

CHAPITRE IV

DU TRACÉ DES CHEMINS DE FER

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ET PRINCIPES QUI PRÉSENT A L'ÉTUDE DES TRACÉS

Parmi les problèmes que soulève l'exécution des chemins de fer, il n'en est pas de plus important que la détermination de leur tracé.

Si les chemins de fer sont destinés à exercer une influence bien-faisante sur l'avenir de notre industrie et de notre commerce, sur l'avenir même de notre civilisation, ce n'est qu'à la condition d'être bien conçus, bien tracés. Un chemin de fer, il ne faut pas l'oublier, est un aimant qui attire à lui toute l'activité commerciale et industrielle du pays dans un cercle fort étendu. Si donc il vivifie les contrées qu'il traverse, il appauvrit au contraire celles dont il s'éloigne, et, s'il est mal tracé, non-seulement il donne lieu à un gaspillage de la fortune publique, mais encore il peut jeter la perturbation la plus fâcheuse dans la distribution de notre richesse nationale, et, tout en étant une cause de prospérité pour quelques-uns, devenir, pour un grand nombre, un instrument de ruine. On ne saurait par conséquent étudier le tracé des chemins de fer avec trop de soin¹.

Longtemps l'étude des tracés, abandonnée en France et en Angleterre aux ingénieurs, s'est faite sous l'empire d'idées trop exclu-

¹ Les rapports de M. le comte Daru à la Chambre des pairs sur le tracé de plusieurs de nos grandes lignes de chemins de fer renferment les plus hautes considérations sur la question du tracé des chemins de fer, exposées avec une grande lucidité. Nous ne connaissons aucun document imprimé dont la lecture soit d'un plus vif intérêt pour les personnes qui s'occupent de cette question.

sives. On s'est appliqué à atteindre une perfection artistique excessivement coûteuse, sans songer que la question n'était pas purement technique, mais qu'elle était aussi commerciale, politique, et même militaire.

On comprend effectivement que s'il importe de faire disparaître autant que possible, dans le tracé des routes, les inégalités du sol au moyen de tranchées, de souterrains, de remblais ou de viaducs, il n'est pas moins essentiel de proportionner la dépense aux produits et de ne jamais perdre de vue l'intérêt politique ou commercial et les exigences de la stratégie.

Que l'on se propose, par exemple, de construire un chemin de fer pour une circulation médiocrement active et dont l'avenir est incertain, convient-il, dans ce cas, pour éviter les pentes trop roides, d'aplanir le terrain à grands frais, de couper ou de percer les montagnes pour adoucir les contours du chemin? Non certes, il vaut mieux alors gravir des rampes un peu plus inclinées et tourner brusquement autour des contre-forts : la dépense d'exploitation, qui, en définitive, ne se compose pas uniquement des frais de traction, mais qui comprend également les frais généraux, l'intérêt et l'amortissement du capital, en sera amoindrie, et l'entreprise en sera plus fructueuse.

Ce calcul du rapport des produits au capital engagé, que font les spéculateurs, ne saurait être indifférent au gouvernement, qui administre la fortune de tous¹; mais ses prévisions n'ont pas, comme celles des spéculateurs, le temps pour limite. Il doit donc souvent sacrifier le présent à un avenir éloigné, mais certain, auquel ne songent guère les capitalistes pressés de jouir, et n'oublier jamais que ce n'est pas seulement en grossissant par ses produits les recettes du Trésor qu'une voie de communication est utile au pays, mais aussi en contribuant à l'accroissement du bien-être général, en répandant les bienfaits de la civilisation dans les provinces qu'elle traverse, en facilitant l'action d'une administration éclairée, et enfin en servant aux mouvements des troupes qui protègent le territoire.

¹ Voir, plus loin, l'opinion exprimée sur cette question par M. le comte Daru.

C'est sous l'empire de ces principes que le gouvernement anglais, dans un pays où les travaux productifs sont livrés aux Compagnies, a construit la grande route de Holyhead, afin d'activer les relations de la métropole avec l'Irlande, et que le gouvernement français a contribué pour une part considérable à l'établissement du chemin de fer de Paris à Strasbourg, qui sert en même temps à favoriser notre commerce avec l'Allemagne et à porter rapidement, en cas de guerre, nos troupes vers la frontière de l'est.

On voit qu'un bon tracé doit remplir un grand nombre de conditions souvent incompatibles et qui se dérobent à une saine appréciation; ce serait par conséquent tenter l'impossible que de vouloir établir des règles absolues pour les déterminer.

Mais l'expérience acquise, quelque courte qu'elle soit, a déjà fourni certaines données qui, sans conduire directement et par une voie sûre à la solution du problème, contribuent à en diminuer les difficultés.

C'est dans l'exposé de ces données que consiste aujourd'hui toute la théorie du tracé des chemins de fer.

Les premières études d'un chemin de fer se font dans le cabinet et sur de bonnes cartes.

Plusieurs directions se présentent au premier abord pour une même ligne, toutes semblant offrir des avantages à peu près égaux, et il est assez difficile de se prononcer pour l'une d'elles, de préférence aux autres. On ne pourrait en effet citer aucun chemin de fer pour lequel d'habiles ingénieurs n'aient proposé de suivre des directions différentes, et défendu leurs tracés par des arguments en apparence également bons.

Une Compagnie ou un gouvernement ne peut pas faire étudier le terrain dans toutes les directions possibles, ou même dans toutes celles qui paraissent à première vue également avantageuses. Il faut que les ingénieurs chargés de rédiger les projets fixent leur choix, et, pour cela, ainsi que pour la comparaison des tracés étudiés, ils seront utilement guidés par la connaissance de certains faits que nous devons d'abord passer en revue, et qui nous conduisent à établir les principes les plus généralement admis en matière de tracés.

Tracés directs. — Lorsque, pour la première fois, l'administration des ponts et chaussées s'occupa en France du tracé des grandes lignes de chemins de fer, elle parut disposée à adopter les tracés les plus directs d'une extrémité à l'autre de la ligne ; mais alors les localités intermédiaires n'étaient pas desservies, ou ne l'étaient que par de simples embranchements.

Ainsi elle approuva le projet d'un tracé direct de Paris au Havre, qui ne desservait Rouen que par un embranchement.

Plus tard même elle autorisa l'exécution du chemin de Bâle à Strasbourg, qui passe à de grandes distances d'une partie des localités les plus importantes de la haute Alsace, et celle du chemin de Dijon à Châlons, auquel on reproche de négliger plusieurs villes ou villages qu'il aurait dû toucher ou même traverser.

Sans doute il est essentiel de raccourcir le trajet entre les deux points extrêmes d'une grande ligne, quand ce sont des villes de première classe, des centres d'activité du premier ordre ; sans doute le temps est aujourd'hui devenu si précieux, que quelques heures de plus ou de moins du Havre à Marseille peuvent influer sur l'avenir du commerce de l'Angleterre avec l'Afrique ou avec l'Inde, et conserver à la France ou faire dévier sur l'Allemagne le grand courant que le commerce fera naître inévitablement lorsque la mer Rouge communiquera plus facilement avec la Méditerranée ; mais on a, dans cette pensée, beaucoup trop amoindri l'importance des localités intermédiaires. C'est ce qu'a le premier démontré M. Minard, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, dans un travail sur la statistique des chemins de fer.

Les notes suivantes sur le rapport du parcours partiel des voyageurs au parcours de la ligne entière sont en partie extraites de ce travail.

Parcours partiel sur diverses voies de transport.

DÉSIGNATION DES CHEMINS OU PARTIES DE CHEMIN	RAPPORT		TOTALITÉ DES VOYAGEURS DANS L'ANNÉE.
	DU PARCOURS PARTIEL A LA CIRCULATION GÉNÉRALE.	DES VOYAGEURS DU PARCOURS PARTIEL A TOUS LES VOYAGEURS.	
CHEMINS DE FER FRANÇAIS.			
Paris à Saint-Germain (année 1852)	0,61	0,65	2,186,000
Paris à Versailles, rive droite (année 1851) . .	0,65	0,75	2,127,529
Paris à Corbeil (1841)	0,40	0,59	866,000
Lyon à Saint-Étienne (1851, 2 ^e semestre) . . .	0,66	0,85	557,554
Nîmes à Beaucaire (1841). (Extrait du tableau de M. Minard.)	»	0,14	211,000
Nîmes à Alais. (Extrait du tableau de M. Minard.)	»	0,51	111,000
Strasbourg à Colmar (année 1846)	0,75	0,90	296,885
Id. à Mulhouse. Id.	0,86	0,96	556,578
Id. à Bâle. Id.	0,87	0,97	749,424
Montpellier à Cette (année 1851)	0,20	0,37	167,628
Paris à Rouen (1852, 2 ^e semestre)	0,50	0,68	564,551
Rouen au Havre (du 1 ^{er} mars au 51 août 1852)	0,41	0,70	228,498
Paris à Creil (année 1852)	0,91	0,98	1,428,750
Id. à St-Quentin. Id.	0,90	0,98	1,817,603
Id. à Amiens. Id.	0,79	0,96	1,680,506
Id. à Boulogne. Id.	0,76	0,96	1,902,867
Id. à Douai. Id.	0,91	0,95	1,845,589
Id. à Quévrain. Id.	0,79	0,97	2,078,541
Id. à Mouscron. Id.	0,92	0,99	2,650,980
Id. à Calais. Id.	0,88	0,98	2,391,991
CHEMINS DE FER BELGES.			
(Extrait du tableau de M. Minard.)			
Bruxelles à Malines (juin, 1858)	0,25	0,35	512,000
Id. à Anvers. Id.	0,50	0,71	1,010,000
Id. à Gand. Id.	0,62	0,84	990,000
Id. à Liège. Id.	0,66	0,91	1,118,000
Gand à Malines. Id.	0,65	0,84	»
Id. à Louvain. Id.	0,80	0,90	»
Id. à Liège. Id.	0,90	0,98	809,000
Id. à Anvers. Id.	0,75	0,91	658,000
Anvers à Malines. Id.	0,54	0,50	121,000
Id. à Liège. Id.	0,75	0,94	»
Louvain à Liège. Id.	0,74	»	»
Id. à Wareme. Id.	0,91	0,95	»
Bruxelles à Tubise (1840, six mois)	0,66	»	»
Tous les chemins belges ensemble (juin 1842).	0,67	»	4,205,860

Parcours partiel sur diverses voies de transport.

(SUITE.)

DÉSIGNATION DES CHEMINS OU PARTIES DE CHEMIN.	RAPPORT		TOTALITÉ DES VOYAGEURS DANS L'ANNÉE.
	DU PARCOURS PARTIEL A LA CIRCULATION GÉNÉRALE.	DES VOYAGEURS DU PARCOURS PARTIEL A TOUS LES VOYAGEURS.	
CHEMINS DE FER ANGLAIS.			
(Extrait du tableau de M. Minard.)			
Grand junction Railway (juin, 1841)	0,46	0,89	550,000
Londres à Southampton (juillet et août 1841)	0,45	0,79	679,000
Londres à Birmingham (janvier, 1845)	0,40	0,70	2,490,000
<i>Id.</i> à Blakwal, au moins	0,68	0,77	490,000
North Midland (moitié 1841-1842)	0,59	0,84	460,000
CHEMINS DE FER ALLEMANDS.			
Leipzig à Dresde (année 1852)	0,45	0,71	452,264
Dresde à Gorlitz. <i>Id.</i>	0,65	0,88	446,521
Vienne à Brunn (1840). (Extrait du tableau de M. Minard.)	0,48	0,86	84,000
Francfort à Wisbaden (1841). (Extrait du ta- bleau de M. Minard.)	0,60	0,68	709,000
CHEMINS DE FER AMÉRICAINS.			
(Extrait du tableau de M. Minard.)			
Schenectady à Utica (1858)	0,20	0,46	155,000
Frédéricksburg à Richmond (1841)	0,21	»	»
New-York à Philadelphie.	0,66	0,80	405,000
TRANSPORTS PAR DILIGENCE ORDINAIRE.			
(Extrait du tableau de M. Minard.)			
Route de Paris à Lille	0,71	0,94	564,000
<i>Id.</i> de Paris à Strasbourg	0,86	0,98	294,000
<i>Id.</i> de Paris à Rouen	0,67	0,91	749,000
<i>Id.</i> de Toulouse à Perpignan	0,57	»	»
<i>Id.</i> de Toulouse à Nîmes	0,74	»	»
TRANSPORTS PAR EAU.			
(Extrait du tableau de M. Minard.)			
Canal du Midi, barque de poste (1839)	0,75	0,92	84,000
Paris à Rouen, bateaux à vapeur, etc.	0,70	0,90	300,000
D'Orléans à Nantes. <i>Id.</i>	0,76	»	»
Châlons à Lyon. <i>Id.</i>	0,64	0,80	300,000
Compiègne au Pec. <i>Id.</i> (1859)	0,60	0,81	20,000

Il résulte de ce tableau que la circulation locale pour les chemins de faible longueur, comme ceux de Saint-Germain et Versailles, est beaucoup plus importante que l'on eût été tenté de le supposer, eu égard à la courte distance qui sépare les villages desservis par les stations, et à leur faible population¹, et que, sur de grandes lignes comme le chemin du Nord, elle est proportionnellement plus grande que sur les petites lignes. Le nombre des voyageurs compense, en général, pour de courtes distances, jusqu'à un certain point, la longueur du parcours.

Si, sur les chemins de Montpellier à Cette et de Nîmes à Beaucaire, le parcours partiel est comparativement faible, cela tient à ce que ces deux lignes ne traversent, *par exception*, entre les points extrêmes, que des lieux presque déserts.

Si la dépense était la même pour le transport d'un voyageur du parcours partiel que pour un voyageur du parcours total, le rapport entre les distances parcourues par ces deux espèces de voyageurs, rapport fourni par la première colonne de notre tableau, serait aussi celui des produits nets en argent du transport de ces voyageurs ; mais il faut remarquer : 1° que le nombre de voyageurs de parcours partiel qui se servent de voitures de seconde et de troisième classe de préférence à celles de première est notablement plus grand que celui des voyageurs de parcours total, et que, par conséquent, la taxe moyenne que paye chaque voyageur est moindre ; 2° que l'exploitation des localités intermédiaires augmente considérablement le rapport du nombre des places vides à celui des places occupées, et devient, sous ce rapport, onéreuse à l'exploitation.

L'influence de la longueur du parcours sur le choix des places et sur la taxe moyenne ressort du tableau suivant :

¹ Lors de la publication du mémoire de M. Minard, en 1842, le rapport du parcours partiel à la circulation générale n'était, sur le chemin de Saint-Germain que de 0,27, et sur le chemin de Versailles (rive droite) que de 0,28. En 1852, d'après notre tableau, le rapport pour le chemin de fer de Saint-Germain s'était élevé à 0,61, et pour le chemin de Versailles (rive droite) à 0,65. Ces chiffres montrent avec quelle rapidité l'établissement des chemins de fer a développé le parcours partiel. Le chemin de Strasbourg n'est livré au public que depuis trois ans, et déjà le mouvement des stations de la banlieue est presque double de ce qu'il était la première année.

Parcours moyen d'un voyageur.

PARCOURS MOYEN D'UN VOYAGEUR.	CHEMINS ALLEMANDS.	CHEMINS BELGES.	CHEMINS ANGLAIS.	CHEMIN DU NORD.	CHEMIN DE L'EST.	CHEMIN DE LYON.	CHEMIN D'ORLÉANS.	CHEMIN DE LA MÉDITERRANÉE.	CHEMINS AUTRICHIENS.	CHEMIN DU MIDI.
	1830 *	1850 *	1845 *	1855	1855	1855	1855	1855	1855	1855
1 ^{re} classe.	57	59 5	42	»	155	»	186	149	126	»
2 ^e classe.	51	45	22	»	76	»	87	70	95	»
5 ^e classe.	38	26	18	»	59	»	67	47	52	»
Parcours moyen d'un voyageur moyen.	45 83	x	»	59	69	101	86	75	63	66

Quant à l'accroissement des frais provenant du parcours partiel, un raisonnement bien simple le mettra en évidence. Un convoi composé de dix voitures remorquées par une seule locomotive peut transporter 400 voyageurs de Paris à Versailles; 800 voyageurs transportés à moitié chemin dans des voitures de même classe donneront le même produit brut; mais, pour transporter ces 800 voyageurs, il faudra 20 voitures et 2 locomotives, qui, bien que les waggons ne parcourent que la moitié de la longueur totale du railway, devront faire le trajet dans son entier. Le produit brut restera donc le même et la dépense sera doublée.

Observons toutefois que ceci n'est qu'un cas extrême admis pour mieux faire ressortir la vérité de notre assertion; car, généralement, partie au moins des voyageurs du petit parcours sont remplacés par des voyageurs partant des stations intermédiaires.

Ainsi, tout en appelant l'attention sur l'importance du rôle que jouent les produits des localités intermédiaires sur un grand nombre de lignes, nous ne prétendons pas qu'il faille dévier une grande ligne pour lui faire desservir les moindres bourgs; nous recomman-

* Nous n'avons pas pu nous procurer des renseignements plus récents.

donc au contraire de bien fixer la valeur des produits que peut fournir une localité avant de lui sacrifier la rapidité ou l'économie du parcours entre les localités extrêmes; ayant bien soin de tenir compte autant du parcours moyen de chaque voyageur que du nombre de voyageurs.

C'est ainsi que la Compagnie de l'Est a cru devoir, en étudiant le tracé du chemin entre Paris et Mulhouse, le faire passer à plusieurs kilomètres de la ville de Provins, parce qu'elle a reconnu que pour toucher à cette ville il eût fallu se jeter dans des dépenses qui n'étaient nullement en rapport avec l'accroissement de produit auquel ce détour aurait donné lieu.

Dans ces sortes de calculs, il faut avoir égard au transport des marchandises autant qu'à celui des voyageurs. Le transport des marchandises sur les chemins de fer ne devient ordinairement avantageux que lorsque la distance dépasse un certain nombre de kilomètres. Aussi le parcours moyen d'une tonne de marchandises est-il, sur nos principales lignes, plus grand que celui d'un voyageur. C'est ce que prouve le tableau suivant :

Parcours kilométrique d'un voyageur et d'une tonne de marchandises.

UNITÉ DE COMPARAISON.	NORD.	EST.	LYON.	ORLÉANS.	MÉDITERRANÉE.	MIDI.
Parcours moyen d'un voyageur.	59	69	101	86,64	73,20	66
Parcours moyen d'une tonne de marchandises.	171	197	249	226,78	150,19	

Il ne faudrait pas croire cependant que le transport des marchandises, à de petites distances, soit insignifiant. Il résulte des tableaux publiés par M. Teisserenc sur le mouvement commercial des chemins de York à Darlington, et de Saint-Étienne à Lyon, que, sur le premier de ces chemins, dont la longueur n'est que de 72 kilomètres, moitié du tonnage en marchandises, à l'époque où il pu-

bliait son ouvrage, appartenait au parcours partiel, et que, sur le second, long de 57 kilomètres, le mouvement local représentait les deux tiers du mouvement total.

Sur le chemin de Manchester à Crewe, qui n'a que 48 kilomètres de longueur, le développement de la circulation intermédiaire en marchandises a été bien plus rapide que le développement du trafic des marchandises de long parcours. En voici le résumé, que nous empruntons encore à l'ouvrage de M. Teisserenc.

Chemin de fer de Manchester à Crewe.

(Première section du railway de Birmingham à Manchester.)

EXERCICES D'EXPLOITATION.	MARCHANDISES	
	PROVENANT OU A DESTINATION DU GRAND-JUNCTION, C'EST- A-DIRE L'ARCOURANT TOUT LE TRAJET DE MANCHESTER A CREWE.	APPARTENANT AUX STATIONS INTERMÉDIAIRES DE LA LIGNE.
1 ^{er} semestre de 1843. . .	13,966 tonnes.	1,154 tonnes.
2 ^e — — — — . . .	18,910 —	5,457 —
1 ^{er} semestre de 1844. . .	24,571 —	12,548 —
2 ^e — — — — . . .	25,166 —	25,560 —
1 ^{er} semestre de 1845. . .	54,035 —	52,005 —
2 ^e — — — — . . .	57,724 —	41,555 —
1 ^{er} semestre de 1846. . .	47,979 —	89,681 —

Nous ne possédons pas de renseignements plus récents sur ce chemin.

Le tableau suivant, extrait de l'ouvrage de M. Belpaire, vient, aussi bien que ceux de M. Teisserenc, à l'appui de notre opinion.

TRANSPORT DES GROSSES MARCHANDISES SUR LES CHEMINS BELGES EN 1844.

A	5 kilomètres,	15,647 tonnes,	dont 14,976 de Liège à Ans.
10	—	12,847 —	dont 6,754 de Chenie à Ans.
15	—	5,968 —	
20	—	40,646 —	dont 19,574 de Tournay à Mouscron.
25	—	25,069 —	dont 19,265 de Liège à Verviers.
30	—	5,014 —	
35	—	25,256 —	

40	—	55,042	—	dont 29,866 de Liège à Herbestal et retour.
45	—	41,206	—	
50	—	5,605	—	
55	—	3,506	—	
60	—	7,570	—	
65	—	9,185	—	
70	—	4,408	—	
75	—	14,655	—	
80	—	4,776	—	

On est frappé du chiffre des transports à des distances de 5 et 0 kilomètres seulement; nous ferons observer qu'ils s'effectuent dans des conditions exceptionnelles sur un plan incliné, vers le village d'Ans, qui doit être considéré comme le faubourg de Liège. Le transport par la route de terre, sur cette rampe, est très-couteux; c'est ce qui permet au chemin de fer de soutenir la lutte.

Sur le chemin d'Alsace, le mouvement total des grosses marchandises, qui était, en 1846, de 56,595 tonnes environ, s'est distribué de la manière suivante :

De Strasbourg à Bâle ou Saint-Louis, remonte et descente			1,875	seulement.
<i>Id.</i> à Mulhouse,	<i>id.</i>	15,594	—	
<i>Id.</i> à Colmar,	<i>id.</i>	3,550	—	
<i>Id.</i> à Thann,	<i>id.</i>	3,442	—	
<i>Id.</i> à Schelestadt,	<i>id.</i>	666	—	
De Mulhouse à Bâle ou Saint-Louis,	<i>id.</i>	10,505	—	
<i>Id.</i> à Colmar,	<i>id.</i>	4,854	—	
<i>Id.</i> à Thann,	<i>id.</i>	3,492	—	
<i>Id.</i> à Schelestadt,	<i>id.</i>	1,028	—	
De Colmar à Bâle ou Saint-Louis,	<i>id.</i>	1,186	—	
<i>Id.</i> à Thann,	<i>id.</i>	1,197	—	
<i>Id.</i> à Schelestadt,	<i>id.</i>	150	—	
De Thann à Bâle ou Saint-Louis,	<i>id.</i>	189	—	
<i>Id.</i> à Schelestadt,	<i>id.</i>	180	—	
De Schelestadt à Saint-Louis ou Bâle,	<i>id.</i>	714	—	
De Strasbourg aux différentes stations de 2 ^e et 5 ^e ordre.	<i>id.</i>	3,402	—	
De Mulhouse,	<i>id.</i>	2,806	—	
De Colmar,	<i>id.</i>	1,011	—	
De Thann,	<i>id.</i>	454	—	
De Schelestadt,	<i>id.</i>	900	—	
De Saint-Louis à Bâle,	<i>id.</i>	1,262	—	
Mouvement entre les stations de 2 ^e et 5 ^e ordre,	<i>id.</i>	182	—	
TOTAL			56,595	seulement ¹ .

¹ Depuis cette époque, la Compagnie a cessé de faire le relevé du tonnage partiel.

