonnage des trains complets, la locomotive y comprise) au chemin de fer du Kihhan, que cette consommation varie avec les saisons à peu près comme suit :

<i>Été</i> (mai, juin, juillet, août, septembre) . . . . .	3 kilogrammes.
<i>Printemps et automne</i> (mars, avril, octobre, novembre) . . . . .	3 1/2 —
<i>Hiver</i> (décembre, janvier, février) . . . . .	4 —

La diminution avec les chaleurs et l'augmentation avec les grands froids ont des causes de deux ordres au moins :

1) la condensation moins grande ou plus grande de la vapeur dans la chaudière même, dans les tubes, le receiver et les cylindres ;

2) la résistance moins grande ou plus grande du train entier, mécanisme de la machine y compris.

La première cause n'influe pas forcément sur l'effort

maximum à la jante de la locomotive ni, par conséquent, sur les remorques maxima; la seconde, au contraire, influe. Dans la variation des consommations de charbon ou d'énergie, quelle part doit être attribuée à cette seconde cause? Cette part n'est sans doute pas la même dans les trains lourds et dans les trains légers, la locomotive ayant dans ceux-ci une importance relative plus grande que dans ceux-là.

Au Kinhan, on impose, de l'hiver à l'été, une augmentation des charges maxima uniforme de 60 tonnes sur les diverses sections et ce régime fonctionne d'une manière satisfaisante. A l'effet de nous rapprocher de cette donnée empirique, nous départagerons comme suit les deux causes précitées : nous leur attribuerons respectivement à peu près les  $\frac{3}{4}$  et  $\frac{1}{4}$  de la variation des consommations de charbon.

Ayant pris, dans nos calculs, des conditions moyennes, nous dirons que nos remorques maxima se rapportent au *printemps* et à l'*automne*, que pour l'*été* (cinq mois), il y a lieu de les *augmenter* de  $\frac{1}{28}$  et que, pour l'*hiver* (trois mois), il y a lieu de les *réduire* de  $\frac{1}{28}$ .

Ainsi, par exemple, les deux remorques extrêmes de 430 tonnes pour les rampes pratiques de 10 millimètres et de 1.080 tonnes pour les rampes pratiques de 3 millimètres, deviennent respectivement en hiver et en été 415 tonnes et 445 tonnes, 1.040 tonnes, et 1.120 tonnes, offrant deux à deux des écarts dont la moyenne est un peu différente du chiffre de 60 tonnes invoqué ci-dessus.

Nous pensons que ces remorques maxima ne doivent pas être imposées aux mécaniciens d'une manière absolument draconienne. Des causes réductrices de l'adhérence et des causes exagérantes des résistances peuvent exister dont les mécaniciens ne peuvent sans doute avoir à répondre. Nous avons vu une locomotive dont les joints fuyaient et humectaient les deux rails sous et devant les roues motrices; nous avons vu aussi — nous l'avons rappelé ci-avant — un wagon à bogies qui résistait d'une manière extraordinaire au roulement; seuls ou s'ajoutant dans un même train, de tels défauts peuvent épuiser et au-delà la marge de 2 ou 3 p. c. que présente le coefficient d'adhérence choisi dans les calculs et entraîner des retards ou des détresses dont les mécaniciens ne peuvent, semble-t-il, être rendus responsables *a priori*. Cela n'empêche évidemment pas — cela implique même — d'encourager les mécaniciens à

atteindre les remorques maxima et à les dépasser d'un peu s'ils ont senti que, jusqu'où ils en sont de leur itinéraire, leur locomotive et leur remorque ont « roulé » parfaitement.

### CONCLUSIONS.

Les définitions et postulats qui précèdent, appliqués à la ligne du Pienlo aboutissent à l'annexe n° 3 des « Rampes Pratiques Déterminantes » des diverses sections de gare à gare pour les deux sens de marche et des « Remorques Maxima Afférentes » pour chacun des trois types de locomotives.

Ces remorques, comparées aux charges réglementaires actuelles sont plus élevées dans les rapports de 16 1/2 p. c. pour les *Compound*, 31,7 p. c. pour les *Mogul* et 40 p. c. pour les *Lunghai*. Ces trois rapports donnent, pensons-nous, une approximation du bénéfice d'exploitation vers lequel tendraient les remorques Maxima que nous avons obtenues et qui seraient d'ailleurs plus favorables à la régularité de la marche des trains et de la sécurité.

