

communes en Belgique, y passent assez facilement; mais avec les nouvelles machines dans lesquelles un des essieux est placé à l'arrière de la boîte à feu, il convient de donner à ces courbes 250 à 300 mètres de rayon au moins.

On évite avec un soin particulier les courbes de petit rayon sur les fortes rampes, où les chariots descendants marchent souvent animés d'une grande vitesse, et où les chariots montants éprouvent un surcroît de résistance.

Sur le chemin de Vienne à Trieste, toutefois, on s'est trouvé conduit par la configuration du terrain à réduire le rayon des courbes à 180 mètres, même sur des rampes très-fortes au passage des montagnes; mais on ne marche sur ces portions de chemin qu'à de très-petites vitesses; sur celui de Heilbronn à Friedrichshafen, le rayon des courbes n'est que de 227 mètres, les pentes étant de 22 millimètres.

Lorsque deux courbes tournées en sens contraire viennent à la suite l'une de l'autre, il convient de les séparer par un alignement qui ait la longueur d'un convoi au moins; le convoi ne peut pas de cette manière se trouver en partie dans une des courbes et en partie dans l'autre.

Limites de pente. — Sur toutes les grandes lignes récemment construites en France, on s'est attaché à réduire les pentes à 8 ou 10 millimètres, comme au chemin de Strasbourg, et encore n'a-t-on adopté des pentes aussi fortes qu'au passage des portions les plus accidentées sur une petite partie du parcours, tandis que partout ailleurs on s'est attaché à ne pas dépasser la limite de 5 millièmes. Sur le chemin de Lyon, la pente de 8 millimètres s'étend sur un parcours de 36 kilomètres; au chemin de Strasbourg, celle de 8 millimètres sur 20 kilomètres; sur celui d'Orléans, les rampes d'Étampes, inclinées également de 8 millimètres, ont 6,500 mètres de longueur. Au chemin de Londres à Bristol, on trouve une rampe d'environ 1 centimètre, de 5,000 mètres de longueur, et, au chemin de Liverpool à Manchester, des rampes de 11 à 12 millièmes sur un parcours de 2,400 mètres; enfin, sur les chemins de Londres à Brighton et de Londres à Douvres faisant partie de la grande ligne de Londres à Paris, les locomotives re-

montent une pente de 1 centième sur 5,000 mètres de longueur.

Sur les chemins de Versailles, construits à une époque où l'administration des ponts et chaussées attachait encore une importance extrême aux faibles pentes, il n'a pas été permis de dépasser 5 millièmes, si ce n'est sur une faible partie du parcours du chemin de la rive gauche à l'entrée de Versailles. Il est incontestable cependant que sur cette ligne, où les machines marchent rarement avec une charge complète, on aurait pu, sans inconvénient, tolérer des pentes de 8 à 10 millimètres, comme sur le chemin de Londres à Croydon, ce qui eût considérablement diminué la distance à parcourir et les frais de construction du chemin.

La limite de pente de 10 à 12 millimètres, adoptée sur les chemins français et anglais, quand on ne traverse pas de véritables montagnes, est aussi celle que l'on a cherché à ne pas dépasser en Allemagne, et même aux États-Unis.

Dans les régions montagneuses, là où il faudrait exécuter des travaux gigantesques pour descendre à des inclinaisons de 10 à 12 millimètres seulement, on admet aujourd'hui des pentes qui s'élèvent jusqu'à 35 millièmes et sur lesquelles pourtant on continue à remorquer les convois avec des machines locomotives.

M. Koller, ancien élève de l'École centrale, ingénieur en second au Chemin de fer central (Suisse), qui vient d'étudier l'exploitation du chemin de Turin à Gênes, où l'on trouve de fortes pentes, a bien voulu nous communiquer des données du plus grand intérêt sur la dépense. Il résulte de ces données :

1° Que sur la partie comprise entre Gênes et Pontedecimo, où la pente moyenne est de 5^{mm} 8, et la pente maxima de 11^{mm}, et les courbes de 400 à 500 mètres de rayon,

La dépense pour le transport des voyageurs est, par voiture de voyageurs à 1 kilomètre, de.	0 fr. 19
par tonne brute à 1 kilomètre, de.	0 029

2° Que, sur la même partie du chemin, la dépense pour le transport des marchandises est, par waggon, à 1 kilomètre, pour monter et descendre, de.	0 fr. 20
Par tonne brute, en montant, de.	0 038
Par tonne nette, en montant.	0 061

en admettant, pour les deux cas, le mouvement nul en descendant¹.