On remarquera en parcourant le tableau qui précède :

1° Que la quantité de marchandises qui parcourt la totalité de la ligne de Strasbourg à Bâle, ou de Bâle à Strasbourg, n'est qu'une fraction très-faible de la masse qui circule sur le chemin ;

2° Que le mouvement entre Strasbourg et Mulhouse n'atteint pas le quart du mouvement total ;

3° Que le mouvement de Mulhouse à Bâle en est à peu près le sixième ;

4° Que la circulation à laquelle donnent lieu les stations de second et troisième ordre, quelque faible que soit leur importance sous le rapport de la population, est environ le sixième de la circulation totale.

Sur le chemin de Paris à Strasbourg, le transport des marchandises entre les localités intermédiaires et à de petites distances est également productif. On en jugera par le relevé du mouvement pendant les mois de juillet, août et septembre 1854.

MOUVEMENT DES MARCHANDISES SUR LA LIGNE DE PARIS A STRASBOURG PENDANT
LES MOIS DE JUILLET, AOUT ET SEPTEMBRE 1854.

Mouvement des stations extrêmes entre elles.	8,184	} Mouvement total. 95,900 tonnes.
<i>Id.</i> des stations extrêmes aux stations inter- médiaires et de ces dernières entre elles.	87,716	
<hr/>		
<i>Id.</i> des stations extrêmes à toutes les stations.	29,825	} 95,900 —
<i>Id.</i> des stations intermédiaires à toutes les stations.	66,075	
<hr/>		
<i>Id.</i> réciproque des gares extrêmes à toutes les stations.	68,115	} 95,900 —
<i>Id.</i> des stations intermédiaires entre elles.	27,785	
<hr/>		

MOUVEMENTS PARTIELS PENDANT LE MÊME TEMPS ENTRE CERTAINES STATIONS
A DE TRÈS-PETITES DISTANCES.

Entre Lagny et Meaux	(17 kilomètres).	. . . .	188 tonnes.
La Ferté et Château-Thierry	(29 — )	. . . .	392 —
La Ferté et Nogent	(19 — )	. . . .	105 —
Château-Thierry et Dormans	(22 — )	. . . .	489 —
Dormans et Épernay	(25 — )	. . . .	1906 —
Bar et Nançois	(11 — )	. . . .	59 —
Nancy et Blainville	(24 — )	. . . .	55 —
Sarrebourg et Saverne	(27 — )	. . . .	219 —
Steinbourg et Hochfelden	(12 — )	. . . .	57 —

De ce qui précède il résulte que, bien que le produit du trafic intermédiaire ne soit pas tout à fait aussi grand qu'il peut le paraître à la seule inspection du tableau de M. Minard, il n'en est pas moins considérable autant pour les marchandises que pour les voyageurs. *Il serait, par conséquent, en même temps impolitique et préjudiciable aux intérêts financiers de l'État comme à ceux des Compagnies de sacrifier, ainsi qu'on l'a fait sur certaines lignes précitées, les intérêts des localités intermédiaires à ceux des points extrêmes.*

Si d'ailleurs les besoins du commerce rendent la construction des lignes directes nécessaire, on ne tardera pas à les établir malgré l'existence de celles qui s'en écartent peu. Il n'y a pas douze ans que le chemin de fer de Londres à York par Birmingham est ouvert au public, et déjà l'on a construit une ligne plus directe pour abréger le chemin de 64 kilomètres. En France, le chemin de Lyon s'éloigne du tracé direct pour passer à Dijon, tandis que le chemin du Nord, de Paris à Calais, fait un détour de 21 kilomètres pour passer à Pontoise, de 37 kilomètres pour desservir Lille et ses environs, et que le chemin d'Orléans ne conduit à Nevers que par un long circuit; mais l'activité du service a déjà fait décider l'exécution d'un chemin de Paris à Creil et d'un chemin d'Arras à Hazebrouk, ce qui raccourcirait le trajet de Paris à Calais de 58 kilomètres. Une Compagnie a entrepris la construction d'une ligne de Paris à

Lyon abrégant de 70 kilomètres le parcours entre ces deux villes, ainsi que celui de Paris à Nevers, de 65 kilomètres, et le gouvernement a décidé l'exécution d'un chemin de Paris à Mulhouse, afin de raccourcir de 128 kilomètres le voyage que l'on fait aujourd'hui par les voies de fer de Paris à Strasbourg et de Strasbourg à Bâle. Ce chemin réduira aussi de 61 kilomètres le trajet par Dijon et Besançon.

M. Courtois, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a combattu l'opinion soutenue par M. Minard : il s'est attaché à démontrer qu'il ne faut pas dévier les grandes lignes pour toucher quelques petites villes, bourgs ou villages qui peuvent se trouver à proximité de la direction à suivre. Nous ne pensons pas que M. Minard ait voulu contester l'importance des longs parcours et nier la nécessité de les favoriser en raccourcissant les distances. Ce que M. Minard a essayé de démontrer, et ce que, selon nous, il a parfaitement établi par ses tableaux, c'est que jusqu'alors on s'était fait une fausse idée de l'importance des localités intermédiaires lorsque, pour abrégé de quelques kilomètres le parcours de Paris au Havre, on faisait passer la ligne principale à une assez grande distance d'une ville comme Rouen, ou encore quand, pour gagner quelques minutes sur le trajet d'une grande ville à une autre, on rendait le service des points intermédiaires tellement difficile, que l'on risquait d'ôter aux voyageurs de ces localités toute envie de se déplacer. C'est aussi notre opinion et celle d'un grand nombre d'ingénieurs.

Les faits suivants, que nous empruntons à la dernière édition de l'ouvrage de Lardner, intitulé *Railway Economy*, et publié en 1850, prouvent enfin surabondamment la grande importance des transports à de petites distances, pour les marchandises en même temps que pour les voyageurs.

Sur les chemins belges, en 1849, 40 pour 100 de la totalité des voyageurs n'avaient parcouru que des distances inférieures à 32 kilomètres, et 73 pour 100 des distances de 64 kilomètres. Le parcours kilométrique des premiers forme 16 pour 100 du parcours total, et celui des seconds, 46 pour 100 ; 5 pour 100 seulement parcoururent des distances dépassant 127 kilomètres, et leur parcours kilométrique n'est que de 17 pour 100 du parcours total.

34 pour 100 des marchandises transportées parcourent des distances de moins de 40 milles (64 kilomètres), et 60 pour 100 des distances de moins de 20 milles (32 kilomètres). Le parcours kilométrique des premières est de 11 pour 100 du parcours total, et des secondes, de 31 pour 100; 12 pour 100 seulement des marchandises sont transportées à des distances de plus de 80 milles (128 kilomètres), et leur parcours kilométrique est de 30 pour 100 du parcours total.

Tracés des vallées et des plateaux. — Les tracés directs écartés en principe, on s'est demandé s'il convenait d'établir les chemins de fer à côté des rivières et des canaux. Les opinions se sont trouvées partagées. Les uns prétendaient que les chemins de fer, dans le voisinage des canaux, feraient double emploi; qu'en les construisant dans les mêmes directions, on accumulerait les moyens de production sur quelques lignes, tandis qu'il valait mieux les disséminer autant que possible sur toute la surface du pays; que la lutte qui s'établirait alors entre les deux voies de communication rivales, si elle n'était préjudiciable à l'une et à l'autre en même temps, finirait par être mortelle à l'une des deux; qu'ainsi tous les capitaux enfouis dans l'établissement de la voie qui aurait succombé seraient anéantis.

D'autres, loin de considérer le voisinage des voies navigables comme nuisible aux chemins de fer, le déclarèrent avantageux. Les chemins de fer ne sont, à leurs yeux, que le complément des canaux. Ils sont appelés à transporter à grande vitesse les voyageurs et les marchandises de roulage, ce que ne peuvent faire les canaux; mais à ces derniers appartient exclusivement le transport des marchandises de peu de valeur, transport qui ne peut s'opérer économiquement par les chemins de fer; ces voies, loin d'être rivales, se prêtent donc un mutuel appui.

Sans vouloir revenir ici sur la question de l'antagonisme des canaux et des chemins de fer, question que nous avons traitée précédemment, nous signalerons ce fait, que l'on ne saurait méconnaître : *c'est qu'un grand nombre de lignes importantes de chemins de fer, en Angleterre, en France et en Belgique, sont parallèles à des voies navigables, ou du moins en sont peu distantes.*

Comment, en effet, pouvait-il en être autrement, lorsqu'on reconnaissait que les chemins de fer devaient avant tout desservir les grands centres de population, lesquels sont presque tous placés sur le bord de voies navigables, et que c'était par exception seulement qu'il convenait de les diriger, dans un but d'avenir ou par des considérations stratégiques, au travers de contrées stériles et à peu près désertes ?

Les grands courants de voyageurs et ceux de marchandises le plus souvent se superposent : les chemins de fer deviennent donc nécessaires précisément dans les directions que suivent déjà les voies navigables.

Qu'il soit juste, qu'il soit paternel de distribuer aussi également que possible la richesse à tous les habitants d'un pays, nous ne le nions pas ; mais chaque localité possède des avantages qu'on ne saurait lui ravir.

Peut-être nous objectera-t-on que les premières lignes de chemins de fer, celles de Darlington, Saint-Étienne, etc., n'ont pas été établies parallèlement à des voies navigables ; nous répondrons que ce n'est pas à ce genre de chemins de fer, destinés plutôt au transport du charbon qu'à celui des voyageurs, que l'on a fait allusion lorsqu'on a proposé d'éloigner les chemins de fer des voies navigables. Il s'agissait alors des chemins de fer à grande vitesse pour le transport des voyageurs, et c'est aussi de ces chemins de fer exclusivement que nous entendons parler lorsque nous disons que les chemins de fer parallèles aux voies navigables très-fréquentées ont dû, à quelques exceptions près, mériter la priorité d'exécution.

M. le comte Daru, dans le rapport qu'il a rédigé sur le tracé du chemin de Lyon, exprime une opinion parfaitement semblable à la nôtre sur le parallélisme des chemins de fer et des voies navigables.

« Les voies à vapeur, dit-il, une fois leur classement arrêté, doivent être tracées dans le sens même et dans la direction que suivent aujourd'hui les grands mouvements de voyageurs et de marchandises, dirigés du centre sur les extrémités du territoire. Le signe distinctif des instruments nouveaux de locomotion étant une force d'attraction irrésistible, à laquelle tout cède, qui s'exerce à de longues distances, transforme toutes les industries, déplace toutes les

habitudes ; il pourrait bien se faire que de graves intérêts fussent compromis, si le gouvernement ne s'appliquait pas à ménager les transitions, à empêcher les changements trop brusques dans la situation économique du pays, s'il n'intervenait pas dans ce but, en choisissant les tracés les plus propres à affecter les appareils locomoteurs aux besoins de la circulation déjà existante, sans essayer d'en troubler ni d'en contrarier le cours.

« Quels motifs, d'ailleurs, pourrait-il y avoir de lutter contre la pente naturelle des choses, et de créer, à l'aide d'un instrument nouveau, d'une manière artificielle et factice, une distribution nouvelle des richesses qui s'échangent entre les diverses parties d'un même empire ?

« Vous le savez, messieurs, cette distribution des richesses ne s'opère pas au hasard, au gré et selon le caprice des producteurs ou des consommateurs. Presque toujours elle est le résultat nécessaire de la configuration même du pays, de l'existence des voies de communication naturelles ou artificielles, dirigées dans tel sens plutôt que dans tel autre, par suite des accidents du terrain, et aussi du degré de richesse ou de fertilité inégalement répartie entre des contrées différentes.

« A combien de résistances, d'obstacles, de mécontentements sans cesse renaissants, ne s'exposerait-on pas si l'on allait s'attaquer à ces habitudes anciennes, formées en quelque sorte d'elles-mêmes et nécessairement ; si l'on avait la prétention de détruire ce que le temps a établi, de modifier ce que le cours naturel des choses a amené ! Ne penserez-vous pas avec nous, messieurs, que ce serait là une œuvre bien difficile à entreprendre, une lutte bien dangereuse à entamer, et, par-dessus tout, une chose impolitique, également mauvaise et par l'effet matériel et par l'effet moral qu'elle produirait ? Nous sommes donc d'avis qu'en thèse générale la meilleure direction d'un chemin de fer est celle qui se prête et se plie le mieux aux mouvements habituels de la circulation, qui en trouble le moins le cours, qui respecte le mieux la possession, les droits acquis, et va par conséquent chercher les voyageurs et les marchandises là où ils affluent, se porte là où les grands courants des transports ordinaires sont depuis plus longtemps établis et fixés. »

La préférence donnée par les ingénieurs aux grandes vallées arrosées par des cours navigables pour l'établissement des chemins de fer n'est pas absolue. On a reconnu qu'il pouvait être utile d'en établir, dans certains cas, sur des plateaux, perpendiculairement ou obliquement à ces vallées, et c'est surtout dans l'étude des nouvelles voies destinées à raccourcir le trajet que l'on s'est trouvé conduit à s'écarter des grands cours d'eau.

Ces voies transversales créent le trafic plutôt qu'elles ne profitent du trafic déjà existant.

Des chemins de ce genre déjà construits depuis plusieurs années les plus remarquables sont : en Angleterre, ceux de Londres à Brighton et à Southampton, de Newcastle à Carlisle et de Bristol à Exeter ; en Belgique, les lignes de Bruxelles à Valenciennes et de Bruxelles à Louvain, Liège et Cologne ; en France, les chemins de Paris à Orléans, d'Orléans à Limoges, d'Orléans à Bordeaux, de Metz à Forbach.

Au nombre des nouvelles voies en construction aujourd'hui, il faut ranger les chemins de Blesmes à Gray et de Paris à Mulhouse.

Dans certains pays qui ne possèdent que peu ou point de navigation intérieure, comme l'Espagne, la Suisse, l'Italie, la Turquie, le principe que nous avons posé cesse de trouver son application, et le tracé des premières lignes importantes a dû prendre de préférence la direction que suit le roulage.

Emplacement des gares extrêmes. — Parmi les questions qu'a soulevées l'étude du tracé des grandes lignes de chemins de fer, il en est une qui a donné lieu à de nombreux débats, celle de savoir jusqu'à quel point il convenait de prolonger le tracé des chemins de fer dans l'intérieur des villes pour se rapprocher de leur centre d'activité.

C'est renoncer sans doute à une partie des avantages attachés à la construction des chemins de fer que de ne pas les prolonger jusqu'au milieu même des grands centres de population ; mais à quelle énorme dépense n'entraîne pas l'établissement d'une gare de départ dans les quartiers commerçants d'une capitale ! Nous indiquerons plus loin quelle vaste étendue de terrain cette gare doit occuper si l'on ne veut rendre l'exploitation en même temps difficile,

dangereuse et dispendieuse. Ce terrain seul et les constructions que nécessite le trajet du chemin de fer tout au travers de la cité peuvent coûter des sommes considérables.

La seule gare des voyageurs du chemin de Paris à Strasbourg, bien qu'établie dans un quartier voisin des barrières, où le terrain n'a pas encore acquis une très-grande valeur, a coûté à l'État environ 10,600,000 fr., dont 6 millions pour le terrain ; 4,900,000 fr. pour les terrassements et ouvrages d'art ; 2,900,000 fr. pour le bâtiment principal, les halles à marchandises et les remises ; et à la Compagnie, depuis l'époque où elle a pris livraison du chemin, 776,500 fr. ; ce qui fait pour la dépense totale d'établissement de cette gare, au 15 novembre 1854, 11,384,800 fr.¹.

La portion du chemin qui joint cette gare des voyageurs à la gare des marchandises de la Villette, bien que n'ayant pas au delà de près de 3 hectares, a coûté 3,410,000 fr.².

¹ Cette dépense se subdivise de la manière suivante :

DÉPENSES FAITES PAR L'ÉTAT.

Indemnités de terrains réglées par la décision du jury pour l'acquisition de 4 hectares 68 ares 75 centiares.	5,793,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art, murs de terrasses soutenant les terrains et rues qui entourent la gare.	1,498,000
Abaissement et reconstruction de la galerie de l'aqueduc Saint-Laurent, pavage et trottoirs des voies publiques ouvertes ou élargies aux abords de la gare.	418,000
Construction du bâtiment principal de la gare, y compris la halle couverte.	2,174,000
Construction de deux halles à marchandises grande vitesse et de deux remises pour les locomotives et les voitures.	498,800
Nivellements, pavages et trottoirs des cours, égouts, clôtures, pavillons de gardiens, réservoirs d'eau, quais de chaises de poste, latrines, etc.	529,500
TOTAL.	10,668,500 fr.

DÉPENSES FAITES PAR LA COMPAGNIE.

Installations diverses des bureaux et logements, etc.	266,500 fr.
Hangars divers et déplacements des hangars en tête de la halle, bureau de la douane et logement des employés, agrandissement de la salle de bagages.	209,000
Nouveau bureau en surélévation.	160,000
Calorifères.	58,000
Éclairage au gaz.	85,000
TOTAL.	776,500 fr.

² On subdivise cette dépense comme suit :

Terrain, 2 hectares 9 ares 52 centiares.	1,775,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art.	1,537,000
TOTAL.	3,410,000 fr.

Quant à la gare de la Villette, elle avait coûté à l'État, au moment où il l'a livrée à la Compagnie, 5,520,000 fr.¹. Depuis cette époque, l'État a encore dépensé, pour de nouveaux hangars et des ateliers de carrosseries qu'il devait fournir à la Compagnie, 867,500 fr.². La Compagnie elle-même a dépensé, pour différents travaux, 2,122,500 fr.³.

En résumé, au 15 novembre 1854, la gare de Paris avait coûté, tant à l'État qu'à la Compagnie.	11,584,800 fr.
La partie intermédiaire.	5,110,000
Celle de la Villette.	8,310,000
<hr/>	
Les deux gares ensemble avec la portion de chemin qui les réunit.	22,804,800
Non compris les voies, plaques tournantes et changements de voies, dont on porte la valeur à.	1,400,000
<hr/>	
TOTAL.	24,204,800 fr.

Ces deux gares, toutes coûteuses qu'elles sont, suffiront-elles au service des chemins de Strasbourg et de Mulhouse? c'est ce qui est douteux. Déjà la Compagnie se propose de réunir ce dernier chemin à celui de Vincennes, afin de pouvoir débarquer une partie de ses voyageurs à la Bastille. Elle a acheté des terrains pour agrandir

¹ Cette dépense se compose des éléments suivants :

Terrain, 18 hectares 69 ares.	2,662,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art.	1,088,000
Halles à marchandises, cours et clôtures.	1,000,000
Remises de locomotives, remises de waggons et ateliers de petite réparation.	570,000
TOTAL.	5,520,000 fr.

² Décomposés comme suit :

Nouvelles halles avec pavage.	507,500 fr.
Carrosserie et dépendances, magasin, maison d'habitation, etc.	560,000
TOTAL.	867,500 fr.

³ Décomposés comme suit :

Fondations de plaques, etc.	2,002,000 fr.
Installations diverses et appropriations.	48,000
Calorifères.	5,000
Éclairage des halles et des ateliers.	67,500
TOTAL.	2,122,500 fr.

les gares de Paris et de la Villette, et elle a commencé des travaux importants dans le but d'y rendre le service plus facile ¹.

Le devis des travaux restant à faire à Paris et à la Villette a été rédigé dans l'hypothèse d'agrandissements du réseau de l'Est. Ils n'auront lieu qu'au fur et à mesure de l'exécution de nouvelles lignes se rattachant à ce réseau.

Pour réduire autant que possible les frais de construction des gares extrêmes, et afin d'éviter les droits d'octroi pour les marchandises, on a placé les gares de marchandises des chemins qui partent de Paris en dehors du mur d'enceinte, et les gares de voyageurs à une assez grande distance du centre de la ville.

D'un autre côté, si l'éloignement des gares est sans importance réelle pour le public lorsque la ligne est d'une grande longueur, il y a lieu de craindre que les voyageurs obligés à de longs trajets en voiture pour parvenir aux nouvelles voies ne leur préfèrent, pour de courtes distances, les anciennes routes.

On ne doit donc fixer définitivement l'emplacement d'une gare extrême qu'après avoir comparé aussi bien que possible l'accroissement des dépenses provenant de son plus ou moins de proximité du centre d'une ville à l'accroissement probable des produits correspondants.

C'est en établissant ainsi la balance des dépenses et des revenus que la Compagnie du chemin de Saint-Germain a renoncé, très-sagement selon nous, au projet qu'elle avait formé de prolonger la voie jusqu'à la rue Tronchet, et celle du chemin de Versailles (rive gauche) jusqu'à la place Saint-Sulpice.

La Compagnie du chemin de Liverpool à Manchester a été conduite par un calcul semblable à une conclusion contraire : le che-

¹ La Compagnie, du 15 novembre au 1 ^{er} avril 1855, a agrandi la gare des voyageurs de 1,17 hectares, coûtant	1,425,900 fr.
Les constructions faites dans le même laps de temps ont coûté	26,000
Celles à faire, d'après les devis, coûteront	4,700,000
A la Villette, les terrains achetés depuis le 15 novembre 1854, mesurant une surface de 5,74 hectares, ont coûté.	726,500
Les dépenses faites pour constructions nouvelles, poses de voies, etc., s'élèvent à	2,001,500
Celles restant à faire sont estimées.	2,800,000

TOTAL des dépenses faites ou à faire pour les deux gares. 11,377,900 fr.

min aboutissant à l'un des faubourgs de Liverpool, la Compagnie, au moyen de souterrains, a détaché du tronc principal trois branches, dont deux vers le port pour les marchandises, et l'autre, pour les voyageurs, vers le centre de la ville.

Les Compagnies anglaises, en général, ont fait, dans ces dernières années, des sacrifices considérables pour se rapprocher du centre des villes. M. Bassompierre, dans un excellent article sur la pénétration des chemins de fer dans les villes¹, a tracé un tableau complet des travaux immenses exécutés par ces Compagnies pour atteindre le cœur même des populations.

Gares communes. — L'établissement des gares extrêmes dans une grande ville nécessitant souvent, comme nous venons de le constater, des dépenses énormes, on a été conduit à examiner si, en réunissant plusieurs chemins de fer dans une gare commune et en faisant le service sur les mêmes trottoirs et les mêmes rails, on ne réaliserait pas de grandes économies. Cette question a été agitée vivement, surtout à l'occasion du chemin de fer de Lyon, que l'on voulait faire aboutir à Paris dans la gare du chemin de fer d'Orléans; et du chemin de fer de Strasbourg, dont on a proposé de réunir la gare de Paris à celle du chemin de fer du Nord.

Il y a non-seulement une grande économie de construction à concentrer le service de deux ou plusieurs chemins de fer dans une même gare commune; il y a aussi économie notable de frais d'exploitation, car il est alors nécessaire, pour éviter la confusion, de réunir le service des différentes lignes dans les mains d'un personnel unique.

La fusion des gares extrêmes de chemins de fer est donc réellement avantageuse toutes les fois que le service de ces différentes lignes peut se faire sur les mêmes rails et sur les mêmes trottoirs; aussi pensons-nous que le gouvernement a sagement fait en renonçant au projet d'établir à Strasbourg deux gares distinctes pour les chemins de Bâle à Strasbourg et de Paris à Strasbourg; mais doit-on regretter que la gare du chemin de Lyon n'ait pas été réunie à celle du chemin d'Orléans, et celle du chemin de Strasbourg à celle du

¹ *Journal des chemins de fer*, 25 novembre 1854.

chemin du Nord? Nous ne le croyons pas. Quand on calcule le nombre considérable de convois qui circulent sur ces grandes voies de communication, et quand on songe qu'il y a des heures de départ, pour ainsi dire forcées pour certains convois, marchant sur des lignes différentes, on reconnaît qu'il eût été impossible de faire convenablement le service du chemin de Lyon et du chemin d'Orléans, du chemin du Nord et du chemin de Strasbourg sur les mêmes rails et sur les mêmes trottoirs. De là, la nécessité d'établir des voies, des trottoirs, des salles d'attente même distinctes, desservies par un personnel spécial. La gare commune ne serait devenue alors que la réunion de deux gares contiguës et aurait perdu la majeure partie de ses avantages. Elle n'aurait conservé que celui de faciliter le passage des voyageurs et des marchandises d'un chemin sur l'autre sans transbordement ; mais on évite également ce transbordement en réunissant les gares distinctes par un chemin de jonction, comme on l'a fait pour les chemins qui aboutissent à Paris.