Les efforts maxima au crochet que nous avons considérés supposent au tender son plein d'eau. Tel n'est pas le cas à la sortie de la gare de Kunghsien vers la gare de Szeshui; ceci constitue un allègement de 10 mètres cubes ou tonnes d'eau, par exemple, et permet, toutes autres circonstances étant égales, de forcer autant la remorque. Nous avons tenu compte de cette circonstance, au moins approximativement, dans notre annexe n° 3.

Touchant les vitesses de marche, nous nous sommes imposé, dans les « Rampes Déterminantes », endroits les plus ardues par définition, des vitesses moyennes non inférieures à 17 1/2 km./h. Ces vitesses permettront sans peine, pensons-nous, de réaliser des « Vitesses de marche » ou vitesses de gare à gare, déduction faite de 3 minutes de constante pour le démarrage et l'arrêt, de 20 à 25 km./h. ou un peu plus. Pour des vitesses de marche plus élevées, les « Remorques Maxima » sont à réduire par certains facteurs dépendants du type de la locomotive (plus précisément du rapport de la course de ses pistons au diamètre de ses roues motrices — Merriman, p. 206, édition de 1916) dépendants aussi de l'allure générale et de la longueur des sections. Ces facteurs seraient à déter-

miner, pensons-nous, en s'inspirant surtout de l'expérience.

Touchant la sécurité du trafic, les lenteurs au pas d'homme, aux points culminants et à fortiori les détresses dans les rampes déterminantes des sections impliquent des *risques de tamponnement à l'arrière* par un train qui suivrait à allure normale (il n'existe pas de signaux de bloc au Pienlo, l'« intervalle de temps » est la seule sécurité des trains marchant dans le même sens et les sections de gare à gare y atteignent 20 kilomètres) et le désir de regagner à la descente le temps perdu à la montée peut entraîner les mécaniciens à des *vitesse inquiétantes* dans les courbes de 350 à 400 mètres de rayon et sur certains ponts métalliques et à des *insuffisances*, dans ces pentes, de la distance de 1,000 mètres qui est réglementaire pour la couverture par signaux des points dangereux.

Ainsi, si la question des « Charges Maxima des trains de marchandises » ne semble pas tout d'abord concerner le Service de la Voie auquel nous appartenons, elle importe au point de vue de la sécurité du trafic, qui nous intéresse; le souci du premier des trois dangers que nous soulignons ci-dessus nous a conduit à prendre depuis avril 1917, des mesures de protection des trains lents par les équipes et gardiens de la voie, mesures qui, pour n'être que relatives, n'en ont pas moins été efficaces en six circonstances dans l'espace de quatorze mois à éviter le tamponnement de trains à allure trop lente dans les deux rampes déterminantes de la section de Szeshui à Kunghsien.

Ces mesures ne sont que relatives, disons-nous; elles seraient plus décisives si, en aucun point de la ligne et surtout de la région des tunnels dans laquelle, par endroits la visibilité est pratiquement nulle, la vitesse effective d'un train en marche ne tombait jamais en-dessous de 15 km./h.

Cette préoccupation première nous fera excuser sans doute d'avoir consacré quelques veilles à cet essai, où nous avons voulu, en outre, mettre à profit une notion (la puissance d'élévation verticale) trouvée dans un livre récent (Wellington) et qui, pour n'être pas neuve, n'en est pas moins présentée sous une forme qui facilite singulièrement son application.

Nous devons à M. Hespel, Inspecteur principal de la Traction au Kinhan, des données techniques sur la locomotive, à notre collègue M. Soete des formules tirées de livres et de

cours récents, à M. Vander Borcht, Inspecteur principal du Mouvement au Pienlo, des renseignements tirés du service des trains. Nous leur exprimons tous nos remerciements, ainsi qu'à l'Administration du Pienlo-Lunghai pour des facilités accordées en vue de nos expériences.

*P. S.* — En même temps qu'il nous a autorisé à publier cet essai, M. Bonnevey, Ingénieur en chef du Pienlo-Lunghai, a décidé l'application, dès octobre 1918, de nos conclusions touchant les sections les plus accidentées. Cette application a mis fin aux détresses qui, jusque-là, ne laissaient pas d'être fréquentes.

L.-E. C.

Chengchow (Honan), mai-septembre 1918.