3° Que sur la portion du chemin de Pontedecimo à Busalla, la pente moyenne étant de 28^{mm},2
 La pente maxima de 35
 A ciel ouvert de 35
 En souterrain, de 28 7
 Et les courbes ayant généralement de 400 à 500 mètres de rayon, le transport des voyageurs a coûté, par waggon, à 1 kilomètre. 0 fr. 37
 Par tonne brute, d°. 0 057

4° Que, sur la même partie du chemin, le transport des marchandises a coûté, par waggon, à 1 kilomètre. 0 fr. 49

¹ La dépense, pour le transport des voyageurs et des marchandises à Gênes et Pontedecimo, se décompose de la manière suivante :

Le nombre de waggons de voyageurs transportés à 1 kilomètre étant de	57,450
Le nombre de tonnes brutes de	373,424
On trouve, pour les	

FRAIS DES CONVOIS DE VOYAGEURS

1° Pour surveillance et entretien de la voie.	2,645	fr. 60 c.
2° Pour traction. Le coke coûtant 0 fr. 63 cent. le kilog.	5,405	00
3° Pour réparations des machines, 4,500 kilom. à 0 fr. 33 cent.	1,505	00
4° Pour réparation des voitures, 57,450 kilom. à 0 fr. 016 par voiture et par kilomètre.	919	20
5° Pour gardes-convois.	550	00

10,724 fr. 80 c.

Une voiture de voyageurs transportée à 1 kilomètre revient donc à 10,724 f. 80 c.

57,450

= 0 fr. 19 cent., ou bien par tonne brute 0 fr. 029.

Le nombre de waggons transportés à 1 kilom. étant de	66,297
Le nombre de tonnes brutes de	348,048
Celui de tonnes nettes de	217,564
On trouve pour les	

FRAIS DES CONVOIS DE MARCHANDISES

1° Pour surveillance et entretien de la voie.	3,482	fr. 40 c.
2° Pour traction. Le coke coûtant 0 fr. 63 cent. le kilog.	6,719	80
3° Pour réparations des machines, 6,550 kilom., à 0 fr. 33 cent.	1,981	00
4° Pour réparation des waggons, 66,297 kilom. à 0 fr. 013 cent.	861	86
5° Pour deux gardes de marchandises.	200	00

13,245 fr. 06 c.

Une voiture de marchandises transportée à 1 kilomètre revient donc

à 13,245 f. 06 c. = 0 fr. 20 cent. pour monter et descendre.

66,297

La tonne brute revient à 0 fr. 038 par kilomètre en montant ;

la tonne nette 0 fr. 061 cent. en montant.

En admettant, pour les deux cas, le mouvement nul en descendant.

Par tonne brute.	0	092
Par tonne nette ¹	0	149

D'où il suit que :

5° Sur la partie où la pente atteint 5 1/2 centièmes, la dépense est, pour les trains de voyageurs, le double de ce qu'elle est sur d'autres portions de la ligne où le maximum de l'inclinaison n'est que de 1 centième, et, pour ceux de marchandises, égale à deux fois et demie cette dépense.

D'un autre côté, rappelons-nous qu'aux chemins de l'Est la dé-

¹ La dépense, pour le transport des voyageurs et des marchandises, se décompose de la manière suivante :

Le nombre des waggons transportés à un kilomètre de Pontedecimo à Busalla étant de.	20,895
Celui des tonnes brutes de.	135,806
On trouve pour les	

FRAIS DES CONVOIS DE VOYAGEURS

1° Surveillance et entretien de la voie.	1,448 fr. 10 c.
2° Traction.	4,212 01
3° Réparation des machines, 1,974 kilom. à 0 fr. 80 cent.	1,579 20
4° Réparation des voitures, 20,895 kilom. à 0 fr. 16 cent.	534 32
5° Gardes-convois.	200 00
	<hr/>
	7,775 fr. 63 c.

Une voiture de voyageurs transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{7,775 \text{ f. } 63 \text{ c.}}{20,895} = 0 \text{ fr. } 37 \text{ cent.}$, ou bien par tonne brute 0 fr. 057 c.

Le nombre des waggons de marchandise transportés à un kilomètre étant de	57,477
Le nombre de tonnes brutes.	301,749
Celui de tonnes nettes.	186,795
On trouve pour les	

FRAIS DES CONVOIS DE MARCHANDISES.

1° Surveillance et entretien de la voie	5,591 fr. 90
2° Traction	15,685 04
3° Réparation des machines, 7,530 kilom., à 0 fr. 80 cent.	5,880 00
4° Réparation des waggons, 57,477 (1), à 0 fr. 015 cent.	747 20
5° Gardes convois	200 00
	<hr/>
	27,902 fr. 14 c.

(1) 57,477 = 10,5 × 2 × 2,737.

Une voiture de marchandises transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{27,902 \text{ f. } 14 \text{ c.}}{57,477} = 0 \text{ fr. } 49 \text{ c.}$ pour monter et descendre.