Nous ne saurions donc conseiller la communauté des gares que pour des chemins de fer où la circulation n'a pas l'extrême activité qu'elle a prise sur nos grandes lignes.

Pentes et rayons de courbure. — Si l'économie est de rigueur dans la construction des voies de communication toutes les fois qu'elle n'en compromet pas l'avenir, elle serait au contraire fort blâmable, lorsque, pour un intérêt du moment, elle exposerait à un préjudice grave dans les temps futurs.

Ainsi, en Angleterre, on a commis une grande faute dont on supporte aujourd'hui toutes les conséquences, lorsque, sans se préoccuper de l'accroissement du commerce, on a ouvert, il y a une cinquantaine d'années, les canaux dans les dimensions insuffisantes de la petite section.

On ferait une faute semblable si on calculait les pentes et les rayons de courbure des chemins de fer dans la seule pensée d'établir l'équilibre entre les dépenses et les produits.

Les lignes du premier ordre, étant appelées, sans aucun doute, à provoquer d'immenses développements dans l'industrie et le trafic, doivent être établies avec un certain luxe. Si l'on peut, dans quelques années, remplacer un tronc commun par une voie spéciale,

il n'est pas également possible de substituer à des pentes trop fortes des pentes plus faibles, ou, du moins, ce n'est possible que dans certains cas particuliers. *Il faut donc, dès à présent, dans le tracé des lignes principales, se résigner à quelques sacrifices pour réduire l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.*

Nous ne prétendons pas cependant imposer ici une règle absolue. Les sacrifices ont aussi leurs limites, et, avec des machines suffisamment puissantes, les fortes pentes, pourvu qu'elles ne dépassent pas un maximum que nous avons indiqué p. 72, n'exerceront pas sur les frais d'exploitation une influence à beaucoup près aussi grande que celle qu'on leur avait supposée dans l'origine.

On ne craint pas aujourd'hui de construire même des lignes de premier ordre avec des pentes que l'on avait considérées comme entièrement inadmissibles il y a quelques années.

M. Teisserenc a publié sur l'influence des pentes un travail fort intéressant, d'où il résulterait, qu'au-dessous d'une certaine limite l'inclinaison des rampes, sur les lignes à grande vitesse consacrées au transport des voyageurs et des marchandises, n'augmenterait en aucune manière les frais d'exploitation, et que même elle semblerait les diminuer, puisque, en comparant la dépense de plusieurs chemins anglais, on trouve qu'elle est plus faible sur les chemins à forte pente que sur ceux à pente douce.

Le même auteur explique cette espèce de paradoxe en présentant une série de tableaux de la composition desquels il tire comme conséquence :

1° Que le poids des convois qu'il a fallu multiplier pour les besoins du commerce est presque toujours inférieur à celui que les locomotives remorquent sans grande difficulté sur les lignes à faibles pentes ; que, par conséquent, ces machines peuvent franchir aisément des pentes de 7, 8 et 9 millimètres.

2° Que, dans le cas des rampes plus fortes qui ne peuvent être gravies qu'au moyen d'un ralentissement de la marche, le temps perdu est économiquement retrouvé dans le passage sur la contre-pente, dont la déclivité sert de moteur gratuit et permet d'atteindre une grande vitesse.

3° Que les cas d'affluence de voyageurs ou de marchandises né-

cessitant l'adjonction de machines de renfort sont aussi fréquents, si ce n'est plus, sur les chemins à faibles pentes que sur les autres.

4° Que, sur les chemins à fortes pentes, l'entretien de la voie coûte moins que sur ceux de niveau, parce que ceux-ci n'ont été amenés à ce point de perfection qu'au moyen de grands travaux de terrassements, remblais ou tranchées, constamment menacés par des éboulements ou des crevasses qui compromettent la sécurité des voyageurs et augmentent considérablement les frais d'entretien.

5° Enfin, que les dépenses supplémentaires des chemins à fortes pentes rendent obligatoire un système général d'économie qui agit si heureusement sur toutes les parties de leur administration, qu'avec des recettes brutes moins élevées ils arrivent à distribuer des dividendes plus forts.

Nous sommes bien d'accord avec M. Teisserenc en ce sens que nous pensons comme lui que l'accroissement des pentes, jusqu'aux limites qu'il indique et sur les grandes lignes où l'on transporte en même temps les voyageurs et les marchandises, n'a pas sur les frais d'exploitation une influence aussi sensible qu'on le croyait; mais nous ne saurions admettre en principe, comme il le fait, que cette influence est absolument nulle, et, bien moins encore, que la dépense diminue lorsque les pentes augmentent.

Et d'abord, remarquons que ce qui peut être vrai pour l'Angleterre ne l'est pas pour la France. Si, en Angleterre, les besoins du commerce ont obligé de multiplier les convois de voyageurs à tel point que la force des locomotives est plus que suffisante pour remonter sans ralentissement des pentes de 7, 8 et 9 millimètres, il n'en est pas de même en France.

Ainsi, d'après M. Teisserenc, la charge moyenne d'un convoi de voyageurs est :

Sur les chemins anglais, de	55 tonnes.
Sur les chemins français, de	75 »
Sur les chemins allemands, de	100 »

Dira-t-on que, pour traîner les lourds convois, on emploiera de plus fortes machines? Ces machines seront plus lourdes, elles fati-

gueront davantage la voie et consommeront plus de combustible. L'accroissement de la dépense ne sera pas proportionnel à leur poids, mais il s'en faudra qu'il soit nul ¹.

Même observation si l'on se sert des machines à détente variable, généralement usitées aujourd'hui. Quand ces machines remorquent de lourds convois sur de fortes pentes, elles détendent peu et rentrent dès lors dans les conditions de marche des anciennes machines. Elles ne peuvent donc développer le travail nécessaire pendant un temps un peu considérable qu'à la condition d'être munies de chaudières très-grandes et par conséquent très-lourdes.

Ajoutons que si la charge des convois est variable, il vaut mieux employer des machines moins lourdes et y adjoindre des machines de renfort en cas de surcharge.

S'il faut se défier des théories qui ne s'appuient pas sur des faits, il faut également n'admettre qu'avec une grande réserve les conséquences que l'on prétend tirer de données statistiques toujours plus ou moins imparfaites et sujettes à des interprétations diverses. Les différents chemins que M. Teisserenc a cités dans ses tableaux ne sont pas dans les mêmes conditions, et il est probable que si on pouvait se procurer le compte détaillé de leurs frais d'exploitation et qu'on les comparât soigneusement, on parviendrait à expliquer, autrement qu'il l'a fait, l'anomalie qui paraît exister dans les frais de locomotion sur les chemins à faibles ou à fortes pentes. Nous ne nous livrerons pas cependant à des investigations qui nous présenteraient des difficultés probablement insurmontables.

Les données suivantes, fournies par la comptabilité des chemins de fer de Strasbourg et d'Orléans, nous conduiront d'une manière plus sûre à déterminer l'influence des pentes sur la dépense de traction ².

Sur le chemin de Strasbourg on rencontre, entre Bar-le-Duc et Commercy, deux rampes de 8 millimètres inclinées en sens contraire; la première, en partant de Paris, a 10,250 mètres de longueur, et l'autre 9,840 mètres.

¹ Voir la note sur les frais de traction du chemin de Reims, p. 104.

² Voir aussi les renseignements que nous donnons plus loin sur les frais d'exploitation du chemin de Turin à Gènes.

Les convois, lorsqu'ils sont trop lourds pour être remorqués au passage de ces rampes par une seule locomotive, sont aidés par des machines de renfort toujours allumées, les unes stationnant dans le dépôt de Bar-le-Duc, à 12 kilomètres du pied de la première, et les autres dans celui de Lérouville, placé au pied de la seconde. La dépense totale qu'entraîne l'usage de ces machines est de 140,000 fr.; le surcroît de dépense, pour l'entretien, la police et le renouvellement des voies, est d'environ 20,000 fr.⁴ La dépense supplémentaire totale est donc de 160,000 fr.

Le nombre de kilomètres parcourus par les convois qui font usage de machines de renfort est d'environ 47,000 kilomètres sur chacune des rampes, soit, sur les deux rampes, 94,000 kilomètres. La dépense supplémentaire occasionnée par les plans inclinés est donc par kilomètre de 160,000 fr., divisés par 94,000, c'est-à-dire 1 fr. 70 cent.

Les frais de traction et d'entretien de la voie pour un convoi sur les pentes ordinaires maxima de 5 millimètres étant d'environ 1 fr. 20 cent. par kilomètre, ces mêmes frais se trouvent ainsi plus que doublés au passage des plans inclinés.

Toutefois, si la longueur des rampes était plus grande, les mêmes machines de renfort, pourvu que cette longueur ne dépassât pas certaines limites, suffiraient pour en faire le service.

Au chemin de Strasbourg, le dépôt de Lérouville ou un dépôt voisin à Commercy eût été nécessaire, lors même que les rampes n'eussent pas existé. On peut en dire autant du dépôt de Bar-le-Duc. Nous n'avons en conséquence compris, dans la dépense supplémentaire, ni l'intérêt du capital des dépôts, ni le traitement des chefs de dépôt.

Sur le chemin d'Orléans, au contraire, d'après M. Polonceau, ingénieur en chef du matériel de ce chemin, on a été forcé d'établir un dépôt spécial pour le service de la rampe d'Étampes; en sorte

⁴ Les frais d'entretien et de police de la voie sur de faibles pentes étant de 2,500 fr. par kilomètre, nous avons supposé un accroissement de 20 pour 100, soit de 500 francs sur les rampes de 8 millimètres. A ces 500 francs il faut en ajouter autant pour augmentation des frais de renouvellement de matériel fixe, ce qui fait en tout 1,000 francs par kilomètre de dépense supplémentaire applicable au service de la voie, et 20,000 fr. environ pour les deux rampes.

qu'ayant égard à cette circonstance et observant que la fréquence des convois sur le chemin d'Orléans exige la présence de trois machines dans le dépôt d'Étampes, au lieu de deux qui suffisent dans les dépôts du chemin de Strasbourg, on trouve que le supplément de dépense occasionné sur le chemin d'Orléans par la seule rampe d'Étampes est, pour la traction seulement, de 152,000 fr., ce qui diffère peu de celle que nécessite le passage des deux rampes en sens contraire du chemin de Strasbourg.

A ce surcroît de dépense il faudrait encore ajouter l'accroissement des frais d'entretien, de police et de renouvellement des voies.

Sur le chemin d'Épernay à Reims¹, on trouve aussi deux rampes de 9 millimètres inclinées en sens contraire, longues de

¹ Le service de la ligne d'Épernay à Reims comprend trois trains de voyageurs ou mixtes et deux trains de marchandises.

Les trains de voyageurs, à raison du profil en rampes, ne peuvent se faire qu'à l'aide de machines mixtes. Ces machines consomment au moins 2 kilogrammes de coke de plus que les machines à roues libres, et l'usure des bandages beaucoup plus considérable, ainsi que celle des diverses pièces du mécanisme, conduit à un entretien plus coûteux d'environ 0 fr. 04 centimes par kilomètre. Ainsi l'on a : trois trains, à raison de 60 kilomètres, aller et retour, effectuent 180 kilomètres.

Excédant de consommation de coke : 2 kilogrammes à 0 fr. 04 centimes par kilomètre, ou 0 fr. 08 centimes, et pour 180 kilomètres.	14 fr. 40 c.
Usure du bandage, etc., à 0 fr. 04 centimes pour 180 kilomètres.	7 20

TOTAL.	21 fr. 60 c.
----------------	--------------

Quant aux machines à marchandises, elles ne remorquent que la moitié de la charge ordinaire. Donc la dépense de traction est doublée. Cette dépense, pour un train de marchandises, est d'au moins 1 franc 10 centimes. La dépense totale pour deux trains, ou 120 kilomètres, est de 152 francs, dont la moitié, 66 francs, représente l'excédant occasionné par la rampe.

Ainsi, on a par jour :

Excédant pour le service des trains mixtes.	21 fr. 60 c.
— — — — — des marchandises.	66

TOTAL.	87 fr. 60 c.
----------------	--------------

Et pour l'année.	31,974 fr.
--------------------------	------------

A cela, il faut ajouter :

1° L'intérêt et l'amortissement du capital d'acquisition de deux machines et deux tenders qu'exige un service par petits trains, soit.	14,500
--	--------

2° L'accroissement des frais d'entretien, police et renouvellement de la voie, estimé à 1,000 francs par kilomètre, soit, par 19 kilomètres de rampe.	19,000
---	--------

TOTAL.	65,474 fr.
----------------	------------

Le parcours total effectué chaque année étant de 87,600 kilomètres, on a, par kilomètre, environ 75 centimes d'augmentation de dépense.

19,000 mètres; la première, du côté d'Épernay, d'environ 11,000 mètres de longueur, et l'autre, du côté de Reims, d'environ 8,000 mètres. L'existence de ces deux rampes entraîne un accroissement de frais de 65,474 fr. au moins, qui pèse lourdement sur l'exploitation du chemin de Reims.

De ces données on peut conclure :

1° Que, sur un chemin dont la pente, dans une grande partie de la longueur, serait de 8 millimètres et au delà, et dont les convois, généralement chargés à la remonte, nécessiteraient l'emploi fréquent d'une machine de renfort, ou celui d'une machine très-puissante, tel par exemple, que le chemin projeté de Thionville à Arlon, ou le chemin d'Épernay à Reims, les frais de traction seraient notablement plus élevés que sur un chemin à faible pente.

2° Que, sur un chemin également incliné, mais où les convois remontants seraient le plus faiblement chargés, comme, par exemple, sur les deux chemins de Versailles, l'influence de la pente sur la dépense serait peu sensible.

3° Que les frais de traction seraient aussi moins élevés si, comme au chemin de Saint-Étienne à Lyon et sur la plupart des chemins destinés au transport de la houille, les convois de marchandises chargés marchaient presque exclusivement à la descente.

4° Qu'il faut chercher à concentrer les rampes d'une certaine inclinaison sur un certain point en leur donnant une grande longueur plutôt que de les multiplier en les raccourcissant.

5° Qu'il faut autant que possible placer l'origine des fortes rampes en un point où le service de la ligne nécessiterait un dépôt, lors même que les pentes dans le voisinage seraient faibles¹.

6° Que l'accroissement des frais de traction résultant du passage de rampes de 8 à 10 millimètres d'une certaine longueur sur un chemin comme celui de Strasbourg où la totalité des frais de trac-

¹ Dans un premier projet étudié pour l'établissement d'un chemin de fer de Nancy à Épinal, on avait admis plusieurs rampes de 10 à 12 millimètres placées à une certaine distance les unes des autres, et dont chacune aurait nécessité la construction d'un dépôt spécial. Dans un nouveau projet mis à exécution, toutes ces rampes ont été concentrées sur un seul point voisin de la bifurcation de la ligne d'Épinal avec la ligne principale de Paris à Strasbourg, bifurcation placée à Blainville, où il existait déjà un dépôt indispensable pour le service de la grande ligne.

tion s'élève déjà en ce moment à 6,000,000 de francs, est insignifiant.

7° Que l'adoption de ces rampes sur le chemin de Strasbourg est suffisamment motivée par la dépense excessive qu'il eût fallu faire pour réduire l'inclinaison à 5 millimètres, dépense qui eût de beaucoup dépassé le capital dont l'intérêt égale l'accroissement ci-dessus indiqué des frais de traction.

M. Teisserenc peut alléguer sans doute à l'appui de son opinion que, pour les grandes vitesses, la résistance qu'oppose l'air à la marche des convois absorbant une partie considérable du travail développé par les moteurs, les trains de voyageurs pourront être remorqués sur de fortes rampes par des machines de puissance ordinaire moyennant un ralentissement convenable. Mais ce fait cesse d'être vrai pour les convois de marchandises marchant à une vitesse moyenne de 7 mètres par seconde.

Dans cette dernière condition, la résistance de l'air n'est plus qu'une fraction peu importante de l'effort de traction total, et il en résulte que, malgré une diminution notable de vitesse, la résistance totale du convoi croît très-rapidement avec l'inclinaison de la voie.

Or il est reconnu que le transport des marchandises n'est réellement avantageux que s'il se fait à charges complètes.

Il devient donc évident que les convois de marchandises auront besoin, sur les parties les plus inclinées de la voie, de tout le travail que peut développer la machine, et qu'ils ne pourront franchir les fortes rampes qu'à l'aide de machines de renfort.

M. Lechatelier professe une opinion semblable à la nôtre sur l'influence des pentes en ce qui concerne les frais d'exploitation; voici les termes dans lesquels il s'exprime dans son ouvrage sur les chemins de fer d'Allemagne :

« Les fortes pentes sont nécessairement une source de dépenses pour l'exploitation des chemins de fer. On ne doit évidemment les admettre dans un tracé qu'autant que les frais de travaux d'art et de terrassement nécessaires pour les éviter sont beaucoup plus considérables que le capital correspondant à l'augmentation des frais d'exploitation prévus. Il ne suffit pas que les charges imposées à la traction paraissent être sensiblement inférieures à l'intérêt du capi-

tal excédant qui serait déboursé pour éviter ces pentes ; il faut tenir compte aussi du développement progressif des chemins de fer, de l'importance inappréciable aujourd'hui que prendra leur trafic dans un certain nombre d'années, et ne sacrifier l'exploitation qu'en présence d'économies considérables à réaliser sur la construction.»

M. le comte Daru, dans son rapport à la Chambre des pairs sur le chemin de fer du Nord, a également combattu l'opinion de M. Teisserenc.

« Les chemins à fortes pentes, dit-il, n'ont pas, ainsi qu'on l'a prétendu, une supériorité économique sur les chemins à faibles pentes, loin de là. Cette thèse, soutenue récemment, n'est pas vraie. Les exemples sur lesquels on s'est appuyé pour essayer de la faire prévaloir n'ont rien de démonstratif. On ne peut pas en effet comparer les chemins d'Angleterre à plans inclinés, établis et exploités avec la plus grande économie, parce que ce sont justement ceux où la circulation est la plus faible, avec ces grandes lignes dont la construction a exigé des capitaux énormes, qui ont un mouvement immense de voyageurs, perçoivent de hauts tarifs et sont administrées dans un esprit et dans des conditions absolument différents. Sur ces voies, on n'épargne ni dépenses de commodité ni même dépenses de luxe pour satisfaire le public. Souvent il arrive que, pour diminuer les chances d'un faible retard, on double le moteur strictement nécessaire à la traction du convoi. De là des augmentations de frais ; de là aussi il résulte que les deux appareils locomoteurs, les deux mécanismes, ne sont nullement comparables. Ils portent le même nom, mais ils ne se ressemblent pas.

« La vérité est qu'une augmentation dans les pentes n'accroît pas autant qu'on se l'est imaginé dans le principe la dépense de traction. Ces prévisions théoriques ne sont pas dans cette matière plus que dans beaucoup d'autres réalisées par l'expérience. On peut, en roidissant les inclinaisons, obtenir une diminution sensible dans les frais de premier établissement sans nuire à un bon service. Il peut donc y avoir avantage à le faire ; mais l'exploitation se trouve par suite grevée d'une charge additionnelle, certaine, inévitable. »

M. Couche, enfin, exprime son opinion sur l'admission des fortes pentes dans les termes suivants : « Loin de modifier les idées reçues

sur l'influence des rampes en général, l'expérience n'a fait que confirmer les inconvénients qu'elles entraînent, même sous une faible inclinaison, dès que leur longueur exige l'établissement d'une vitesse uniforme. Très-courtes même, elles constituent une charge réelle pour l'exploitation quand elles coïncident avec des courbes prononcées, quand une station principale est placée à leur pied, etc., etc. Dans tous les cas, enfin, elles affectent bien plus gravement le service des marchandises que celui des voyageurs. Les sacrifices faits à l'abaissement de la limite des rampes sont donc fondés dans des circonstances ordinaires, c'est-à-dire quand on peut, à ce prix, éviter des conditions spéciales pour la traction.

« Mais il en est tout autrement dans les cas extrêmes où il faut, quoi qu'on fasse, accepter des inclinaisons exceptionnelles.

« Aujourd'hui les locomotives laissent à cet égard aux ingénieurs une grande latitude dont ils devront user largement.

« Les rampes très-inclinées, telles que celles du Sømmering, dont l'inclinaison est de 0,025, ne doivent toutefois, dit M. Couche¹, être admises qu'à la dernière extrémité et quand il faut recourir à tous les moyens pour frayer un passage au chemin de fer. »

Après avoir cité les ouvrages de MM. Teisserenc, Lechatelier, Daru et Couche, sur l'influence des pentes, nous devons appeler aussi l'attention de nos lecteurs sur une publication de M. Minard, publication qui a porté de vives lumières sur cette question dans un moment où elle était encore très-obscur pour un grand nombre d'ingénieurs.

Nous nous sommes longuement étendu sur la question de l'influence des pentes sur la dépense d'exploitation, parce qu'elle est grave, qu'elle a été fort controversée, et que d'ailleurs l'opinion d'un écrivain aussi habile que M. Teisserenc ne devait pas être rejetée sans une discussion approfondie.

Nous n'avons pas examiné jusqu'à quel point l'adoption du système Arnoux pourrait influencer sur le choix des tracés, attendu que nous nous réservons d'exprimer notre opinion à cet égard en traitant plus spécialement des nouveaux systèmes de locomotion.

¹ *Annales des mines.*

S'il est essentiel de régler convenablement l'inclinaison des rampes sur un chemin de fer, leur mode de répartition n'est pas non plus sans importance.

Nous avons déjà établi qu'il fallait autant que possible concentrer les rampes sur un même point et dans le voisinage d'un dépôt de machines ; nous ajouterons que *les pentes variées, même d'une assez faible inclinaison, sont peu favorables à l'emploi des machines locomotives* ; car, si les pentes et les contre-pentes ne se succèdent pas de manière que les machines puissent remonter les rampes au moyen de la vitesse acquise sur les pentes descendantes qui les précèdent, on ne peut leur faire remorquer que la charge compatible avec leur adhérence et leur force sur les pentes les plus roides. Si, au contraire, les rampes sont assez courtes pour que l'ascension puisse avoir lieu sans un accroissement de force et sans ralentissement notable, les machines lancées avec toute leur puissance à la descente souffrent beaucoup de la vitesse excessive qu'elles acquièrent par moments. Cette dernière observation est également applicable au mode de tracé proposé par un ingénieur écossais et qui consisterait à diviser le profil en parties de niveau et en plans inclinés de petite longueur, en sorte que les machines puissent remonter les plans inclinés au moyen de la vitesse acquise sur les paliers. En outre, si les machines ainsi lancées sur les paliers venaient à rencontrer un obstacle qui en diminuerait un instant la vitesse, on ne pourrait les ramener à l'extrémité du palier pour les lancer de nouveau.

Cette raison seule suffirait pour faire rejeter ce profil, lors même qu'on n'y serait pas conduit par d'autres considérations théoriques.

Si, toutefois, la raison d'économie, devant laquelle le principe technique des pentes uniformes doit aussi plier, oblige à préférer une pente variée, il faut diviser, autant que possible, les lignes en parties sur lesquelles l'effort varierait du simple au double, ou à peu près.

Lorsque, au lieu de machines, on emploie des chevaux pour le halage, les pentes variées, convenablement disposées, sont préférées aux pentes uniformes. Le cheval se fatigue moins d'un effort varié

que d'un effort constant. Il n'est personne, ayant l'habitude de voyager à pied, qui n'ait reconnu que l'homme, ainsi que le cheval, se fatigue moins en parcourant une même distance sur un sol accidenté que sur un terrain parfaitement uni.

Une inclinaison très-avantageuse est celle pour laquelle l'effort du moteur est le même dans les deux sens, eu égard à la différence du chargement à la descente et à la remonte.

Tout ce que nous avons dit de l'influence qu'exercent les fortes pentes sur la dépense d'exploitation, nous pourrions le répéter pour les courbes de petit rayon.

Sous le rapport de l'économie de premier établissement, les courbes de petit rayon sont avantageuses, puisqu'elles permettent de tourner les difficultés au lieu de les vaincre au moyen de grands travaux d'art et de terrassement; mais elles exercent sur les frais de traction la même influence que les fortes pentes, elles forcent à réduire la vitesse des trains.

Ainsi, sur le Great-Northern railway, en Angleterre, dont le tracé est presque rectiligne, les trains express marchent à une vitesse de 75 à 76 kilomètres par heure. Sur le chemin de Londres à Birmingham, où les courbes sont de grand rayon, à la vitesse de 71 à 72 kilomètres. Sur le chemin de Birmingham à Gloucester, où les courbes sont de petit rayon, la vitesse des trains les plus rapides, dans les parties où se trouvent ces courbes, ne dépasse pas 50 kilomètres, et, sur celui de Newcastle à Carlisle, 45 à 48 kilomètres.

Sur nos grandes lignes françaises de l'Est, de Lyon et de Rouen, la vitesse de marche des trains express est de 60 à 66 kilomètres, et sur le chemin du Nord de 70 à 75 kilomètres. Sur le chemin d'Orléans, elle est plus faible; mais cela ne tient pas au tracé du chemin. Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, où le rayon des courbes est généralement de 500 mètres, la vitesse maximum des trains en marche remorqués par des locomotives à la remonte entre Givors et Rive-de-Gier est de 42 kilomètres.

Sur les chemins allemands, dont le tracé est très-tourmenté, la plus grande vitesse des trains de voyageurs en marche est de 45 à 50 kilomètres.

Il est enfin un élément des frais d'exploitation sur lequel les

courbes de petit rayon agissent d'une manière très-fâcheuse, ce sont les frais d'entretien du matériel et de la voie.

En effet, le frottement des rebords des roues contre les rails et celui qui résulte du glissement des roues sur ces rails donnent lieu à une usure rapide des surfaces frottantes, aussi bien que celui que produit l'emploi des freins à la descente sur les fortes pentes.

Le tracé des embranchements n'exige pas la perfection que réclame celui des lignes principales.

Longtemps, en France, l'administration des ponts et chaussées s'est montrée d'une sévérité outrée lorsqu'il s'agissait de l'approbation des tracés qui lui étaient soumis par les Compagnies; mais elle n'avait pas encore construit de chemins de fer elle-même; éclairée aujourd'hui par sa propre expérience, elle est devenue beaucoup moins exigeante, et s'est même occupée tout dernièrement de l'étude d'un système de construction économique pour les embranchements.

Les embranchements sont une source de prospérité pour les grandes lignes; ce sont des rameaux qui fécondent le tronc. *Une des conditions auxquelles doit satisfaire le tracé de tout chemin destiné à unir de grands centres de population est donc de se prêter aisément à l'établissement de lignes secondaires.*

Les anciennes Chambres, appelées à se prononcer sur deux tracés proposés pour un chemin de fer entre Belfort et Besançon, l'un par la vallée du Doubs, l'autre par celle de l'Ognon, avaient opté pour ce dernier, en grande partie parce qu'il offrait pour la création d'embranchements plus de facilité que le premier.

Les voyageurs ne recherchent pas seulement, dans les chemins de fer, la rapidité et l'économie des transports, ils veulent aussi voyager sûrement. Il est par conséquent du devoir du gouvernement de prescrire aux Compagnies, dans le tracé des chemins de fer, certaines règles qui en rendent le parcours le moins dangereux possible; il est aussi de l'intérêt des Compagnies de ne jamais oublier que la sûreté est, aussi bien que l'économie des transports, une des principales conditions d'un bon tracé.

L'administration s'est montrée souvent trop facile pour admettre les tranchées ou les souterrains courbes, surtout aux abords des

stations. Rien n'est plus dangereux. Plusieurs accidents, celui de Bonnières, par exemple, sur le chemin de Rouen, le prouvent assez. Il importe que les convois puissent être aperçus d'une certaine distance; et cette condition n'est remplie que sur des parties rectilignes, ou lorsque les courbes sont en remblai. Il n'est pas toujours possible d'éviter une tranchée ou un souterrain courbe, mais encore faut-il les multiplier le moins possible, et, quand ils deviennent absolument nécessaires, en éloigner les stations et les faire précéder ou suivre par de longs alignements.

Les courbes de trop petit rayon, non-seulement augmentent les frais d'exploitation, mais encore deviennent une cause d'accidents.

On s'effraye également des fortes pentes, parce qu'on suppose que sur ces pentes il est impossible de contenir les convois. Ces pentes ne sont certainement pas sans danger, mais on en calculait mal les effets lorsqu'on proscrivait les pentes dépassant 5 millièmes, comme exposant les voyageurs à la descente à de nombreux accidents.

Il est reconnu aujourd'hui que, sur une pente de 1 centième en ligne droite, la résistance de l'air devient telle, à la vitesse de 60 à 70 kilomètres par heure, que les convois abandonnés à eux-mêmes ne peuvent la dépasser, et que, sur les plus fortes pentes en usage, les freins et les machines locomotives, agissant elles-mêmes comme les freins les plus puissants lorsqu'on renverse la vapeur, peuvent toujours arrêter les convois.

Ce ne serait donc que si, par hasard, un ou plusieurs waggons, en stationnement, se trouvaient poussés par une cause quelconque, telle que le vent, sur de fortes pentes, ou enfin si une partie du convoi s'en séparait par suite de la rupture d'une partie des chaînes d'attelage, qu'il pourrait résulter des accidents provenant de la trop grande inclinaison de la voie. Ce cas se présente malheureusement trop souvent, et il est miraculeux que jusqu'à ce jour aucun accident grave ne puisse être attribué à un événement de ce genre, surtout sur les chemins à fortes pentes, car la chance d'accident croît avec l'inclinaison du chemin. C'est, un jour, sur le chemin de Versailles (rive gauche), un train tout entier, chargé de voyageurs, qui est chassé par le vent sur une pente de 1 centième à la sortie

de la gare de Versailles et qui descend vers Paris avec une vitesse toujours croissante sur la pente de 4 millièmes, qui fait suite à celle de 1 centième. Un habile mécanicien, M. Caillet, aujourd'hui chef de la traction au chemin de fer Grand-Central, court après le train avec une machine locomotive, parvient à le rattraper, le suit doucement et s'accroche enfin au dernier waggon. Une autre fois, sur le chemin de Lausanne à Morges, un train de ballast, descend de Lausanne à Morges, sur la pente de 1 centième, et vient briser, heureusement sans accidents pour les hommes, tout ce qu'il rencontre dans la gare de Morges; sur le Sœmmering, un train de matériaux destinés aux réparations roule en arrière, acquiert bientôt une vitesse terrible, et eût certainement tué quarante ouvriers se trouvant dans le souterrain, si, l'entendant de loin venir, ils n'eussent jeté sur la voie tout ce qu'ils avaient sous la main et ne l'eussent ainsi forcé à quitter les rails; vers Prague, un train de vingt-cinq waggons de houille se détache, descend et rencontre une machine qu'il brise, et dont il tue le mécanicien ainsi que les deux chauffeurs; sur le chemin de Lyon, enfin, deux waggons chargés de pierre descendent de la station de Verrey au-devant d'un train de voyageurs, sur la pente de 1 centième, et viennent se briser eux-mêmes contre la machine, qui, fort heureusement, résiste au choc.

Une autre cause d'accident très-redoutable à laquelle on ne paraît pas attacher toute l'importance qu'elle mérite, c'est la multiplicité des passages à niveau.

Passages à niveau. — *Les passages à niveau, quand, sur des alignements ou sur des courbes en remblais, on peut les apercevoir de loin, ne sont pas dangereux; mais il en est tout autrement s'ils se trouvent à l'extrémité de tranchées ou de souterrains courbes.*

Ainsi, sur le chemin de Versailles (rive gauche), l'administration, pressée par les sollicitations de la Compagnie, qui avait épuisé ses capitaux, a toléré plusieurs passages à niveau qui, placés dans ces dernières conditions, ont failli occasionner des accidents.

Les réclamations des Compagnies, lorsqu'il s'agit de passages à niveau, sont d'autant moins fondées, qu'en général l'intérêt du ca-

pital qu'exige un pont remplaçant un passage de niveau ne dépasse pas le traitement d'un garde-barrière. L'administration ne devrait donc y céder que lorsque la nature du terrain ne permet l'établissement d'un pont qu'au prix de dépenses très-grandes.

Il faut aussi éviter de placer des passages à niveau à l'extrémité des gares.

Sur le chemin de Strasbourg, à l'entrée de la gare de Vitry, on en a établi un qui présente de très-graves inconvénients. Avant la construction récente d'une grue hydraulique spéciale pour les trains de marchandises, toutes les manœuvres se faisaient sur ce passage à niveau, et les barrières restaient souvent fermées pendant un si long espace de temps, qu'il a été constaté, dans une enquête faite à ce sujet, qu'au passage de ces trains, qui se suivent de très-près, la circulation se trouvait interdite pendant près de deux heures. Aujourd'hui la manœuvre est un peu moins gênante pour la circulation sur la route, mais elle n'en donne pas moins lieu à des temps d'arrêt très-fâcheux.

On eût évité ce passage à niveau en construisant un viaduc, ou, préférablement, en reculant la gare de 160 mètres environ. Sur le même chemin, on trouve des passages à niveau placés également à l'entrée des gares, à Lagny et à Bar-le-Duc.

Gares de rebroussement. — Les points de rebroussement dans les gares, sans présenter les mêmes dangers que les passages à niveau mal placés, peuvent aussi, en compliquant le service, devenir l'occasion d'accidents plus ou moins graves. Ils ont d'ailleurs pour conséquence une perte de temps, et, par suite, une perte d'argent. Ils changent la position des waggons dans les convois, de telle façon que les voyageurs ou les marchandises qui étaient placés en tête se trouvent placés en queue. Cette espèce de renversement des trains est désagréable pour les voyageurs et dangereux pour les marchandises. On a vu, sur le chemin du Nord, un waggon chargé de chiffons, qui, passant de la queue à la tête du convoi, a été incendié par la machine. Les rebroussements, enfin, en allongeant le parcours, augmentent le péage.

Il ne faut donc recourir, dans les tracés, aux rebroussements que dans quelques cas particuliers où ils deviennent indispensables

pour se rapprocher du centre des villes, et encore est-il nécessaire, dans ce cas, d'établir des courbes de raccordements pour éviter aux convois directs de pénétrer dans la station où ils seraient obligés de rebrousser.

Sur les chemins de fer français, il existe cependant plusieurs gares à points de rebroussement : celles d'Orléans, de Tours, d'Amiens, de Douai, de Lille, de Valenciennes et de Metz.

« Dans le tracé des chemins de fer allemands, dit M. Lechatehier, on ne s'est pas assez préoccupé des inconvénients que présentent les stations récurrentes. Cela tient en partie à ce qu'en Allemagne la plupart des lignes ont été projetées ou exécutées isolément et sans vues d'ensemble. Il est possible même que, dans quelques endroits, on se soit proposé, dans un intérêt mesquin de localité, de gêner le passage des voyageurs pour les retenir et prélever sur eux des impôts de séjour et de consommation.

« On doit, en France, où l'exécution des chemins de fer est favorisée par un élément qui manque partout ailleurs, la centralisation, éviter tout ce qui peut faire obstacle à la circulation rapide d'une extrémité à l'autre du territoire. On tend maintenant à abréger la durée du trajet sur les chemins de fer ; c'est en diminuant la durée des arrêts qu'on y parviendra sans inconvénient et sans courir les risques d'une vitesse exagérée. »

Souterrains. — *Le passage des souterrains n'est pas, comme on l'a prétendu, nuisible à la santé des voyageurs ; il convient cependant de réduire autant que possible le nombre et la longueur des tunnels, non-seulement par raison d'économie, mais encore pour l'agrément des voyageurs et dans le but de diminuer les chances d'accidents. La configuration du terrain force assez souvent d'en percer de très-longs. Il est important qu'ils soient autant que possible rectilignes.*

Les fortes pentes sont plus nuisibles dans les souterrains que dans toute autre partie du chemin. L'humidité empêchant la boue qui imprègne les rails de sécher, l'ascension de fortes rampes y devient très-pénible. Il faut donc s'appliquer à les éviter plus encore sous les tunnels qu'à ciel ouvert.

Au chemin de Turin à Gènes, on a reconnu que les trains qui

remontent facilement les convois sur une rampe de 3 centièmes $1/2$ à ciel ouvert sont fréquemment obligés de s'arrêter ou ne peuvent avancer que péniblement sur la rampe de $28^{\circ},68$ en souterrain.

Compensation des déblais. — *Dans le tracé des routes de terre on cherche ordinairement à compenser les déblais par les remblais. Plusieurs ingénieurs ont cru devoir, à tort, étendre cette règle au tracé des chemins de fer.*

Sans doute, lorsque le volume des déblais dépasse celui des remblais, on est forcé de déposer l'excédant des terres extraites des tranchées, et, si ce volume lui est inférieur, d'emprunter les terres qui manquent pour compléter les remblais. De là des extractions ou des mouvements de terre souvent coûteux dont on se fût dispensé en compensant les déblais par les remblais. Mais, si, pour éviter ces terrassements et ces manœuvres, l'ingénieur s'est attaché à établir cette compensation, il peut en résulter la nécessité d'ouvrir de très-grandes tranchées dont l'exécution est toujours longue et difficile, s'il faut en porter toutes les terres sur l'axe du chemin, ou de creuser des tranchées dans des terrains glaiseux qui ne fournissent que de très-mauvais produits pour la confection des remblais adjacents. Dans le premier cas, l'économie n'est qu'apparente, car elle est plus que compensée par les pertes d'intérêts qui sont la conséquence d'un accroissement de durée des travaux, et qui, pour un chemin de fer, peuvent être énormes. Dans le second, la dépense peut dépasser de beaucoup les prévisions. En fût-il autrement d'ailleurs, le danger des éboulements auxquels on est exposé de la part des talus glaiseux de la tranchée ou des remblais en mauvaise terre est bien plus redoutable pour un chemin de fer que pour une route.

Il faut, par conséquent, détourner souvent le tracé d'un chemin de fer pour éviter certains terrains difficiles, ou recourir aux dépôts et aux emprunts.

Influence du vent et des neiges. — On a été conduit, en étudiant le chemin de Trieste à Venise, à reconnaître qu'un certain tracé, qui d'abord avait obtenu la préférence, laissait les trains exposés, pendant la plus grande partie de leur trajet, à des vents dont la violence et la continuité seraient un obstacle très-grave pour le service, et on a renoncé à ce tracé.

Il importe donc, en étudiant le tracé des chemins de fer, de se rendre compte de l'action que les vents pourraient avoir sur la marche des convois.

Il faut aussi, dans les pays de montagnes surtout, diriger les tracés de manière à se préserver, autant que possible, des amas de neige.

○ *Toutefois la neige est moins redoutable qu'on ne l'a supposé.*

On a exprimé la crainte que, dans les pays de montagnes et même dans les pays de plaine, où le froid est rigoureux, elle ne devînt un obstacle insurmontable à l'exploitation des chemins de fer en hiver. Cette crainte n'est pas fondée.

Sur les chemins de Bavière et du Wurtemberg, qui se trouvent dans des conditions bien plus difficiles à l'égard des neiges que la plupart des chemins français, puisqu'ils ont à franchir des chaînes de montagnes assez élevées, on a employé, pour se garantir, sinon complètement, au moins en grande partie, de l'accumulation des neiges mouvantes, différents moyens que M. Muntz, ingénieur civil, a décrits dans le journal l'*Ingénieur*, et que nous ferons connaître plus loin.

○ Nous avons chargé M. Goschler, ancien élève de l'École centrale, ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, envoyé par la Compagnie en Suisse et en Allemagne, de recueillir également des renseignements à cet égard sur les lignes qui traversent des chaînes élevées, et nous en avons obtenu de M. Sauvage, ingénieur en chef de la traction de la même Compagnie sur le chemin de Saint-Petersbourg à Moscou. De ces renseignements il résulte que différentes circonstances, telles que la direction des vents, la latitude, la présence ou l'absence de grands arbres dans le voisinage de la ligne, exercent une certaine influence sur la quantité de neige qui peut s'accumuler sur la voie, mais que, dans tous les cas, on emploie des moyens tels que les interruptions de service, même dans les localités les moins favorisées, dépassent rarement deux ou trois jours.

○ En 1852, 1853 et 1854, d'après les renseignements fournis par M. Sauvage, le chemin de fer de Saint-Petersbourg à Moscou n'a pas été intercepté un seul jour par suite des neiges. Il était alors procédé à leur enlèvement en régie par les soins de l'administra-

tion. Depuis, ce travail a été compris dans l'entretien de la voie et donné comme le reste à l'entreprise. On a eu une interruption de deux jours en 1855 et d'un jour en 1856.

Les renseignements très-intéressants et très-détaillés qui nous ont été fournis par M. Goschler, ayant trait à l'exploitation plutôt qu'à la construction, seront reproduits aux documents. Ceux qu'a publiés M. Muntz, concernant la construction, trouveront leur place dans le texte.

Conditions stratégiques. — Le tracé d'un chemin de fer répondrait-il aux besoins du commerce et offrirait-il aux voyageurs toute la sûreté possible, cela ne suffirait pas encore : il faut aussi qu'il soit habilement combiné pour la défense du pays.

On divise en général les voies de fer stratégiques en voies parallèles à la frontière et voies perpendiculaires.

Il est essentiel que les voies parallèles, surtout si elles sont voisines de la frontière, soient protégées par un obstacle naturel quelconque, tel qu'un grand fleuve ou un rempart de hautes montagnes.

Les voies stratégiques, destinées à porter rapidement les troupes à de grandes distances, doivent être le plus directes possible. Elles n'ont, au point de vue militaire, que les places fortes pour stations. Elles doivent être tracées de manière à ne fournir à l'ennemi, aux abords de ces places, aucun abri soit dans les tranchées, soit dans les remblais, contre le feu des batteries. Les lignes qui peuvent être *enfilées* par le feu de la défense sont considérées comme bien préférables à celles qui ne peuvent être battues que transversalement.

On doit aussi éviter, aux abords des places fortes, les tranchées qui peuvent donner écoulement aux eaux de l'inondation, et tout ouvrage d'art difficile à détruire et qui pourrait livrer passage aux assaillants. Quelquefois on loge le chemin de fer dans les fossés de la place (Belfort).

Après ces considérations générales sur le tracé des chemins de fer, passons aux opérations qui en constituent l'étude proprement dite.

Étude proprement dite. — Cette étude n'est plus, en France du

moins, exclusivement abandonnée aux ingénieurs. Le gouvernement, représenté par le conseil d'État et par une commission consultative composée d'hommes distingués, choisis dans toutes les branches de la haute administration, en prend aussi sa part. Il étudie le tracé au point de vue de la politique et de la défense du pays; les ingénieurs ou les Compagnies l'étudient au point de vue de la spéculation. La tâche des Compagnies se trouve donc ainsi simplifiée, car le gouvernement les renferme dans un cercle d'où il ne leur est pas permis de sortir. Il limite le nombre des directions sur lesquelles les Compagnies peuvent arrêter leur choix. Quelquefois même il prescrit celle qu'il considère comme étant la seule à laquelle il puisse donner son approbation, ou il la fait étudier par ses propres ingénieurs. Les projets de tracés fournis par les Compagnies ne peuvent d'ailleurs être mis à exécution qu'après avoir été soumis successivement à l'examen du conseil des ponts et chaussées, du comité du génie et de la commission consultative, qui les rectifient, s'il y a lieu, dans l'intérêt des localités et de la défense du pays.

Les Compagnies, ainsi débarrassées du soin de sauvegarder les intérêts généraux, n'ont qu'à rechercher le tracé le plus avantageux financièrement parlant, en sorte que la question peut se poser pour leurs ingénieurs à peu près en ces termes : Quel est le tracé qui, eu égard à la dépense et aux revenus, procurera, dans un certain temps, les plus grands bénéfices?

C'est en nous plaçant à ce point de vue que nous allons essayer d'y répondre.

Calcul du bénéfice. — Nous appelons bénéfice la différence entre le revenu et les frais d'exploitation, en comprenant dans ces frais d'exploitation non-seulement les dépenses de traction immédiate, d'entretien du chemin et les frais généraux, mais encore l'intérêt du capital engagé dans la construction. Les revenus se composent des taxes prélevées sur les voyageurs et sur les marchandises transportés par le chemin, taxes qui sont ordinairement perçues à raison de tant par voyageur ou par tonne de marchandises transportés à 1 kilomètre. Le meilleur tracé sera donc, pour une même circulation et une même longueur de parcours, celui pour lequel les

frais d'exploitation par voyageur ou par tonne de marchandises et par kilomètre, y compris l'intérêt des capitaux et dépenses d'entretien, seront un minimum.

Mais, dès qu'on aborde le calcul de ces frais, on ne peut manquer de faire une observation importante, c'est que la dépense d'exploitation calculée pour une certaine unité, tonne de marchandises ou voyageur, se divise en deux parties distinctes : la première, qui, diminuant lorsque la quantité totale de voyageurs ou de marchandises augmente, comprend les intérêts, l'amortissement du capital, et les frais d'administration, entretien, etc., etc. ; la seconde, qui, tout à fait indépendante de cette quantité, se compose des frais de traction immédiate. Or, généralement, lorsque, pour améliorer le chemin, on augmente le capital engagé dans la construction, les frais de traction diminuent et les frais d'entretien peuvent, suivant les circonstances, diminuer, augmenter ou rester stationnaires. Si donc, dans ce cas, la diminution opérée par l'amélioration du chemin sur les frais de traction et sur les frais d'entretien, pour chaque tonne de marchandises ou pour chaque voyageur, excède la portion d'intérêt et d'amortissement du nouveau capital dont cette amélioration grèvera le transport de la tonne ou du voyageur, il est clair que la somme des frais d'exploitation sera réduite, et que, par conséquent, l'amélioration sera motivée.

Mais la diminution sur les frais de traction produite par des améliorations dans le tracé sera indépendante de la circulation sur la route ; les intérêts au contraire et l'amortissement du nouveau capital, par unité transportée, deviendront d'autant plus faibles que la circulation sera plus active. Nous arrivons ainsi à poser ce principe, que nous avons déjà indiqué dès le commencement de ce chapitre :

Le tracé le plus parfait au point de vue technique n'est pas toujours le plus convenable. Il n'est généralement avantageux d'améliorer un chemin de fer et même une voie de communication quelconque, ou, en d'autres termes, d'adopter, pour ce chemin ou cette voie de communication, un mode de construction et un tracé plus parfait, en augmentant le capital engagé, que lorsque la circulation est plus active.

Ce n'est là qu'une conséquence de ce grand axiome industriel que les manufactures assurées d'un grand débit peuvent et doivent seules employer les machines les mieux construites et les plus coûteuses. Quelque évident qu'il soit, on l'a si souvent oublié dans l'étude des chemins de fer, qu'il nous a paru nécessaire de ne pas traiter la question des tracés sans commencer par le rappeler.