La tonne brute revient à $\frac{27,902 \text{ fr. } 14 \text{ c.}}{10,5 \times 28,758} = 0 \text{ fr. } 092 \text{ m.}$ par kilom. en montant.

La tonne nette $\frac{27,902 \text{ f. } 14 \text{ c.}}{10,5 \times 17,790} = 0 \text{ fr. } 149 \text{ m.}$ par kilom. en montant.

Le mouvement des marchandises en descendant étant supposé nul.

pense moyenne pour les trains de toute espèce est, sur les pentes de 9 millimètres de l'embranchement de Reims (voir la note, page 104) de 75 pour 100 environ plus forte que sur les autres portions du chemin où le maximum de la pente ne dépasse pas 5 millièmes, et nous concluons que sur une pente de $3\frac{1}{2}$ centièmes, avec des courbes de 400 à 800 mètres de rayon, cette dépense serait de $3\frac{1}{2}$ à $4\frac{1}{2}$ fois aussi forte que sur une pente de 5 millièmes.

Le prix de 0,57 par waggon de voyageurs à 1 kilomètre ferait ressortir le prix du voyageur à un kilomètre, si le waggon renfermant 24 voyageurs était entièrement plein à 1^{e} ,5 environ, ou si le waggon ne portait moyennement que la moitié de sa charge à 5 centimes. Ce prix laisserait encore un bénéfice raisonnable en France, où le tarif moyen payé par les voyageurs est de 6 à 7 centimes par kilom.

Quant aux marchandises, il y en a beaucoup qui supporteraient difficilement un tarif qui devrait nécessairement dépasser 15 centimes par kilomètre, du moins sur un chemin où la pente de $3\frac{1}{2}$ centièmes dominerait.

Mais des pentes aussi fortes ne se rencontrant que sur une partie du parcours, le tarif ne se réglerait que sur une dépense moyenne inférieure, dépendant de leur longueur relative.

Les chiffres fournis par M. Koller expriment les résultats d'expériences faites avec le plus grand soin pendant un mois sur le chemin de Turin à Gênes; on a trouvé, en 1854, pour la moyenne de la dépense de toute l'année :

	En montant.	En montant et descendant.	En moyenne, de Turin à Gênes.
Par voyageur à 1 kilomètre.	0 fr. 085 c.	0 fr. 045 c.	0 fr. 027 c.
Par tonne de bagages et messagerie	0 » 271	0 » 181	0 » 155
Tonne de marchandises à petite vitesse	0 » 145	0 » 109	0 » 145
Équipages	0 » 802	0 » 498	0 » 241
Pièce de bétail, grande vitesse.	0 » 264	0 » 066	0 » 055
Id. petite vitesse	0 » »	0 » 020	0 » 018

Sur le chemin de Vienne à Trieste, au Sommering, bien que la pente soit moins forte qu'au chemin de Turin à Gênes, puisqu'elle ne dépasse pas $2\frac{1}{2}$ centièmes, le rayon des courbes descendant à

180 mètres, la dépense est, proportion gardée, plus élevée que sur le chemin piémontais.

Sur le chemin saxo-bavarois, on estime que la dépense sur les pentes de 2 1/2 centièmes est égale à peu près à deux fois et demie celle sur les pentes de 1 centième. (Voir plus loin la description du tracé de ce chemin.)

Sur le chemin de Rohrschach à Saint-Gall, la pente moyenne étant de 17 millimètres 70 millièmes, la pente maxima de 20 millimètres, le rayon moyen des courbes de 390 mètres, et le rayon minimum de 240 mètres, la dépense est, d'après M. Koller, deux fois et demie aussi forte que sur le chemin de Vintherthur à Saint-Gall, où la pente ne dépasse pas 6 1/2 millimètres et où les courbes sont d'assez grand rayon.

Ce n'est qu'en admettant des pentes de 20 à 35 millièmes qu'on a pu traverser les Alpes noriques et juliennes entre Vienne et Trieste, les Alpes rudes entre Heilbronn et Friedrichshafen, le Fichtelgebirge entre Newmarkt et Marckschorgast, et les Alpes génoises entre Turin et Gènes. C'est ainsi que l'on traversera le Jura entre Pontarlier et Lausanne, Pontarlier et Neufchâtel, le Luckmanier entre Coire et Bellinzone.

Les pentes dépassant 20 millimètres ne se trouvent pas en Europe uniquement sur les chemins allemands, suisses ou italiens. En Angleterre même, on rencontre sur le chemin de Birmingham à Gloucester une rampe de 27 millimètres, longue de 3,440 mètres; sur celui d'Édimbourg à Glasgow, une rampe de 24 millimètres sur 2,400 mètres de longueur, et une rampe de 20 millimètres sur celui de Manchester à Leeds. Sur les chemins aboutissant au port d'Hartlepool, on remonte des pentes plus fortes encore; mais ces chemins sont plutôt consacrés au transport du charbon qui descend vers ce port qu'à celui des voyageurs.