Revenons actuellement à la comparaison des tracés possibles pour une même ligne.

Comparaison des tracés au point de vue de la spéculation. — Comparer différents tracés, avons-nous dit, ce n'est ordinairement pour l'ingénieur qu'en rapprocher les revenus et les dépenses. Rien de plus facile en apparence que ce travail ; suivons cependant l'ingénieur dans ses opérations, et nous verrons combien, dans certains cas, elles exigent d'étude, de connaissances spéciales et de talent.

Nous avons montré précédemment que le choix d'un tracé dépendait autant de la circulation présumée que de la configuration du terrain. La première question dont l'ingénieur ait à s'occuper est donc celle du *tonnage* probable en voyageurs et en marchandises. On apprécie facilement les nombreuses difficultés qui se présentent pour réunir les éléments d'une réponse.

Ce travail achevé, l'ingénieur étudiera le terrain, d'abord au moyen de la carte seulement, marquant entre les deux points extrêmes ceux par lesquels il sera important de passer, puis il tracera les lignes qui, touchant à ces différents points, paraîtront le plus convenables pour le tracé d'une voie de communication.

Lorsque la configuration du sol permet de poser les chemins à peu près en ligne droite sans travaux extraordinaires, le choix est facile ; mais, dans les pays accidentés, il se présente un grand nombre de lignes qui paraissent au premier abord satisfaire aux conditions exigées pour le meilleur tracé. Chacune a ses avantages particuliers et ses inconvénients, qu'on ne peut apprécier avec exactitude sans avoir obtenu par des opérations géodésiques un relief du terrain. Ces opérations sont toujours coûteuses, et l'on doit éviter de les multiplier ; il faut donc que l'ingénieur, doué d'un coup d'œil sûr et rapide, choisisse à la seule inspection du terrain

celles qui doivent faire l'objet d'études spéciales, puis qu'il détermine par des nivellements la hauteur des différents points du sol, suivant chacune de ces directions et à quelques dizaines de mètres à droite et à gauche.

Il lui reste ensuite à *profiler* ses tracés, c'est-à-dire à en déterminer les pentes. C'est alors surtout qu'il est obligé de déployer une grande sagacité, car on conçoit qu'entre deux points donnés, sans même s'écarter d'une certaine direction, il existe un grand nombre de profils différents possibles. Si, par exemple, ces deux points sont séparés par une montagne, on peut, en suivant toujours la même ligne, gravir la montagne d'un côté jusqu'au sommet pour ensuite descendre de l'autre côté, ou bien ne la gravir que jusqu'à une certaine hauteur et la traverser par un souterrain, ou enfin ouvrir un souterrain dès qu'on en atteindra le pied. On peut aussi, dans une vallée, suivre toutes les sinuosités auxquelles donne lieu la projection des contre-forts ou coteaux qui s'avancent de l'un ou de l'autre côté, ou abréger le chemin en coupant ces contre-forts.

L'ingénieur a donc à choisir en même temps entre plusieurs directions et plusieurs profils, et il n'a, pour calculer les avantages respectifs de ces différents tracés, que des données très-variables ou très-incertaines : le chiffre du tonnage, sur lequel on se trompe presque toujours, les frais de construction, dont un des éléments, l'indemnité aux propriétaires, est surtout bien difficile à apprécier, et enfin les frais d'exploitation, qu'on est loin encore de pouvoir établir avec une parfaite exactitude.

Il ne faut pas s'étonner par conséquent des défauts qu'on a signalés dans le tracé de presque tous les chemins de fer exécutés jusqu'à ce jour.

« Les voies de cette espèce aujourd'hui en activité, disait M. Paulin Talabot, directeur du chemin de Lyon à la Méditerranée, dans un mémoire inédit écrit il y a déjà quelques années, ont été exécutées à peu près au hasard et sans que l'ingénieur ait pu se rendre compte des conditions du problème qu'il avait à résoudre.

« Ainsi le chemin de Darlington à Stockton, desservi aujourd'hui par des machines, devait l'être par des chevaux dans la plus grande partie de sa longueur. On n'a déterminé le système des moteurs

qu'on emploierait sur le chemin de Liverpool qu'après que ce chemin a été exécuté, renversant ainsi l'ordre logique, qui voulait que le tracé fût fait pour le moteur, et non le moteur pour le tracé. Ce n'est pas seulement sur le choix du moteur que l'on s'est trompé dans l'étude du chemin de Liverpool à Manchester ; les erreurs commises sur le chiffre et la nature du tonnage n'ont pas été moins graves : cette ligne avait été tracée dans la prévision d'un transport considérable de marchandises à la vitesse de 16 à 20 kilomètres par heure ; aujourd'hui, au contraire, elle sert au transport d'un grand nombre de voyageurs à grande vitesse, et d'une quantité médiocre de marchandises.

« Les machines locomotives ne ressemblent en aucune manière à celles que l'on employait avant la construction de ces deux railways. Le poids, la force, la vitesse, le mode de construction de ces machines, tout cela a changé, tout cela varie encore tous les jours. »

Ce que M. Talabot disait du tracé des chemins de Liverpool à Manchester et de Darlington à Stockton, construits il y a vingt-cinq ou trente ans, on peut le dire également de celui de chemins beaucoup plus récemment établis. Aujourd'hui plus que jamais on altère à chaque instant et le mode de construction et la puissance des machines. Le problème du tracé d'un chemin de fer, toutes les fois qu'on se sert de machines, est, comme l'a dit avec beaucoup de justesse M. Minard, un véritable problème de mécanique. Le chemin et son système de chariots et de locomotives ont entre eux une telle corrélation, qu'on ne saurait les considérer isolément ; car la moindre imperfection dans l'une des parties, le moindre défaut d'harmonie entre ces différents objets, ont une influence destructive sur l'ensemble. Ils forment par leur réunion un seul et même appareil, une immense machine.

Comment donc poser des principes absolus pour le tracé des chemins de fer, même en se bornant à étudier la question au point de vue technique et financier, comment surtout y appliquer le calcul mathématique, lorsqu'on manque de données pour estimer exactement la résistance dans certains cas¹, et que chaque jour

¹ On manque complètement de bases pour apprécier la résistance dans les courbes de différents rayons, à différentes vitesses, avec un matériel donné.

amène d'importants changements dans le matériel ou même dans l'art de les construire? On est réduit, nous regrettons de le dire, à se contenter de quelques règles empiriques déduites de l'étude des chemins de fer déjà établis, règles dont la plus grande partie a déjà été exposée précédemment en traitant des considérations générales qui doivent présider au choix des tracés, et qui se trouveront complétées par l'indication des limites de courbure ou de pentes adoptées dans certains cas donnés pour le tracé des chemins de fer.

Limites de courbure. — Les courbes sur les chemins de fer à *grandes vitesses* les mieux exécutés ont en général de 800 à 1,000 mètres de rayon au moins (chemins de Liverpool à Manchester, Liverpool à Birmingham, Londres à Birmingham, Londres à Bristol, Paris à Lyon, Paris à Strasbourg). Sur quelques chemins de fer d'Autriche, on n'a pas craint de réduire le rayon des courbes à 180 mètres, mais on ne marche sur ces chemins qu'à de petites vitesses (30 kilomètres à l'heure), avec des machines à 6 ou 8 roues à essieux mobiles du système américain. Sur les chemins américains, on est descendu même au-dessous de cette limite¹.

Ces chemins ont été construits il y a quelques années. Aujourd'hui, selon M. Couche, les Allemands renoncent assez généralement à l'emploi du matériel américain, 5 ou 600 mètres de rayon sont le minimum qu'ils cherchent à atteindre, au prix même de sacrifices assez grands. Ce n'est que dans les stations que les ingénieurs admettent sans scrupule des rayons qui nous paraissent d'une petitesse excessive, et dont l'influence sur le matériel est d'autant plus destructive, que les manœuvres se font, en Allemagne, presque exclusivement par les changements de voie.

Un rayon de 2 à 300 mètres suffit lorsqu'on emploie des chevaux courant au trot, ou qu'on se sert de machines traînant de fortes charges à de très-petites vitesses (chemin de Roanne à Saint-Etienne, chemin des houillères de Newcastle et du pays de Galles méridional).

¹ Michel Chevalier, *Voies de communication*.

Enfin, avec des chevaux allant au pas, on pourra adopter un rayon aussi petit qu'on le voudra, puisque alors rien n'empêchera d'employer les roues mobiles sur l'essieu, le système Laignel ou tout autre système ayant pour but de diminuer la résistance dans le circuit.

« Les courbes d'un très-faible rayon ne doivent plus d'ailleurs être considérées comme des obstacles insurmontables, dit M. Boulanger¹, même pour les grosses machines à marchandises à six roues couplées, telles que celles du chemin de Paris à Strasbourg. On sait en effet que le service du matériel et de la traction de cette Compagnie, placé sous la direction de M. Sauvage, a exploité, pendant quatre mois et sans aucun accident, l'embranchement de Metz à Forbach, sur la voie de ceinture exécutée provisoirement autour de la montagne de Steinberg, avec une rampe de 0^m,006 et des courbes de 150 mètres de rayon. On avait eu le soin d'augmenter quelque peu l'écartement des rails, de manière à diminuer les frottements. On usa quelques bandages, mais le service ne fut pas interrompu. »

Le fait articulé par M. Boulanger est vrai. Mais nous ajouterons, pour qu'on n'en tire pas des conséquences trop absolues, qu'en passant dans les courbes de 150 mètres avec une machine à six roues on a fait un véritable tour de force, afin de ne pas interrompre le service, que les machines ne marchaient qu'au pas et qu'elles éprouvaient une fatigue excessive.

Dans le voisinage des villes, ou aux points d'intersection avec les routes, lorsqu'il faut diminuer la vitesse, les courbes peuvent avoir de moins grands rayons.

Ainsi le chemin de Liverpool à Manchester entrait anciennement à Manchester avec une courbe de 200 mètres, et il se soudait au chemin de Newton par une courbe de 360 mètres.

Sur le chemin de Chester à Crewe, on trouve à la station de Crewe une courbe dont le rayon n'a également que 360 mètres.

Dans les gares belges, on rencontre souvent des courbes de 200 mètres. Les anciennes machines Stephenson à six roues, très-

¹ *Annales des ponts et chaussées.*

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
 $\frac{10,724 \text{ f. } 80 \text{ c.}}{57,450} = 0 \text{ fr. } 19 \text{ cent.},$ 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, 6,530 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
 $\frac{13,245 \text{ f. } 06 \text{ c.}}{66,297} = 0 \text{ fr. } 20 \text{ cent.}$ pour monter et descendre.

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 27,902 f. 14 c.
 $\frac{27,902 \text{ f. } 14 \text{ c.}}{57,477} = 0 \text{ fr. } 49 \text{ c.}$ 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 1/2 centièmes, avec des courbes de 400 à 800 mètres de rayon, cette dépense serait de 3 1/2 à 4 1/2 fois aussi forte que sur une pente de 5 millièmes.

Le prix de 0,37 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 3 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 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. 043 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 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

une gare à la plus petite distance possible des villes que le chemin de fer dessert, les conseils municipaux de ces villes ne tentent d'obtenir par la voie des enquêtes des modifications dans le tracé ayant pour but de le conduire plus près encore du centre. Il faut prévoir cette opposition et réunir à l'avance tous les éléments nécessaires pour la combattre ¹.

Il ne suffit pas qu'une station soit à proximité des quartiers populeux d'une ville, il faut encore que les abords en soient faciles. C'est une des principales conditions à remplir.

Il n'est pas moins utile de donner à la station l'étendue nécessaire aux besoins du service. Cette étendue varie suivant la nature et l'importance de ce service.

L'étendue d'une gare extrême de chemin de fer est ordinairement considérable. Dans les grandes villes, où viennent se croiser des chemins de fer qui traversent le pays d'une extrémité à l'autre et auxquels viendront se souder dans l'avenir une infinité de branches plus ou moins longues, on ne saurait faire les gares trop vastes.

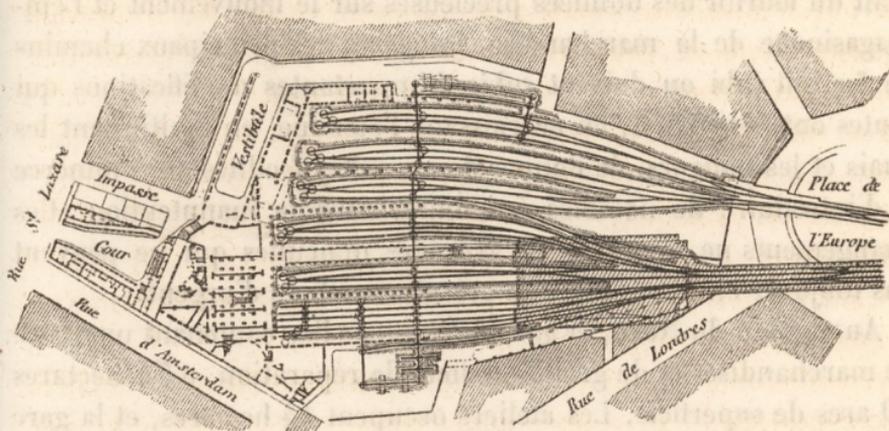
Personne ne peut prévoir quelle limite atteindra un jour le mouvement toujours croissant des voyageurs et des marchandises, et, si on n'agrandissait les gares qu'au fur et à mesure des besoins, on s'exposerait à payer à un prix exorbitant les terrains nécessaires.

Il y a une dizaine d'années, on considérait comme assez spacieuse, pour un service de voyageurs seulement, une gare de deux hectares environ, telle que la gare du chemin de Saint-Germain à Paris, commune au chemin de Versailles, rive droite, et de Paris à Rouen; mais cette gare, déjà trop exigüe pour ces trois chemins, a dû être considérablement agrandie afin de pouvoir raccorder le chemin de Versailles, rive droite, avec celui de l'Ouest.

Le plan ci-joint indique l'espace occupé par l'ancienne gare et

¹ Le chemin de Nancy à Thionville, par Metz, possède deux gares aux abords de cette dernière ville. C'est le seul exemple que nous connaissons d'une ville aussi peu importante desservie par deux gares. La Compagnie n'en avait projeté qu'une seule. C'est le conseil municipal de Metz qui, par sa vive opposition, est parvenu à obtenir du conseil des ponts et chaussées l'établissement de la seconde.

celui dans lequel se trouvait renfermée la gare actuelle l'année dernière. Cette gare vient encore d'être agrandie.



• Fig. 7. — Plan de la gare des chemins de l'Ouest à Paris.

La gare des voyageurs du chemin de fer du Nord à Paris couvre un espace de 7 hectares 90 ares, et elle semble insuffisante, puisque la Compagnie est sur le point d'en établir une nouvelle dans le quartier des Champs-Élysées.

Celle du chemin de Strasbourg, occupant dans l'origine 4 hectares 57 ares, était beaucoup trop petite. La surface du terrain acheté pour l'agrandir est de 1 hectare 25 ares, ce qui porte sa contenance à 5 hectares 60 ares.

Mais c'est bien plus encore les gares pour les marchandises et les gares pour les ateliers que l'on sent aujourd'hui la nécessité d'augmenter. Tant qu'on s'est figuré que les chemins de fer n'étaient guère propres qu'aux transports des voyageurs, on s'est médiocrement préoccupé des dispositions à prendre pour le service des marchandises; mais les faits n'ont pas tardé à démentir cette idée fautive. et sur toutes les lignes importantes, en Angleterre et en France, on augmente aujourd'hui les gares de marchandises. Partout on a reconnu que les anciennes étaient trop petites, non-seulement parce que le chiffre du mouvement des marchandises s'était élevé, mais aussi parce que les manœuvres dans les magasins ne pouvaient se faire avec rapidité et économie si l'espace était trop restreint.

En Angleterre, où cependant on devait être préparé à d'énormes transports de marchandises, où l'emploi des moyens mécaniques était depuis longtemps perfectionné, et où l'exploitation des canaux avait dû fournir des données précieuses sur le mouvement et l'emmagasinage de la marchandise, les gares des principaux chemins de fer ont subi ou doivent subir d'importantes modifications qui toutes ont pour objet, en accroissant l'étendue, en multipliant les quais et les hangars, de donner de nouvelles facilités au commerce et d'introduire de notables économies dans la manutention. Ces changements ne s'opèrent qu'avec des difficultés qui ne peuvent pas toujours être levées par de grands sacrifices d'argent.

Au chemin du Nord, la gare de la Chapelle, contenant une gare de marchandises et de grands ateliers de réparation, a 54 hectares 80 ares de superficie. Les ateliers occupent 14 hectares, et la gare des marchandises 20 hectares 8/10.

La gare de la Villette au chemin de Strasbourg, dont la contenance ne devait être, d'après les premiers projets, que de 6 hectares 28 ares, a été, depuis, considérablement augmentée, et son étendue est aujourd'hui de 54 hectares 50 ares, dont 9 hectares environ ont été consacrés à l'établissement d'une vaste carrosserie et de ses dépendances ainsi qu'à des remises de locomotives et de waggons, et 20 hectares seront affectés exclusivement aux voies principales et aux voies des marchandises. Il est vrai qu'en lui donnant d'aussi grandes dimensions on a eu en vue, non-seulement l'exploitation du chemin de Strasbourg, mais encore celle des autres chemins de fer de l'Est de la France.

Au chemin de Rouen, la gare des Batignolles a 51 hectares 70 ares de superficie; 12 hectares 60 ares sont consacrés au service des marchandises, et le reste à des ateliers, remises, chantiers, voies, etc. A Bercy, la gare du chemin de Lyon occupe 24 hectares 80 ares, sur lesquels 9 hectares 11 ares servent à loger de grands ateliers, et le reste les bâtiments ainsi que les cours du service des marchandises.

Ce n'est qu'à la condition de créer des gares de marchandises extrêmes et même des gares intermédiaires très-vastes que les chemins de fer peuvent lutter avantageusement avec les voies navigables

pour le transport des objets de peu de valeur, dont le volume est souvent considérable, et qui doivent être approvisionnés en grandes quantités pour pouvoir être transportés économiquement par convois complets.

Les gares de marchandises exigeant une aussi grande étendue de terrain, il devient presque toujours impossible de les loger dans l'intérieur des villes. C'est une des raisons pour lesquelles on les place en dehors, ou au moins dans les faubourgs.

Nous avons vu que les ateliers principaux, souvent contigus aux gares de marchandises extrêmes, occupent aussi un grand espace. Le chemin de Strasbourg, indépendamment de la carrosserie voisine de la gare des marchandises de la Villette, possède à Épernay, pour la réparation des locomotives, un grand atelier qui couvre une surface de 9 hectares et des ateliers auxiliaires près de Metz. Lorsque le chemin de Paris à Mulhouse sera livré à l'exploitation, un nouvel atelier aussi vaste que le premier deviendra nécessaire à Mulhouse.

Les gares intermédiaires, qui généralement admettent le service des marchandises aussi bien que celui des voyageurs, varient d'étendue suivant leur importance.

On peut les diviser, ainsi que nous l'avons fait, M. Polonceau et moi, dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*, en six classes, comme suit :

Première classe. — Gares de passage hors ligne, telles que celles de Lyon, d'Orléans, de Tours, de Strasbourg, de Metz et de Nancy, et gares d'embranchement, où se trouvent ordinairement un dépôt de machines, des ateliers de réparation plus ou moins considérables, un buffet, etc., telles que celles de Montereau, Troyes, Épernay, Vierzon, Poitiers, Amiens et Lille.

Souvent les stations d'embranchement sont en même temps des stations hors ligne.

Deuxième classe. — Stations intermédiaires de première classe, admettant un mouvement considérable de voyageurs et un mouvement plus ou moins important des marchandises.

Troisième classe. — Stations de banlieue des chemins parisiens, où le mouvement des voyageurs est très-grand, et celui des marchandises nul.

Quatrième classe. — Stations intermédiaires de seconde classe,

qui, pour l'ensemble du mouvement, peuvent être comparées à celles de Lagny, la Ferté-sous-Jouarre, etc.

Cinquième classe. — Stations intermédiaires de troisième classe, telles que celles d'Ars-sur-Moselle, Brunoy, etc., etc.

Sixième classe. — Stations très-petites, où le mouvement des voyageurs est très-peu considérable et le mouvement des marchandises insignifiant.

Des tableaux publiés dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*, qui donnent les dimensions d'un grand nombre de stations de différentes classes des chemins français et étrangers, il résulte que :

La surface occupée par les grandes gares intermédiaires hors ligne et par les gares terminales autres que les gares parisiennes, celles de Londres et de Bruxelles, abstraction faite de celles de Pesth, de Lyon et de Valenciennes, qui sont exceptionnelles, serait de 8 à 12 hectares.

Par les stations d'embranchement, abstraction faite de celle d'Épernay, qui contient de vastes ateliers, et de celle de Juvisy, qui est exceptionnellement petite, de 6 1/2 à 7 hectares.

Par les stations de banlieue :

1° D'un chemin placé dans les conditions du chemin d'Auteuil, de 3,000 à 4,000 mètres carrés ;

2° D'un chemin placé dans les conditions probables du chemin de Vincennes, de 10,000 à 20,000 mètres carrés.

Par les stations intermédiaires de première classe, de 3 à 6 hectares 1/2, suivant l'importance et la nature du mouvement des marchandises.

Par les stations intermédiaires de deuxième classe, 2 hectares 1/2 environ.

Par celles de troisième classe, de 1 1/2 à 2 hectares.

Par celles du dernier ordre, de 1/2 à 1 hectare, rarement 1 hectare.

Le bâtiment des voyageurs, dans les stations hors ligne, est beaucoup plus grand que dans les stations intermédiaires de première classe. Cela tient souvent à ce qu'il contient un grand buffet.

Dans les stations d'embranchement, le bâtiment est également

plus grand que dans les stations de première classe, et se rapproche, pour l'étendue, du bâtiment des stations hors ligne; cela tient encore à la présence d'un buffet.

La partie consacrée aux voyageurs, abstraction faite du buffet, ne s'éloigne pas beaucoup, pour l'étendue, de la partie correspondante dans les stations de première classe.

Le bâtiment des stations de banlieue est généralement petit, eu égard au grand nombre de voyageurs : sa surface ne dépasse pas 455 mètres (Enghien); mais la surface des marquises ou halles couvertes est très-grande (chemins d'Auteuil et de Vincennes, Saint-Mandé).

La surface du bâtiment des voyageurs, pour les stations de première classe, varie de 400 à 450 mètres carrés.

Pour celles de deuxième classe, de 275 à 350 mètres carrés; pour celles de troisième classe, de 200 mètres carrés; celles du dernier ordre sont de moins de 100 mètres carrés.

L'étendue de l'espace consacré au service des marchandises, dans les différentes stations intermédiaires, diffère sensiblement, suivant l'importance très-variable de mouvement et suivant la nature des marchandises manutentionnées.

Il en est de même de la surface couverte. Cette surface varie ordinairement de 5 à 20 mètres par tonne de marchandises.

Une même surface couverte pouvant aisément servir pour un nombre plus ou moins considérable de voyageurs, selon que le nombre des trains desservant la station chaque jour est plus ou moins grand, il ne faudrait pas établir la même proportionnalité entre le nombre des voyageurs et la surface couverte qu'entre la quantité de marchandises.

Dimensions de la voie. — Après avoir déterminé l'emplacement et l'étendue des gares, il faut, pour compléter l'étude du chemin telle qu'elle doit être faite avant que l'on commence les travaux, fixer les dimensions de la voie et de ses dépendances.

La largeur de la voie sur tous les chemins de fer servant au transport des voyageurs, en France et en Belgique, ainsi que sur la plupart des chemins anglais, est de 1^m,50 à 1^m,51 d'axe en axe des

rails, ou de 1^m,44 à 1^m,46 seulement, si on la mesure de la face intérieure des rails.

Au chemin de Londres à Yarmouth, dit *Eastern-Counties-Railway*, la voie a été établie avec 1^m,52 de largeur; sur les chemins de Dundee à Arbroath, et d'Arbroath à Forfar, cette largeur est de 1^m,68. Sur les chemins d'Irlande, et sur celui de Saint-Petersbourg à Paulosk, on l'a portée à 1^m,85; sur ceux de Hollande, à 1^m,95; enfin, sur le chemin de Bristol, M. Brunel a adopté une voie large de 2^m,13 de dedans en dedans, ou moitié en sus de la distance usitée de 1^m,44. En Espagne, on a adopté la largeur de 1^m,70.

Le tableau suivant indique la longueur des chemins à voies étroites et à voies larges construits en Angleterre, en 1853, ainsi que celle des chemins de fer sur lesquels on a posé trois files de rails, afin de pouvoir marcher sur des voies de deux largeurs différentes.

Chemins de fer anglais exploités au 31 décembre 1853.

	VOIE ÉTROITE (1 ^m ,44).	VOIE D'IRLANDE (1 ^m ,70).	VOIE LARGE (2 ^m ,13).	VOIE MIXTE.	TOTAL.
Angleterre.	8,252 ^k	»	1,007 ^k	153 ^k	9,412 ^k
Écosse.	1,600	»	»	»	1,600
Irlande.	15	1,548 ^k	»	»	1,561
TOTAUX.	9,865 ^k	1,548 ^k	1,007 ^k	153 ^k	12,573 ^k

Le but que l'on s'est proposé principalement en agrandissant l'espace entre les rails est de se ménager la possibilité de construire des machines locomotives plus larges avec des roues d'un plus grand diamètre, munies de chaudières plus puissantes, et, par suite, capables de marcher à des vitesses supérieures.

Quelques fabricants de machines ont aussi demandé que la voie fût élargie, afin, disaient-ils, que, les pièces du mécanisme placées

entre les roues occupant un plus grand espace, il en résultât plus de facilité dans la construction et l'entretien.

La controverse sur la question de savoir quelle était la largeur de voie la plus convenable a été très-vive, surtout entre les ingénieurs anglais. Une commission a été nommée par le gouvernement anglais pour l'examiner. Voici quelles ont été les conclusions du rapport qu'elle a publié :

1° L'élargissement de la voie ne présente aucun avantage en ce qui concerne la sûreté et le confort des voyageurs.

2° On peut, avec de larges voies, atteindre de plus grandes vitesses qu'avec les voies ordinaires ; mais il y aurait du danger à dépasser le maximum de vitesse obtenu sur les voies ordinaires avec des chemins construits comme le sont les chemins actuels. (Cette vitesse, avec les nouvelles machines de Crampton, peut atteindre de 100 à 110 kilomètres par heure.)

3° La voie ordinaire est préférable pour le transport des marchandises, elle est mieux appropriée aux exigences du commerce.

4° L'usage des larges voies nécessite de plus grandes dépenses d'établissement, et la réduction qui en résulterait dans les frais d'entretien et de locomotion ne paraît pas être de nature à compenser l'accroissement des premiers frais.

5° Il est très-important que, dans un même pays, la largeur de la voie soit uniforme. On éprouve de grands inconvénients des différences de largeur des voies du chemin de Bristol et du chemin de Gloucester, et on a dépensé une somme considérable pour ramener, sans interrompre l'exploitation, la voie du North-Eastern-Railway à la dimension ordinaire (1^m,44).

6° Le mécanisme des nouvelles machines étant beaucoup plus simple que celui des anciennes et étant placé en grande partie, ainsi que les cylindres, en dehors des roues, l'objection des fabricants qui réclamaient une plus grande largeur de voie, afin de le loger plus facilement, est devenue sans valeur.

7° La commission ne voit donc aucune raison pour opérer un changement dans la largeur de la voie (1^m,44 intérieurement).

Nous avons exprimé, dans la première édition de cet ouvrage, une opinion semblable à celle de la commission anglaise ; mais

nous nous rangeons à l'opinion de M. Polonceau, qui a une plus grande expérience que nous de la construction des machines, et qui est d'un avis contraire.

L'agrandissement de la voie est, du reste, impossible dans des pays comme la France, la Belgique, l'Allemagne, etc., où de grands réseaux sont déjà livrés à l'exploitation, et où il serait très-fâcheux d'introduire de nouvelles lignes avec une voie différente. Mais il y aurait sans doute des avantages à adopter une voie plus large dans certains pays comme la Russie ou l'Espagne, qui ne possèdent encore qu'un très-petit nombre de chemins de fer. En Russie, surtout, où le terrain est peu coûteux, et où les ouvrages d'art, les grandes tranchées et les grands remblais sont peu nombreux, la voie large semble devoir obtenir la préférence.

En France, sur plusieurs lignes récemment construites, on a augmenté la largeur entre les faces intérieures des rails d'environ 4 centimètres, afin de faciliter le mouvement oscillatoire des roues connu sous le nom de lacet. Une différence aussi légère entre les nouvelles et les anciennes voies n'oblige en aucune manière à employer des machines différentes.

La largeur de l'entre-voie (espace entre les deux voies parallèles), sur la plupart des chemins de fer de France et de Belgique, est de 1^m,80; sur le chemin de Lyon, elle est de 2^m,20; sur le chemin de Londres à Birmingham, de 1^m,92; sur le chemin de Bristol, de 1^m,87; sur le chemin de Bruxelles à Mons, de 2^m,50.

On détermine la largeur de l'entre-voie de manière que, deux convois qui marchent en sens contraire venant à se croiser, il reste entre les caisses des voitures un espace libre assez grand pour que les marchepieds ne puissent se choquer et que les voyageurs ne puissent se blesser en sortant la tête par la portière.

La largeur de l'entre-voie sur le chemin de Lyon nous paraît la plus convenable. Nous ne verrions même que des avantages à l'augmenter de quelques centimètres. On pourrait alors donner un peu plus de largeur aux caisses des voitures et établir au dehors des galeries qui seraient d'une grande utilité.

Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, l'entre-voie n'étant que de 1 mètre, on s'est trouvé fort gêné pour la construction des voi-

tures, et on a été obligé de leur donner une grande longueur en faisant porter la caisse sur deux trains séparés.

Sur le chemin de Liverpool à Manchester, construit vers la même époque que celui de Saint-Étienne à Lyon, l'entre-voie est plus grande; elle est de $1^m,55$.

Si le matériel du chemin de Paris à Mulhouse n'eût pas dû circuler sur toutes les autres lignes du réseau de l'Est, on eût certainement donné $2^m,20$ au moins de largeur à l'entre-voie de ce chemin; mais, eu égard à cette circonstance, on s'est borné à adopter la largeur de 2 mètres, qui est de 20 centimètres plus grande que celle du chemin de Paris à Strasbourg, uniquement parce qu'il a été reconnu que, avec la largeur de $1^m,80$ et le matériel ordinaire, le service était souvent dangereux. On a aussi adopté cette largeur de 2 mètres pour les nouvelles lignes du réseau du Nord.

Pour les chemins du Midi, l'entre-voie sera de $1^m,86$.

La largeur des accotements varie ainsi que l'inclinaison des talus avec la nature des terrains. Elle doit être d'autant plus grande que le sol sur lequel repose la voie est plus mauvais. Ainsi, sur les remblais en terrains ordinaires, elle est de $0^m,50$ plus grande que dans les tranchées. Lorsque le terrain est marécageux, c'est au contraire dans les tranchées qu'elle est la plus grande. Dans certains terrains de ce genre, elle est de 3 mètres en tranchée et de $1^m,50$ à 2 mètres en remblai.

Cette largeur est nécessaire pour que l'ébranlement produit lors du passage des convois ne puisse déterminer facilement des éboulements et pour que, dans le cas où des éboulements auraient lieu, les voies ne puissent pas être entraînées ou couvertes facilement.

On proportionne aussi la largeur de l'accotement à la résistance que présente le ballast au déplacement latéral des traverses. Plus le ballast est résistant, moins il est sujet à *couler*, plus est faible la largeur de l'accotement.

Sur le chemin de Bristol, en terrain ordinaire, la distance de la face extérieure du rail à la crête du remblai ou à l'arête du fossé est de $1^m,45$; sur le chemin de Liverpool à Manchester, de $1^m,52$; sur celui de Londres à Birmingham, de $2^m,20$; sur les nouveaux chemins belges, elle est de $1^m,75$.

Sur les chemins de fer français récemment construits, elle doit être, aux termes du cahier des charges, en bon terrain, de 1 mètre en déblai et de 1^m,50 en remblai.

Dans les souterrains, et quelquefois sur les ouvrages d'art, on diminue la largeur de l'accotement afin de réduire la dépense. Les eaux s'écoulent alors par un fossé ou par un aqueduc placé au milieu. Il ne faut pas oublier qu'une trop grande réduction de la largeur de l'accotement dans les souterrains peut exposer à de graves accidents.

La largeur des fossés creusés le long de la chaussée dans la tranchée et le long des talus des tranchées ou des remblais, et, en général, toutes leurs dimensions, doivent être en rapport avec le maximum de la quantité d'eau qu'ils sont destinés à recevoir.

Au chemin de Strasbourg, dans une partie du chemin voisine de Nancy, les fossés étant de dimensions insuffisantes pour donner écoulement aux eaux au moment d'une grande crue, la chaussée a été inondée, le ballast a été enlevé, et la voie dérangée à tel point, qu'il en est résulté le déraillement d'un convoi, accident qui aurait pu avoir les plus graves conséquences.

Il est donc de la plus haute importance de préserver aussi bien que possible, par des moyens quelconques, tous les ouvrages d'un chemin de fer, et notamment la voie, du contact des eaux, soit souterraines, soit pluviales. On ne doit rien épargner pour atteindre ce but.

Les règles qui servent à déterminer l'inclinaison des talus des tranchées ou des remblais pour les routes ou pour les canaux s'appliquent aussi aux chemins de fer. Nous devons néanmoins faire observer que, sur un chemin de fer, les conséquences d'un éboulement sont bien autrement graves que sur une route ordinaire, bien plus difficiles à réparer, et que les dépenses pour modifier les talus d'une tranchée, une fois le chemin en activité, sont bien plus considérables.

Il est donc essentiel, sur un chemin de fer, de déterminer l'inclinaison des talus avec assez d'exactitude pour qu'il ne devienne pas nécessaire de les retoucher après l'ouverture du chemin.

Sur le chemin d'Alais à Beaucaire, l'éboulement du talus d'une

tranchée a occasionné, en barrant la voie, la rupture d'une locomotive et de plusieurs waggons chargés de charbon. Sur celui de Londres à Bristol, un accident du même genre a eu pour conséquence la mort de plusieurs voyageurs. Sur le chemin de Versailles (rive gauche), dans la grande tranchée de Clamart, la rectification d'une partie des talus, après l'ouverture du chemin, a exigé une dépense double de celle qui eût été nécessaire pour le même travail s'il eût été fait de prime abord.

L'angle sous lequel se soutiennent les talus des tranchées varie suivant la nature du terrain. On trouvera de précieuses indications à cet égard dans l'ouvrage de M. Minard *sur les ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux*, et dans l'ouvrage anglais de Brees, traduit en français sous le nom de *Science pratique des chemins de fer*.

Quel que soit cet angle, il ne faut pas oublier que tel terrain qui résistera avec un talus d'une grande inclinaison avant d'être exposé aux intempéries de l'air pourra s'ébouler sous le même angle lorsqu'il en aura subi l'influence. Certains schistes, surtout, s'attendrissent en peu de temps au contact de l'air.

Lorsque le terrain est très-coulant, les talus ne se soutiennent sous aucun angle, et il faut dans ce cas employer différents moyens que nous indiquerons au chapitre des terrassements.

Anciennement, on était dans l'usage de ménager, sur les talus des grandes tranchées, à une petite hauteur au-dessus du fossé, une

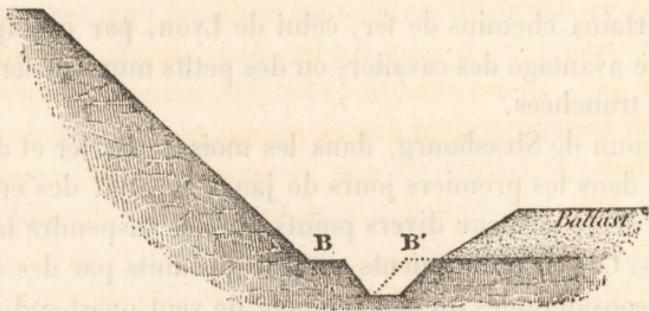


Fig. 8. — Banquettes.

banquette d'environ $0^m,30$ de largeur, sensiblement inclinée contre les talus. Cette banquette avait pour but d'empêcher les petites

pierres qui se détachent des talus, surtout par l'action de la gelée et du dégel, de descendre dans le fossé et de l'obstruer. Elle recevait aussi, comme lieu de dépôt momentané, des boues dépendant du nettoyage des fossés. Aujourd'hui on supprime la banquette B (fig. 7), et on remplace le profil en ligne pleine au bas du talus par le profil en ligne ponctuée. La banquette se trouve alors transportée en B' le long de la chaussée, et elle sert en même temps au dépôt momentané des boues et à la circulation des cantonniers.

Quant aux pierres détachées des talus, elles descendent dans le fossé, d'où on les retire en le nettoyant.

Quelques ingénieurs, cependant, ayant remarqué que les boues déposées sur la banquette qui longe la voie nuisaient à l'écoulement des eaux qui traversent la chaussée et gênaient pour la circulation, ont maintenu la banquette sur le talus.

On a aussi ménagé des banquettes ou construit des cavaliers du côté des vents dominants et planté des arbres.

Souvent encore on a établi d'autres banquettes espacées de quatre mètres en quatre mètres ; elles divisent les lignes de plus grandes pentes de talus en plusieurs parties sur lesquelles les eaux pluviales ne peuvent pas acquérir une vitesse capable de les raviner. Néanmoins l'expérience a démontré que ces banquettes étaient plutôt nuisibles qu'utiles si on ne les disposait pas en forme de fossés dans toute leur longueur. Dans ce cas, on donne écoulement aux eaux de ces fossés au moyen de rigoles en maçonnerie établies de distance en distance sur la surface des talus.

Sur certains chemins de fer, celui de Lyon, par exemple, on a placé avec avantage des cavaliers ou des petits murs au sommet des talus des tranchées.

Au chemin de Strasbourg, dans les mois de février et décembre 1853, et dans les premiers jours de janvier 1854, des encombrements de neige ont, sur divers points, forcé à suspendre la marche des trains. Ces encombrements ont été produits par des quantités de neige considérables qu'une tempête de vent ouest-sud-ouest balayait dans la plaine et chassait dans les tranchées. Ce sont surtout les tranchées peu profondes qui ont été comblées; les grandes tranchées ont été épargnées, les neiges se sont accumulées dans le haut

des talus, mais sans s'étendre sur la voie de fer. Dans les parties boisées, les tranchées peu profondes ont été préservées des neiges aussi bien que celles d'une grande profondeur.

Pour se préserver autant que possible de ces envahissements de la neige, les clôtures sèches ont été remplacées par des écrans en planches. Ces écrans ont produit un assez bon effet; et nous en avons fait usage fréquemment depuis lors.

« Les accumulations de neige, dit M. Muntz, ont lieu principalement du côté des vents dominants, dans les tranchées, dans les passages des remblais aux déblais, et sur les points où une barrière ou un passage par-dessus forme un obstacle qui arrête l'action des vents.

« Le moyen le plus efficace qu'on emploie pour garantir les points les plus exposés consiste dans l'élargissement de la tranchée par la création d'une banquette de 2^m,50 à 4^m,00 de largeur, établie du côté des vents dominants; de plus, dans la construction d'un cavalier de 1^m,20 à 1^m,50 de hauteur et élevé à une certaine distance de la crête du talus.

« Ces deux précautions réunies suffisent pour forcer les neiges à se déposer sur les banquettes et à n'envahir que faiblement la voie proprement dite. L'élargissement de la tranchée présente encore l'avantage de faciliter le passage de la grande charrue à neige, qui, sans cette précaution, comprimerait tellement la masse, qu'elle pourrait difficilement la traverser quand les hauteurs de neige atteignent de 1^m,00 à 1^m,20.

« En Bavière, on se contente quelquefois, au lieu de former une banquette, de donner au talus des tranchées exposées aux neiges mouvantes une inclinaison de 5 de base pour 1 de hauteur, pour conserver aux vents la possibilité de chasser la neige, qui se dépose sans cette précaution. »

« Sur les points où il n'existe ni cavaliers ni banquettes, et où les encombrements se produisent sous l'action des vents forts et continus, on remplace les cavaliers par des clôtures en planches de 1^m,50 à 2 mètres de hauteur, placées de 7 à 10 mètres en arrière de la crête des talus, ou par des haies vives et des plantations d'épi-céas et d'autres arbustes d'une croissance rapide. Ces plantations

sont établies sur trois rangs parallèles si elles ne se font pas en massif.

« Les plantations essayées sur une vaste échelle ont rendu de très-bons services dès qu'elles avaient atteint une hauteur de 2 mètres, et les effets obtenus par ces moyens combinés ont été tellement favorables, que la circulation n'a dû être interrompue, même dans les points les plus exposés, que pendant quelques heures, et à des époques éloignées de plus d'une année.

« Sur le Fichtelberg, on s'est contenté de former des haies avec des branches de pins et de sapins dont on pouvait disposer dans la localité, en attendant que les plantations eussent acquis la hauteur nécessaire pour servir d'abri. »

L'inclinaison du talus des remblais est ordinairement de 1,5 sur 1. Elle est plus faible lorsque la nature du terrain oblige à donner de l'empattement au remblai.

Il est nécessaire aussi d'intercepter, au moyen de cavaliers ou de fossés, les eaux qui coulent à la surface, et qui pourraient endommager les grands talus. La bande de terrain nécessaire pour loger les cavaliers, les fossés, les treillages, les haies et les sentiers qui bordent les grandes tranchées doit avoir de 4^m,50 à 3 mètres de largeur, suivant les circonstances. On creuse également un fossé au pied des remblais quand l'inclinaison générale du terrain amène vers leur pied les eaux pluviales.

Les figures 9 et 10 représentent les coupes adoptées comme types pour la voie sur les nouvelles lignes du réseau de l'Est.

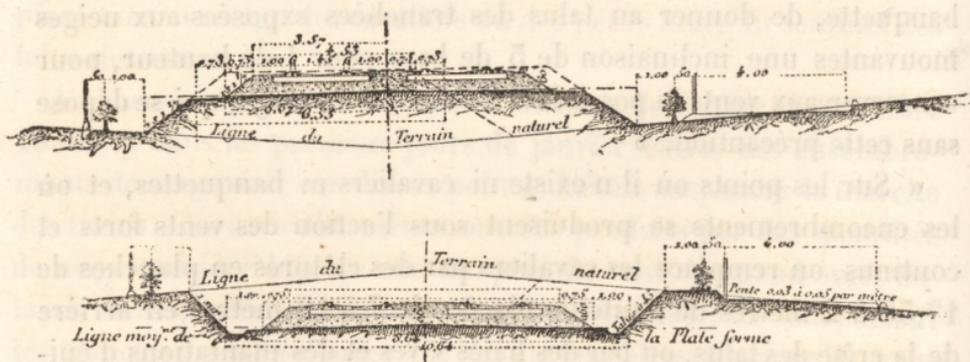


Fig. 9 et 10 — Profils en travers des chemins de l'Est.

La largeur des fossés et de la bande de terrain qui bordent les tranchées et les remblais varie comme nous l'avons indiqué.

Quelquefois, lorsqu'il se trouve de grands arbres près de la voie, il peut être utile d'acheter le terrain qu'ils occupent, afin de les abattre. Leur voisinage n'est pas sans inconvénients et même sans danger. Ils entretiennent sur la voie une humidité qui rend la traction difficile. Ils sont assez souvent mis en feu par des étincelles échappées de la locomotive. Enfin leur chute sur le chemin peut occasionner des accidents.

Les renseignements suivants, empruntés aux *Documents statistiques*, publiés par le gouvernement en 1856, indiquent exactement l'espace moyen occupé par les différentes parties des chemins de fer construits en France à la fin de 1853.

L'ensemble des terrains acquis pour l'établissement des 4,063 kilomètres livrés à l'exploitation à la fin de l'année 1853 était d'environ 13,800 hectares, représentant 0,00027 de la surface de la France, et environ 34 hectares par myriamètre de chemin.

Cette moyenne, par myriamètre, varie d'une ligne à l'autre. Elle ne descend pas au-dessous de 16 hectares, et s'élève à 43 1/2 hectares pour le chemin de fer de Frouard à Forbach.

D'après un relevé fait sur un assez grand nombre de chemins, les 34 hectares par myriamètre se décomposeraient comme suit :

		Hectares.	
1° Voie ou largeur en couronne.	Superficie. . .	9	ou 26 0/0
2° Stations, ateliers, cours, voies d'évitement.	<i>Id.</i>	3	— 9
3° Talus, fossés, banquettes, perrés.	<i>Id.</i>	17	— 50
4° Déviations de chemins et cours (hors clôture).	<i>Id.</i>	4	— 12
5° Terrains pouvant être revendus.	<i>Id.</i>	1	— 3
Ensemble.		54	ou 100 0/0

Ainsi, de toute la superficie acquise pour l'établissement des chemins de fer, les 85 centièmes sont compris entre clôtures, dont 35 centièmes seulement occupés utilement par la ligne, la voie et les gares.

La largeur de la bande occupée est ainsi de 34 mètres en

moyenne. Celle des différents chemins de fer s'écarte plus ou moins de cette moyenne.

Ainsi elle a sur le chemin de Lyon.	34,03
De Strasbourg.	28,03
Du Nord.	33,05
D'Orléans.	42, »
D'Orléans à Bordeaux.	35,10
De Mulhouse.	35,00
Du Centre.	23,20
De Blesmes à Gray.	36,48
De Tours à Nantes.	37,50
De Frouard à Forbach.	43,60
De Creil à Saint-Quentin.	38,10
D'Amiens à Boulogne.	34,10

Nous avons présenté quelques considérations générales sur le tracé des chemins de fer, nous avons établi certaines règles pour le choix de la meilleure ligne à suivre; ce sera placer l'exemple à côté du précepte que de nous livrer à l'examen critique du tracé de quelques-uns des chemins de fer déjà exécutés.

Du tracé de quelques chemins de fer remarquables.

Les chemins de fer, au point de vue de leur tracé, peuvent se diviser en :

Chemins à pentes faibles.

Chemins à pentes moyennes.

Chemins à fortes pentes.

Nous appelons :

Chemins à pentes faibles ceux dont l'inclinaison, à quelques exceptions près, reste au-dessous de 8 à 10 millimètres;

Chemins à pentes moyennes ceux sur lesquels on rencontre, sur une partie notable du parcours, des pentes atteignant 8 à 10 millimètres;

Chemins à pentes fortes ceux dont le tracé admet, sur une certaine étendue, des rampes inclinées de plus de 10 millimètres.

Les chemins à faibles pentes, sur lesquels le transport des voyageurs s'opère à grande vitesse, sont généralement desservis dans toute leur longueur par des machines locomotives. Ce n'est que par exception que l'on a établi, dans le voisinage des stations extrêmes, des plans inclinés à machines fixes. Encore renonce-t-on depuis quelques années à ces machines pour leur substituer de puissantes locomotives.

Nous décrivons parmi ces chemins :

1° Le chemin de fer de Paris à Lille et Valenciennes (chemin du Nord).