La question des pentes fortes sur les chemins de fer et de l'emploi des locomotives pour les remonter a été traitée d'une manière tout à fait supérieure par M. Couche, ingénieur en chef des mines, dans un article des *Annales des mines* intitulé : *Influence du progrès des locomotives sur le tracé des chemins de fer*¹.

¹ *Annales des mines*, 2^e livraison de 1852.

Nous engageons ceux de nos lecteurs qui voudraient l'approfondir à consulter ce mémoire.

Bien des personnes pensent que l'on pourrait dépasser même les pentes que nous venons d'indiquer en gravissant ces fortes rampes à l'aide de machines fixes. C'est ainsi que l'on a établi un grand plan incliné aux abords de la ville de Liège et qu'on l'a desservi à l'aide de machines fixes. Mais l'emploi des plans inclinés à machines fixes sur les chemins de fer a l'inconvénient d'occasionner une grande gêne dans le service de l'exploitation ainsi que de grands retards, et il n'a pas même l'avantage qu'on serait tenté de lui supposer de réduire notablement les frais de construction. En effet, le tracé sur ces sortes de plans inclinés n'admettant pas de grandes sinuosités et des pentes variées, on se trouve conduit, pour le plier à ces conditions, à exécuter des travaux d'art et de terrassement souvent considérables. C'est ainsi que sur le plan incliné de Liège, long de 4,000 mètres, le cube des terrassements s'est élevé à 560,000 mètres cubes.

Les transports s'effectuent aussi avec économie sur une pente de 5 à 6 millièmes. Sur le chemin de Rive-de-Gier à Givors (partie du chemin de Saint-Étienne à Lyon), les chariots descendent par l'effet seul de la gravité et remontent à l'aide de machines ou de chevaux.

Si par nécessité toutefois ou par raison d'économie, sur de petites lignes de second ordre, on fait usage de plans inclinés, on peut sans inconvénient leur donner, pour le transport des marchandises, l'inclinaison naturelle du sol, quelque forte qu'elle soit; mais on ne saurait transporter sans danger des voyageurs sur des pentes qui dépassent celles des plans inclinés du chemin de Roanne à Saint-Étienne, et dont la limite est de 5 centièmes.

L'autorité, en Angleterre, a défendu tout transport régulier de voyageurs sur le chemin de Cromfort à Peakforest dans le Derbyshire, parce que la pente s'y élevait en plusieurs points jusqu'à 11 centièmes.

Le chemin doit, autant que possible, entrer dans les stations extrêmes en rampes de 2 ou 3 millièmes. Ces rampes ont un double but, celui de ralentir les convois à l'arrivée et celui d'en faciliter le départ.

Dans les stations intermédiaires, où les trains partent tantôt dans une direction, tantôt dans l'autre, et où l'on est obligé quelquefois de faire pousser les waggons sur les voies de garage par des hommes dans tous les sens, le rail doit être de niveau.

Il faut aussi établir le chemin de niveau à l'emplacement des changements de voie ou dans toute autre partie où la résistance se trouve déjà augmentée par d'autres causes que la pente.

Nous avons dit que la théorie des machines locomotives était encore trop incomplète et le mode de construction de ces machines encore trop variable pour qu'on pût déterminer, par des calculs certains, des rapports mathématiques entre les dimensions de ces moteurs et le tracé d'un chemin de fer. Nous indiquerons néanmoins, au chapitre des locomotives, quelle est la marche que l'on doit suivre si on veut se contenter d'approximations. On prend alors pour types certains modèles de machines en usage et pour base du calcul certains résultats d'expérience.

ÉTENDUE DES GARES ET DIMENSIONS DE LA VOIE.

Étendue des gares. — Nous avons montré que le choix de l'emplacement d'une gare n'était pas toujours sans influence sur le tracé. L'étude des gares, du moins en ce qui concerne leur emplacement et leur étendue, doit donc avoir lieu en même temps que celle du tracé de la ligne proprement dite.

Il nous reste à présenter quelques considérations à ce sujet.

Déjà nous avons signalé les inconvénients et les avantages des gares communes ; nous avons essayé de faire comprendre que les gares extrêmes doivent être établies à une plus ou moins grande distance du centre des villes, suivant que les terrains sur lesquels le chemin de fer doit être construit dans l'intérieur de la ville sont plus ou moins coûteux, suivant la longueur du chemin, la nature du tonnage, etc. Nous avons dit aussi combien il importait d'éloigner les gares de voyageurs ou de marchandises des tranchées ou des souterrains courbes.

Il est rare que, quelque soin qu'ait pris un ingénieur de placer