2° Les chemins de Paris à Rouen, de Lyon à Avignon et d'Avignon à Marseille, chemins qui, avec ceux de Lyon et du Havre, constituent la grande ligne du Havre à Marseille.

3° Le chemin de Paris à Mulhouse.

4° Les chemins de Saint-Germain et de Versailles, rive droite et rive gauche, et le chemin de Paris à Auteuil.

5° Les chemins anglais de Londres à Birmingham, Midland-Counties-Railway, North-Midland-Railway, et Great-Northern-Railway, qui forment ensemble une des grandes artères qui s'étendent du sud au nord de l'Angleterre, de Londres à Newcastle. Sur toute l'étendue de cette ligne, les pentes ne dépassent jamais 4 millimètres, et le rayon des courbes est généralement de plus de 1,500 mètres.

6° Le chemin de Londres à Bristol (Great-Western-Railway), l'un des chemins de l'Angleterre le plus remarquable par son mode de construction et l'un des plus fréquentés.

7° Les chemins de Dublin à Kingstown et de Londres à Blackwall, établis pour de petits parcours aux abords de la capitale.

8° Enfin les chemins allemands du Nord, de Vienne à Gloggnitz, le chemin Badois et celui de Munich à Augsbourg.

Parmi les chemins à pentes moyennes, nous avons choisi comme les plus dignes d'étude :

1° Les chemins de Rouen au Havre, de Paris à Lyon, de Paris à Orléans, de Paris à Strasbourg et le chemin de ceinture de Paris.

2° Le chemin anglais de Londres à Brighton, qui peut être con-

sidéré comme le prolongement de la grande ligne de Newcastle ou d'Édimbourg à Londres vers la mer.

3° Le chemin de Londres à Douvres (South-Eastern-Railway), qui, avec celui de Londres à Bristol, établit, dans le sud de l'Angleterre, la communication entre la mer du Nord et l'Océan.

4° Les chemins de Liverpool à Manchester et de Manchester à Leeds, qui forment les deux chaînons les plus importants de la ligne qui réunit l'Océan à la mer du Nord, aboutissant d'une part à Liverpool, et de l'autre à Hull.

5° Les chemins de Newcastle à Carlisle et de North-Shields, qui traversent, comme les précédents, l'Angleterre de l'orient à l'occident.

6° Le chemin belge de la vallée de la Vesdre entre Liège et Aix-la-Chapelle.

7° Les chemins du midi de la Suisse dits chemins de l'Ouest. Enfin nous classerons parmi les chemins à pentes fortes :

1° Les chemins de Gloucester à Birmingham, de Hetton à Sunderland, de Darlington à Stockton, et de Cromford à Peakforest en Angleterre.

2° Ceux de Saint-Étienne à Andrieux, Saint-Étienne à Lyon et Roanne à Saint-Étienne, d'Alais à Beaucaire, en France.

3° Les chemins allemands de Vienne à Trieste, les chemins saxo-bavarois de Brunswick à Harzbourg et de Stuttgart à Ulm.

4° Les chemins du nord de la Suisse et du Jura industriel.

5° Le chemin italien de Turin à Gênes.

CHEMINS A PENTES FAIBLES.

De Paris à Lille, Valenciennes, Boulogne. (CHEMIN DU NORD.) —

Les premières études du tracé du chemin du Nord remontent à une époque déjà éloignée.

Dès 1851 et dans les années qui suivirent, des plans dressés par les soins d'une société particulière furent successivement débattus au sein des conseils municipaux et des conseils généraux des départements. A cette époque, la lutte commença entre les localités dont les intérêts étaient contraires. Elle devint plus vive lorsque les en-

quêtes s'ouvrirent sur les projets de M. Vallée, ingénieur en chef, chargé, en 1854, par le gouvernement, « de chercher le moyen le meilleur de réunir entre eux les trois royaumes de France, d'Angleterre et de Belgique. » Telle était la lettre de ses instructions.

Le tracé de la ligne mère avait été étudié dans deux directions principales : l'une par Saint-Denis, Creil, Saint-Quentin, pour aboutir à Valenciennes ; l'autre par Saint-Denis, Creil, Amiens, Arras et Lille. La première ligne conduisait directement à Bruxelles, mais elle allongeait sensiblement le parcours de Paris à Londres. La seconde entrait en communication directe avec les chemins du nord de la Belgique en se prolongeant sur Roubaix et Turcoing ; elle se liait aux chemins du Midi par un embranchement entre Douai et Valenciennes, et se prêtait mieux que la ligne par Saint-Quentin à la construction d'embranchements sur Boulogne, Calais et Dunkerque. Mais ce ne furent pas là les raisons qui lui firent accorder la préférence par le gouvernement. Le ministre des travaux publics, dans le rapport qu'il présenta aux Chambres le 15 février 1858, adoptant le système défendu depuis lors par M. Teisserenc, fit valoir en faveur du tracé par Amiens le parallélisme de la ligne de Saint-Quentin et des canaux.

« Déjà la ligne par Saint-Quentin, dit le rapport, possède une série de voies navigables les plus actives, les plus perfectionnées qui existent sur la surface du royaume ; ces voies ont contribué à un développement rapide de l'industrie des contrées qu'elles traversent et à raison de la nature des marchandises qu'elles transportent et du faible prix auquel ces transports s'effectuent ; elles feraient aux chemins de fer une concurrence nuisible et peut-être ruineuse. La ligne d'Amiens, au contraire, trouve sur une partie de son développement une contrée dépourvue de communications faciles et économiques avec le centre du royaume, et qui n'attend, pour donner son essor au commerce et à son industrie que les débouchés qui lui manquent ; enfin elle rencontre un canal qui aboutit à la mer, et qui, cette fois, loin de nuire au chemin de fer, comme la ligne de Saint-Quentin, lui viendra en aide en lui permettant de s'approprier toutes les marchandises que le canal amènera dans l'intérieur du pays. »

A cette époque, on attachait encore une grande importance aux faibles pentes. « Le tracé par Amiens et Arras, dit le ministre, admet des pentes dont le maximum est de $3\frac{1}{2}$ millimètres; mais *cette infériorité* sur le tracé primitif par Saint-Quentin, dont les pentes n'étaient que de 3 millimètres, est peu sensible dans la pratique, et il n'est pas démontré que les études définitives ne puissent la faire disparaître. »

Les études définitives, en réalité, loin de conduire à une réduction dans le maximum des pentes, ont porté ce maximum à 5 millimètres.

Le tracé de la ligne mère une fois arrêté, les débats ont eu lieu sur celui des embranchements vers l'Angleterre. M. Vallée avait étudié deux combinaisons différentes, et donné la préférence à la construction simultanée de trois lignes, savoir : la ligne d'Amiens à Boulogne par Abbeville et Étaples; celle de Lille à Calais par Aire, Saint-Omer et Watten; et enfin celle de Watten à Dunkerque.

De 1838 à 1843, plusieurs commissions de la Chambre des députés, la Chambre elle-même, les ministres enfin qui se succédèrent au pouvoir, eurent tour à tour à exprimer leur opinion sur la combinaison proposée par M. Vallée. Partout elle rencontra une approbation pour ainsi dire unanime.

En 1843, la Compagnie avec laquelle M. le ministre des travaux publics avait traité pour l'exploitation du chemin de fer du Nord introduisit à son tour dans le débat un tracé nouveau, dû à la main habile et expérimentée d'un ingénieur anglais, M. Robert Stephenson. Dans ce tracé, le point d'intersection de l'embranchement de Calais avec le tronc principal se trouvait placé, non plus à Arras, mais à Ostricourt, petit village situé entre Lille et Douai.

Une commission de la Chambre des députés se prononça en faveur du tracé de M. Stephenson; mais ce tracé fut repoussé par la Chambre des pairs.

Citer le rapport rédigé à cette occasion par M. le comte Daru, c'est présenter le résumé des plus hautes considérations que l'on puisse faire valoir à l'appui du tracé d'un chemin de fer.

« Les bénéfices de l'exploitation du chemin d'Ostricourt, dit M. Daru, seront incontestablement plus considérables que ceux ré-

sultant de l'exploitation de tous les autres tracés. Non que cette augmentation probable de produits soit due à la présence, sur cette direction, de villes plus populeuses, plus riches, de routes plus fréquentées : les circonstances, à cet égard, sont analogues de part et d'autre; mais elle provient de ce que les inflexions de cette ligne imposent à la circulation existante un détour, un déplacement dont le revenu profite. Autrement dit, le nombre de kilomètres parcourus est plus grand pour un même nombre de voyageurs. »

Nous avons vu d'ailleurs que ce tracé économiserait au Trésor (l'État construisant le chemin) dix à douze millions.

« Voilà les avantages réels, incontestables, qu'il présente. Au point de vue financier, il n'y en a pas qui puisse lui être comparé.

« Dès lors on comprend que M. Stephenson, qui opérait pour le compte d'une Compagnie particulière, et la commission de la Chambre des députés, qui délibérait à une époque où l'industrie des chemins de fer était en souffrance, où les capitalistes se montraient timides, défiants; où la formation des associations nécessaires pour l'application de la loi du 11 juin 1842 était tout au moins fort incertaine, on comprend que M. Stephenson et la commission de la Chambre des députés se soient prononcés en faveur de la ligne d'Ostricourt.

« Reste à savoir si, abstraction faite de ces considérations particulières, le double avantage que nous venons d'indiquer (peu de frais de premier établissement et concentration du trafic) l'emporte sur le double inconvénient inhérent à l'exécution de cette ligne : l'allongement de 20 kilomètres de la distance comprise entre Paris et Londres, et l'allongement de 22 kilomètres de la distance comprise entre Lille et Dunkerque.

« La majorité de votre commission, messieurs, ne le pense pas. Le rattachement de la ligne de Calais du côté de Carvin lui paraît grever d'une manière fâcheuse et permanente des transports dont le bas prix est absolument nécessaire, ceux de la circulation partielle.

« En effet, 1° si ce tracé était adopté, Arras, chef-lieu du département du Pas-de-Calais, centre important d'expédition vers la capitale, se trouverait privé de moyens de communication avec Béthune,

Lillers, Aire, Saint-Omer, c'est-à-dire avec les principaux sièges du commerce local, qui resteraient eux-mêmes sans liaison entre eux, ou, du moins, qui auraient à parcourir, pour communiquer les uns avec les autres, des distances doubles ou triples des distances réelles qui les séparent. Or, entre ces villes, les échanges sont continus et les rapports fréquents. Les marchés qui s'y tiennent chaque semaine, ici pour les toiles, là pour les grains, ailleurs pour les huiles, attirent un grand nombre d'individus allant et venant sans cesse. Arras est le marché central vers lequel gravitent ces divers mouvements, qui se déplaceraient par suite des inflexions de la ligne projetée. Le chemin de fer de Carvin les attirerait vers Douai, ville aujourd'hui sans commerce, sans industrie, qui deviendrait avant peu le centre de toutes les opérations commerciales, car Ostricourt est une station trop insignifiante pour pouvoir être jamais autre chose qu'un lieu de passage sans importance. La circulation serait donc plus coûteuse, plus compliquée, et troublée dans son cours et dans sa pente naturelle.

« 2° La voie de Boulogne, par le littoral de la Manche, étant écartée, il convient de ne pas allonger outre mesure la route d'Angleterre, de ne pas ajouter 20 ou 25 kilomètres encore aux 55 kilomètres de longueur que la ligne d'Arras présente de plus que la ligne de Boulogne. On peut bien penser qu'une heure d'augmentation dans la durée du trajet influera peu sur l'activité des voyages de long cours; mais on ne saurait affirmer que la circulation internationale ne souffrira point d'un allongement de 80 kilomètres et de l'élévation de la dépense qui en résulterait.

« 3° Dunkerque se trouve déjà à une grande distance de Lille par le tracé d'Hazebrouck; il en est à 86 kilomètres, tandis que la ligne de fer directe aurait 75 kilomètres seulement. On a rejeté la pensée d'une ligne droite, comme trop dispendieuse et comme ne se reliant pas au réseau du Nord. En subissant cette nécessité, il faut éviter au moins de trop séparer l'une de l'autre deux villes dont la communauté d'intérêts est visible et se révèle par une circulation très-considérable. Sans parler du transport des marchandises, le mouvement seul des voyageurs de l'une ou l'autre extrémité est en effet représenté par 2 millions de kilomètres parcourus chaque

année. L'économie résultant pour les voyageurs d'une abréviation de 20 kilomètres sera donc représentée par un nombre total de 480,000 kilomètres, et, si l'on suppose que cette circulation double, hypothèse bien modérée assurément, par l'effet du chemin de fer, l'économie sera de 960,000 kilomètres, ce qui équivaut, en formant pour tarif appliqué 7 actions, à une valeur de 67,000 fr. par année, laquelle somme, capitalisée à 4 pour 100, représente 1,680,000 fr.

« Pour apprécier l'avantage financier de la combinaison d'Ostricourt, il faut tout compter : il faudrait, par conséquent, retrancher de la somme de 12 millions, provenant de la différence des devis, celle de 1,680,000 fr. qui profiterait sans doute à la Compagnie exploitante, mais au préjudice des populations traversées. On voit donc que l'épargne est moins considérable qu'on ne le suppose; elle se réduit à 8 ou 10 millions selon les tracés; que serait-ce si l'on faisait le même calcul pour la circulation de la ligne d'Arras à Dunkerque et à Calais ?

« 4° Enfin la ligne d'Ostricourt satisfait moins bien que celle d'Arras aux conditions de la défense. L'une se replie, en effet, vers la capitale, s'abrite derrière les rives de l'Aa, de la Deule, de la Lys et des canaux, touche à des places importantes, etc., tandis que l'autre, au contraire, remonte vers le Nord, se rapproche de la frontière, et est par cela même plus accessible aux tentatives de l'ennemi. Elle ne permet pas, en cas d'attaque, de faire arriver aussi promptement des ordres, des troupes ou des munitions sur les points menacés.

« La majorité de votre commission pense donc que de pareils inconvénients sont de nature à contre-balancer les avantages d'une exécution plus économique et d'une exploitation plus fructueuse. »

Dans une autre partie de son rapport, M. Daru s'exprimait dans les termes suivants sur le degré d'importance qu'un gouvernement doit attacher aux économies à faire sur le capital de la construction.

« Une économie de 7,650,000 fr. est certes un argument considérable en faveur du tracé de M. Stephenson. Nous n'admettons pas que l'on soit recevable à le traiter avec dédain. Nous avons bien

entendu formuler, nous avons même lu, dans le rapport des ingénieurs, le singulier reproche que voici : « C'est là, dit-on, un tracé de compagnie, cherchant les longs détours pour gagner davantage, et les travaux faciles pour dépenser moins. » Et l'on ajoute d'ordinaire que le gouvernement doit être animé de préoccupations différentes, qu'il doit avoir plus de prévoyance de l'avenir, plus de soins des intérêts généraux, moins de soucis du produit net et de la dépense. Messieurs, sans discuter en ce moment les avantages ou les inconvénients des deux systèmes, nous nous permettons dès à présent de rappeler qu'aux termes de la loi du 11 juin 1842 ce n'est pas seulement la compagnie exploitante, c'est aussi et surtout le Trésor qui paye les frais de construction première. Or l'État est intéressé, tout comme les compagnies, à mesurer les travaux sur leur utilité réelle, à proportionner les sacrifices qu'il s'impose aux avantages qu'il espère. Le point de vue du gouvernement et celui de l'industrie privée ne sont pas aussi divergents qu'on le suppose et qu'on aime à le répéter. L'administration doit compter; elle ne doit pas affecter trop de mépris pour les considérations économiques et financières. Cela peut paraître mesquin, puéril, indigne d'un grand pays comme la France et de son gouvernement; mais, à notre avis, rien n'est plus sérieux, plus nécessaire et plus sage. Pour nous, la question n'est pas de savoir s'il est théoriquement vrai que les compagnies ont telle ou telle tendance, que l'administration tombe dans tel ou tel excès contraire; si ces reproches, que mutuellement on se renvoie, de préoccupations avides ou de profusions ruineuses sont plus ou moins mérités; tout cela peut trouver place dans des discussions de système, et nous n'avons pas à nous en préoccuper ici. Nous avons uniquement à voir, dans chaque cas particulier, si l'importance des travaux que l'on demande est justifiée par l'importance des besoins auxquels ces travaux s'appliquent, et cela, quel que soit le moyen d'action que l'on emploie; nous avons donc à examiner si une économie de 7,630,000 fr. est achetée trop cher au prix d'un allongement de parcours de 20 kilomètres. Toute la question est là; nous ne faisons que la poser en ce moment; plus tard nous chercherons à la résoudre. »

Ailleurs, M. Daru examine jusqu'à quel point le gouvernement doit, en déterminant le tracé des grandes lignes de chemin de fer, respecter les existences créées, les droits acquis.

« De l'examen des faits, dit-il, il résulte que, pour respecter les droits acquis, ou plutôt les existences créées, établies sous la garantie et par l'effet d'habitudes anciennes, pour éviter des perturbations toujours fâcheuses dans la situation économique du pays, il faudrait donner la préférence à la ligne d'Amiens.

« D'un autre côté, pour satisfaire un plus grand nombre d'intérêts, pour rendre plus productifs les capitaux engagés dans la spéculation, il faudrait donner la préférence à la ligne d'Arras.

« Ainsi voilà deux principes en présence, tous les deux utiles et bons à observer, et que l'on ne peut pas appliquer simultanément. Lequel doit fléchir ? Lequel doit l'emporter ? Telle était la question à résoudre. Votre commission, messieurs, l'a mûrement examinée. Voici le résultat de ses délibérations.

« Il n'en est pas des chemins de fer comme des moyens vulgaires de locomotion. Les routes peuvent se multiplier, se ramifier à l'infini sur la surface du territoire, aller chercher en quelque sorte tous les besoins. Les voies de fer ne le peuvent pas. Elles entraînent avec elles trop de dépenses de construction, de surveillance, d'administration, pour que, dans l'état actuel des faits connus, on puisse songer à les distribuer, nous ne disons pas avec cette profusion, mais en proportion même de tous les besoins. Bien des révolutions s'accompliront dans la science, bien des changements s'opéreront dans la situation de l'industrie, avant que le réseau voté en 1842, où les lignes les plus importantes ont pu seules trouver place, soit construit. Par conséquent, il y aura bien des souffrances, il y aura un grand trouble porté dans la situation respective des diverses localités et dans les conditions de leur richesse relative. Aussi approuvons-nous hautement la juste sollicitude avec laquelle le gouvernement et les Chambres cherchent à diminuer, autant que possible, les maux inévitables, à ménager les transitions, à éviter ces déplacements de circulation qui dépouillent les uns au profit des autres. La sagesse, la justice, l'intérêt à venir des chemins de fer, le commandent. C'est une règle en dessous de toute application aux

cas spéciaux ; la commission veut avec raison généralement l'appliquer.

« Mais, lorsque l'application de cette règle a pour résultat de porter atteinte au principe fondamental de l'établissement des voies de fer, lorsqu'elle conduit à en multiplier l'emploi au delà des besoins, sans les proportionner à l'activité des relations existantes, ou à rendre ruineuses des entreprises qui auraient pu sans cela être profitables ; alors mieux vaut, selon nous, produire un mal en quelque sorte individuel et local, par des mesures toujours regrettables en elles-mêmes, mais nécessaires, qu'un mal public et général, par des mesures conçues dans un faux esprit de conciliation. »

Les pentes du chemin de fer du Nord ne dépassent jamais 5 millièmes. De Paris à Soisy, dans la vallée de Montmorency, elles sont généralement de moins de 3 millièmes ; à Soisy, on commence à s'élever vers Franconville, en suivant une rampe qui a environ 6 kilomètres de longueur, et dont la pente a 3 ou 4 millièmes ; de Franconville, on descend à Pontoise par une pente à peu près semblable. De Pontoise à Clermont, les pentes sont ordinairement de 3 millièmes et au-dessous ; de Clermont à Quincampoix, on gravit une rampe d'environ 4 millièmes, de 21 kilomètres de longueur, et de Quincampoix, on redescend vers Amiens par une pente qui varie de 2 à 4 millièmes. D'Amiens à Miraumont, les pentes ne dépassent généralement pas 3 millièmes. Un peu plus loin, on trouve une rampe de 4 à 5 millièmes sur une longueur de 8 kilomètres, puis une pente de même inclinaison sur 5 kilomètres. Les pentes varient jusqu'à Douai entre 3, 4 et 5 millièmes ; mais, comme elles se succèdent sur de petites longueurs avec des inclinaisons en sens contraire, elles ne sont pas défavorables à la traction. Le profil de Douai à Templemar est à peu près semblable. De Templemar à Wattignies, on suit une rampe de 5 millièmes sur 2,500 mètres environ ; puis le profil jusqu'à Turcoing offre une série de pentes et contrepentes variant de 1 à 5 millièmes. Le profil de l'embranchement de Douai à Valenciennes présente une grande analogie avec celui de Douai à Turcoing.

Les courbes de Paris à Saint-Just ont toutes au delà de 1,000 mètres de rayon. De Saint-Just à Amiens, on trouve deux courbes de

800 mètres. Au delà d'Amiens, les courbes ont également 1,000 mètres au moins de rayon, à l'exception de celle de 524 mètres de rayon au raccordement de l'embranchement de Valenciennes, tout près de Douai ; d'une autre de 500 mètres, près de la station de Lille, et d'une troisième de 620 mètres à la station de Turcoing.

Les pentes de 4 à 5 millièmes ne paraissent pas nuire à l'exploitation en ce qui concerne le transport des voyageurs ; mais, lorsqu'elles s'étendent sur une certaine longueur et se trouvent sur des parties de trajet où la courbure du chemin accroît déjà la résistance, elles nécessitent quelquefois pour la traction des convois de marchandises l'emploi de machines de renfort.

On reproche au tracé du chemin du Nord le grand nombre de courbes, surtout dans certaines parties du trajet où il semble qu'on aurait pu les éviter, et la fâcheuse position de ces courbes dans des tranchées aux abords des stations.

A peine sorti de Paris, entre cette ville et la Chapelle-Saint-Denis, où sont placés les ateliers et la gare des marchandises, on trouve une partie de la ligne recourbée en S dans une tranchée où les trains ne peuvent s'apercevoir que d'une petite distance.

A Pontoise, les abords de la station, placée à l'extrémité d'une tranchée courbe et près d'un pont dont les remblais masquent les convois, sont considérés comme très-dangereux. Un passage à niveau dans ces conditions eût été préférable à un pont.

A Saint-Denis, la station se trouve également près d'un pont, et entre deux tranchées dont la courbure est en sens contraire.

De Clermont à Ailly, le tracé est très-tortueux et presque toujours en tranchées ou en remblais.

A Douai, les fortifications masquent les abords de la station, et on avait laissé subsister, tout auprès, des ponts tournants que la Compagnie a regardés comme tellement dangereux, qu'elle leur substitue des ponts fixes.

La station de Breteuil est placée sur une rampe de 2 millièmes et demi, qui rend souvent difficiles la manœuvre et le départ des trains de marchandises.

On reproche aussi au tracé du chemin du Nord la multiplicité des passages à niveau : on en compte 1 par 1,200 mètres ; c'est en

même temps une cause d'accidents et une lourde charge pour l'exploitation.

Les travaux d'art du chemin du Nord n'offrent aucune particularité digne d'intérêt. Les travaux de terrassement ont été assez considérables. Sur certains points, ils ont présenté de grandes difficultés d'exécution, par exemple, la tranchée des Ogiers, entre Lille et la frontière belge, tranchée qui a été creusée par des procédés décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Deux stations sur le chemin du Nord méritent d'être étudiées : la station de départ à Paris et la station d'Amiens, commune aux chemins du Nord et d'Amiens à Boulogne. La charpente de la station de Paris est remarquable par sa légèreté.

On trouve, sur le chemin du Nord, quatre stations à point de rebroussement : celle d'Amiens, de Lille, de Valenciennes et de Douai. On a établi des courbes de raccordement pour éviter aux convois l'entrée dans la station.

Le chemin du Nord est l'œuvre de deux habiles ingénieurs des ponts et chaussées, MM. Onfroy de Bréville et Busche.

Chemin de Paris à Rouen. — Le chemin de Rouen est l'un des chemins projetés, il y a quelques années, dans le système des pentes les plus faibles. Les études du projet, qui a été mis à exécution, ont été faites par deux ingénieurs distingués du corps des ponts et chaussées, MM. Bellanger et Polonceau, que l'on a vus avec peine privés de la gloire de mettre à exécution cette grande œuvre qu'ils avaient si habilement préparée.

Ce chemin, qui longe sur une grande partie de son parcours les rives de la Seine, ne présente nulle part des pentes dépassant $0^m,00562$ par mètre, et le rayon des courbes n'y est pas de moins de 1,285 mètres.

Pour obtenir ce double résultat et pour diminuer le parcours, on a dû percer quelques-uns des mamelons que la rivière contourne. Aussi trouve-t-on sur le chemin de Rouen plusieurs tunnels d'une certaine longueur, parmi lesquels nous citerons celui de Rolleboise, long de 2,700 mètres, et exécuté en deux années.

Le tracé du chemin de Rouen, adopté à une époque où déjà l'on attachait moins d'importance à suivre la ligne la plus directe, passe

cependant à 6 kilomètres environ de la ville de Louviers, et à 10 kilomètres d'Elbeuf, lorsqu'on aurait pu, sans de très-grandes dépenses, s'en rapprocher davantage.

Ce tracé n'est pas le seul qui ait été étudié : en 1854, un premier projet fut soumis aux enquêtes. Le chemin, d'après ce projet, s'éloignait considérablement de la rivière. De Paris, il se dirigeait sur Saint-Denis, Pontoise, Gisors, Charleval, puis, arrivé à Blainville-sur-Ry, au lieu de se porter vers Rouen, il se prolongeait directement et presque en ligne droite jusqu'au Havre d'un côté, et jusqu'à Dieppe de l'autre. Rouen n'était alors desservi qu'au moyen d'un embranchement jeté dans la vallée de Robec, et se trouvait ainsi délaissé à 20 kilomètres, sur la gauche, au fond d'une impasse et en dehors de la grande ligne de Paris à la mer.

Ce projet fut accueilli par un cri presque général de réprobation. Non-seulement la ville de Rouen fit entendre ses plaintes comme ancienne métropole de la province, comme centre du mouvement entre le Havre et Paris ; mais le Havre lui-même et les populations du pays de Caux qui entretiennent avec Rouen des rapports continuels protestèrent contre cette espèce de divorce auquel on les condamnait, ou tout au moins contre un circuit qui devait rendre presque nul le bienfait de la vitesse.

De nouveaux projets, toujours sur la rive droite et par les plateaux, furent étudiés. De nombreuses et importantes modifications furent apportées au projet primitif. Un tracé fut proposé qui desservait la ville de Rouen, non plus au moyen d'un embranchement, mais par le chemin principal, qui touchait un des boulevards de la ville, et se prolongeait ensuite sur la vallée de Déville jusqu'à la mer ; d'un autre côté, le Havre et le pays de Caux étaient mis en communication directe avec Rouen ; enfin, pour aller au-devant de toutes les objections, pour procurer à cette dernière ville un des avantages qui l'avaient séduite dans le projet de la vallée, un embranchement détaché de Charleval et descendant par la vallée de l'Andelle venait aboutir au faubourg Saint-Sever, et offrait en même temps le précieux avantage d'établir des communications rapides avec les villes d'Elbeuf et de Louviers, ainsi qu'avec toutes les populations environnantes. Ce tracé fut sur le point d'être exécuté par

L'ancienne Compagnie, dite des Plateaux, Compagnie qui entra en liquidation avant même d'avoir commencé les travaux.

Ce tracé des plateaux desservait la vallée de Montmorency, et, tout en se prolongeant aisément d'une part sur Dieppe, et d'autre part sur le Havre, il se prêtait facilement à des embranchements sur Bruxelles, Calais et Boulogne. Il était donc, au point de vue politique, préférable au tracé sur la rive gauche. Il mariait pour ainsi dire la France avec l'Angleterre et la Belgique; mais, d'un autre côté, il négligeait les riches et nombreuses populations de la partie de la vallée de la Seine comprise entre Louviers et Paris; il ne facilitait pas les rapports avec l'ouest de la France, et n'était pas protégé par le fleuve contre les agressions de l'ennemi. Enfin, et cette dernière considération a exercé, fort à tort, selon nous, une grande influence sur le choix de l'administration, il ne venait pas se souder comme le chemin actuel au chemin de Saint-Germain, et nécessitait par conséquent la construction d'une gare spéciale dans Paris.

Les chemins de Paris à Rouen, et de Rouen au Havre, ont été construits par M. Locke, ingénieur de plusieurs grandes lignes en Angleterre. Les travaux de maçonnerie de ces deux chemins ont un caractère de hardiesse particulier aux œuvres des ingénieurs anglais; cette hardiesse dans les constructions n'a rien de dangereux; et, si l'un des plus grands viaducs du chemin du Havre s'est écroulé, cela tenait, non à ses dimensions, qui étaient suffisantes, mais au peu de soin apporté dans la confection des mortiers.

Les Anglais ont aussi introduit en France d'excellentes méthodes pour l'exécution des terrassements au waggon.

Chemin de Lyon à Avignon. — Le chemin de Lyon à Avignon forme le complément de la grande ligne de communication de Paris à Marseille, de l'Océan et de la mer du Nord à la Méditerranée. Cette ligne a toujours été considérée comme l'une des plus importantes à ouvrir sur le territoire du royaume; elle se recommande d'ailleurs sous d'autres points de vue non moins dignes d'intérêt, et doit affranchir le commerce des entraves qu'apporte et qu'apportera toujours à la remonte la navigation du Rhône; elle tend, en outre, à maintenir au travers de notre territoire le commerce de transit de la Méditerranée sur la Suisse et sur le Rhin.

Les cotons de l'Égypte et du Levant arrivent par Trieste à Zurich et en Allemagne à bien meilleur marché que par Marseille, et, sans les douanes, qui prohibent l'entrée de cette marchandise en France par la voie de terre, tous les manufacturiers de l'Alsace préféreraient la tirer de Trieste par la voie de Zurich que de Marseille.

La vallée du Rhône étant plus favorable que toute autre voie pour arriver en Alsace et en Allemagne, le contraire arrivera lorsque les chemins de fer de Marseille à Lyon et de Dijon à Mulhouse seront livrés à la circulation sur toute l'étendue du parcours.

Marseille est non-seulement le chef-lieu du Midi, mais il est encore le centre du commerce de la Méditerranée. Ses relations avec le Levant, l'Égypte, l'Amérique et les Indes, sont immenses; elle en a lié de plus récentes avec Odessa et Trieste, et sa position est naturellement le nœud entre la métropole et la belle colonie d'Alger, appelée à prendre dans un avenir prochain un grand développement.

Par une conséquence naturelle de ces faits, Marseille est l'une des artères qui répandent au sein du royaume le plus de vie. Ses douanes, plus productives que celles du Havre, en font foi.

Il est donc vrai de dire que sa prospérité est, dans toute la force du terme, une richesse nationale; la France tout entière est intéressée à ce que les sources n'en tarissent pas.

Les premières études du chemin de fer de Lyon à Avignon ont été entreprises à l'aide du fonds de 500,000 fr., voté par la loi du 27 juin 1855, et, dès l'année 1857, un projet complet, revêtu de l'approbation du conseil général des ponts et chaussées, avait pu être mis sous les yeux de la Chambre; ce projet, sauf quelques modifications que nous allons indiquer, a été adopté tel qu'il avait été arrêté à l'époque dont nous parlons.

Le tracé se raccorde à Lyon avec celui du chemin venant de Paris dans la gare de voyageurs de la presqu'île de Perrache, traverse le Rhône sur un pont à arches de fonte, tranche le faubourg de la Guillotière, et s'établit sur la rive gauche du Rhône. De ce point, il se développe dans la plaine basse de la rive gauche du fleuve jusqu'au pied du coteau de Saint-Fond; après quoi, il passe au-dessous de Feysin, Solaize, Ternay, Chasse, Seyssuel et Estreis-

sin, et, se développant quelquefois au pied du coteau qui limite ces plaines, en longeant le Rhône au passage des rochers de Grabatton, des Roches-Piquées et des roches de Seyssuel, il s'avance jusqu'au fleuve. On arrive ainsi, après avoir traversé en coupure le petit seuil de Puissant-Dieu, à l'entrée de Vienne, sur un viaduc de 200 mètres de longueur, construit au bord du Rhône. Là, le chemin de fer franchit la route impériale de Marseille à Lyon, passe en souterrain sous le coteau de la Bâtie, sur un pont la rivière de la Gère, de nouveau en souterrain sous la ville de Vienne, et débouche derrière les casernes de cavalerie, à l'extrémité sud de la ville.

De ce point, le tracé se dirige successivement vers les plaines de l'Aiguille et du Bas-Pavé, se déroule entre la route impériale et le Rhône, puis longe le fleuve au passage des rochers de Harçon, coupe la plaine de Gerbay, se retrouve de nouveau au bord du fleuve au pied des rochers qui précèdent le village près de Condrieu, et traverse en souterrain la partie supérieure de ce village; le tracé est ensuite disposé de manière à passer au-dessous de Saint-Clair, puis dans la belle plaine basse du Péage, d'où il gagne le plateau de Saint-Rambert, en longeant immédiatement le Rhône au-devant de ce village.

Après avoir parcouru le plateau de Saint-Rambert, le tracé se développe dans la plaine basse du Creux-de-la-Tuine, laisse derrière lui Andancelle, franchit le torrent de Bancel un peu au-dessous du rocher d'Isard, coupe la plaine de l'Aveyron, traverse de nouveau la route impériale, qu'il abandonne à sa droite, et se dirige sur Saint-Vallier, où il arrive par une longue tranchée.

Alors il s'établit derrière le bourg, sous la partie supérieure duquel il passe, puis il traverse le torrent de la Galaure, après quoi il longe la route impériale, dont il contourne les sinuosités jusqu'à Ponsas. De là, il suit la base des rochers, ayant à sa droite la route et le Rhône, et arrive au village de Serves, derrière lequel il disparaît souterrainement. Après ce village, le tracé se maintient au pied des coteaux entre les villages d'Érôme et de Gervans jusqu'au commencement des rochers d'Aiguille, qui le rejettent en dehors de la route, et le forcent à passer derrière la ville de Tains. Il quitte

alors cette route pour traverser la plaine à l'extrémité de laquelle il rencontre de nouveau, près de l'auberge de la Mule blanche, la route impériale, sous laquelle il passe, et se dirige ensuite à peu près en ligne droite vers le plateau de la roche de Glun, jusqu'à la rivière de l'Isère, qu'il traverse immédiatement en aval du pont de la route impériale.

Au delà de l'Isère, le tracé se prolonge presque en ligne droite, et parallèlement à la route, vers la ville de Valence, traverse en remblai le faubourg du Nord, et en souterrain le polygone et la promenade du Cagnard, et débouche au sud de la ville jusqu'au près de Livron, où il est établi sur de longs alignements au-dessous de la route impériale jusqu'à la Drôme, qu'il traverse à 1,160 mètres en aval du pont de ladite route. De la Drôme, le tracé se replie en se rapprochant du Rhône pour venir contourner un coteau, sillonner la plaine de Mirmande, et passer au-dessous du Logis-Neuf, de la Concourde, de Laine et de Derbières, dans l'espace resserré compris entre la route impériale et le fleuve. Il coupe ensuite en ligne droite la plaine de Montélimart, franchit la rivière torrentielle du Roubion, à environ 800 mètres en aval du pont de la route, et, après s'être développé dans la plaine, contourne le coteau de Château neuf, pour venir côtoyer le Rhône, au-devant des rochers de Malmouche, jusqu'à la prise d'eau du canal de Pierrelatte, où il s'établit derrière le mur intérieur de ce canal et sur un mur de soutènement de 3,000 mètres de longueur, jusqu'au robinet de Douzères.

Depuis le robinet de Douzères jusqu'à Mondragon, le tracé est établi d'abord à droite, puis à gauche de la route impériale, sur de beaux alignements, se rapprochant de Pierrelatte et de la Palud; arrivé à Mondragon, il contourne ce village en traversant deux fois la route, puis se développe le long des coteaux qui bordent la route jusqu'à Mornas et Piolenc, arrive dans Mornas en tranchée profonde au pied des grands rochers qui dominent le village, rencontre Piolenc, coupe le seuil de Beauchène et la vallée d'Aygues, et vient desservir à l'est la ville d'Orange.

De là il se rend, par de grands alignements, vers la vallée de l'Ourèze, en coupant le faite de Pécoulette, et la descend jusqu'à

Sorgues, en touchant les riches villages de Courthejon et de Bédarides. De Sorgues, il gagne le hameau du Pontet, laisse la route à gauche, et, franchissant en remblai la plaine submersible d'Avignon, le long du Rhône, il contourne les remparts de cette ville à l'est et au midi, et vient enfin se rattacher à l'origine du chemin de fer d'Avignon à Marseille.

Le développement total de ce chemin, depuis sa sortie de Lyon jusqu'à Avignon, est de 231 kilomètres.

Le maximum des rampes et des pentes est de 5 millimètres, et encore n'en trouve-t-on d'aussi fortes que sur une longueur de 600 mètres, et de 4 millimètres sur une longueur de 375 mètres. Sur 186 kilomètres, la pente ne dépasse pas 3 millimètres; le reste du chemin est divisé en 84 paliers formant ensemble une longueur de 44 kilomètres.

Trois courbes, une de 500 mètres de rayon et de 800 mètres de longueur, une seconde de 520 mètres de rayon et de 600 mètres de longueur, et une troisième de 600 mètres de rayon et de 859 mètres de longueur, sont placées à l'entrée de stations principales. Deux courbes ont 650 mètres de rayon, et toutes les autres au delà de 700 mètres.

Le cube total des terrassements est de 6,600,000 mètres cubes, soit, par kilomètre, environ 29,000 mètres cubes.

On ne trouve, sur ce chemin, aucune tranchée d'une grande importance. La plus considérable ne cube que 210,000 mètres.

La ligne comprend 36 gares ou stations. La gare la plus importante est celle de la Guillotière, destinée spécialement au service des marchandises.

Les stations les plus considérables sont, en suivant leur ordre d'importance, celles d'Avignon, Valence, Vienne, Montélimart, Orange et Tain. L'exécution de ce chemin, livré depuis peu à l'exploitation sur la totalité de son parcours, fait honneur en même temps à M. Thirion, ingénieur en chef, à M. Paulin Talabot, directeur, et à MM. Parent, Shaken, Peto, Brassey et compagnie, entrepreneurs.

Chemin d'Avignon à Marseille. — Les débats, quant au choix de la direction générale de ce chemin par Tarascon et Arles, n'ont

pas été extrêmement vifs; mais, dans les détails du tracé et dans ceux de l'exécution, deux projets se trouvèrent en présence, celui de M. Kermaingant et celui de M. Talabot.

La première difficulté qu'il avait fallu résoudre, c'était, entre Avignon et Arles, de mettre le chemin à l'abri des inondations de la Durance et du Rhône.

M. Kermaingant proposait de renforcer seulement les digues existantes et d'établir au delà de ces digues le chemin au niveau du sol, comme le permettait sa conformation peu accidentée.

M. Talabot, au contraire, voulait, en laissant les digues pour ce qu'elles étaient, placer le chemin de fer en deçà, sur un remblai assez élevé pour se trouver toujours au-dessus des inondations.

Le cube de terrassement nécessaire à la formation de cette levée devait être de 1,750,000 mètres cubes, et la différence qui en résultait entre les devis des deux projets s'élevait à 2 millions de francs, somme dont une partie aurait certainement suffi à la mise en état des digues actuelles.

Mais la question de sécurité devait avoir le pas sur celle d'économie. Il parut indispensable de mettre ce chemin pour ainsi dire en état de se défendre lui-même; et, d'ailleurs, ne protégerait-il pas, comme première digue, les territoires compris dans son enceinte?

Le projet de M. Talabot fut donc adopté dès 1842, à cette légère modification près, que le niveau des rails, qu'il avait d'abord placé à une hauteur de 2 mètres au-dessus de la crue extraordinaire de 1840, fut abaissé de 50 centimètres par le conseil général des ponts et chaussées.

Quant à la section d'Arles à Marseille, serait-elle dirigée par le nord de l'Étang de Berre, c'est-à-dire par Saint-Chamas, comme le proposait M. Talabot; le serait-elle par le sud par Bouc et les Martigues, comme le voulait M. Kermaingant?

Telle était la question.

Le conseil général, puis les Chambres, la décidèrent en faveur du nord par diverses considérations, dont la plus puissante était la plus grande facilité d'un embranchement sur Aix, ville importante par elle-même, et destinée d'ailleurs à devenir un jour la tête de la ligne directe de Toulon à l'Italie.

Cependant les deux tracés, ayant atteint la chaîne de l'Estaque, se retrouvaient en conflit devant un commun obstacle, qu'à une époque moins avancée de l'art on eût considéré comme insurmontable : il s'agissait de traverser la montagne de la Nerthe, haute de 240 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les deux projets et tous ceux que suscita cette difficulté étaient d'accord qu'on ne pouvait la vaincre qu'au moyen d'un souterrain.

Mais les opinions se divisaient sur la hauteur à laquelle il serait ouvert.

M. Talabot proposait de percer la Nerthe à 53 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui plaçait la voie à 187 mètres au-dessous du point culminant du terrain supérieur, et donnait lieu à un tunnel de 4,600 mètres de longueur. On fut d'abord effrayé des difficultés, des dépenses et de l'incertitude d'un pareil travail ; mais les autres propositions échouèrent toutes devant des objections plus graves encore.

On avait songé à élever le souterrain à 140 mètres, ce qui lui laissait encore une longueur de 1,500 mètres ; mais il n'aurait pu être atteint qu'au moyen de deux plans inclinés prolongés sur les deux versants et franchis à l'aide de machines fixes ou de machines de renfort dont l'usage eût été onéreux à l'exploitation. D'ailleurs, à cette hauteur, le tracé à travers l'Estaque eût été très-tourmenté et l'ensemble du travail eût rencontré plus d'obstacles que le souterrain entier de 4,600 mètres.

Tout en restant à la hauteur de 53 mètres, on aurait pu diminuer de 500 mètres la longueur du souterrain à l'aide d'une pente de 7 millimètres. Cette faible abréviation ne compensant pas les inconvénients d'une inclinaison plus que double de celle des autres parties du chemin, on y renonça.

Enfin, en donnant au souterrain une inclinaison de 5 millimètres on aurait pu relever de 15 mètres sa côte de sortie. Mais, outre que cette rampe, dans une si longue voie souterraine, pouvait n'être pas sans inconvénients, on n'abrégait le trajet intérieur que de 100 mètres, et le chemin devait, dans ce système, suivre une direction qui l'allongeait de 7,700 mètres.

Le projet de M. Talabot prévalut donc sur ce point encore. Voté

en 1845, exécuté depuis sous la direction de cet ingénieur, le chemin d'Avignon à Marseille est, depuis 1847, livré à la circulation tel que nous allons le décrire.

Le départ se fait en aval de la ville d'Avignon, selon une courbe de 1,000 mètres de rayon et avec une rampe de 5 millièmes par mètre sur 1,200 mètres de longueur.

Le chemin traverse la Durance sur un grand viaduc de vingt et une arches en anse de panier de 20 mètres d'ouverture chacune. Sa longueur totale est de 555 mètres; sa hauteur de 9 mètres au-dessus de l'étiage. Après quoi, jusqu'à Tarascon, rien de remarquable, les pentes étant toujours de 2^{mm},5 au plus et les rayons des courbes de 1,000 mètres au moins.

C'est à Tarascon que se fait l'embranchement de jonction avec le chemin du Gard. A cet effet, un pont a été jeté sur le Rhône, et l'embranchement, passant à Beaucaire, va rejoindre le chemin du Gard un peu au delà de cette ville.

De Tarascon à Arles, le terrain et le tracé sont encore moins accidentés que d'Avignon à Tarascon. Les pentes n'y sont plus que de 1 millième, et, tandis que, précédemment, le remblai atteignait 9 mètres de hauteur en quelques points, comme au viaduc de la Durance, tandis qu'on y rencontrait quelques tranchées assez notables, telles que celles de la Roque, on ne trouve ici qu'un remblai continu haut de 5 mètres au plus, mais le plus souvent de 2 ou 3 mètres. Enfin on n'y compte que deux courbes de 2,000 mètres de rayon chacune.

La station d'Arles est d'une grande importance. C'est là qu'est établi l'atelier central d'entretien et de réparation de tout le matériel.

Peu après ces ateliers, le chemin traverse divers canaux et fossés sur le grand viaduc d'Arles, composé de trente et une arches en anse de panier de 21 mètres d'ouverture chacune. Ce bel ouvrage d'art présente une longueur totale de 769 mètres; mais sa hauteur maxima n'est que de 8 mètres. Au delà, le tracé présente, à la suite d'une courbe de 1,500 mètres de rayon, un alignement droit de 53 kilomètres environ. Il passe ainsi à Raphèle, à Saint-Martin-la-Crau, à Entressen, à Constantine, quelquefois en faible

tranchée, mais le plus souvent en remblai peu élevé, ou même au niveau du sol. C'est seulement entre Constantine et Saint-Chamas que, rencontrant les croupes des chaînes qui viennent mourir près de l'étang de Berre et y forment une succession continue de rochers et de ravins, il présente, en plan, une série de courbes, la plupart de 1,000 mètres de rayon, mais parmi lesquelles il s'en trouve une de 800 mètres dans une assez forte tranchée, et, en profil, des alternances sans cesse répétées de remblais et de tranchées, dont, au reste, le cube ne s'élève guère au-dessus de 50,000 mètres.

Quant aux pentes, elles ne dépassent pas 3 millimètres.

Après Saint-Chamas, on remarque une courbe, dite de Versailles, de 900 mètres de rayon; une autre de 1,000 mètres lui succède, et c'est dans celle-ci que se trouve compris le viaduc de Saint-Chamas. Ce viaduc est jeté sur un ravin de 385 mètres de largeur et d'une profondeur maxima de 22 mètres.

Il est formé de quarante-neuf arches en ogive de 6 mètres d'ouverture chacune, ou plutôt de vingt-quatre arches et demie en plein cintre de 12 mètres, entrelacées de telle sorte qu'une pile de l'une se trouve dans l'axe de l'autre et que la clef de la seconde forme la partie supérieure d'un évidement dans le tympan de la première.

Ce genre de construction tout à fait nouveau ne manque ni de solidité, ni d'élégance, ni d'originalité.

Alors se continue, sur les bords de l'étang de Berre, la succession des remblais et déblais à travers ravins et rochers, sur une longueur de 6 kilomètres, et, à la suite de courbes successives de 1,000 mètres et au delà, elle se poursuit jusqu'à 5 kilomètres de Saint-Chamas. Puis le chemin redevient rectiligne et se tient presque au niveau du sol, sur une longueur de 7 kilomètres, jusqu'au delà de la station de Berre. Vers ce point, à Brani, on trouve une courbe de 870 mètres de rayon, de 1,316 mètres de développement; puis une autre à Rognac, d'une longueur de 2,472 mètres, mais de 1,000 mètres de rayon.

On se dirige ensuite en ligne droite sur le Baoü, où se trouve un viaduc de 75 mètres de longueur et de 9 mètres de hauteur seule-

ment, composé de sept arches inégales dont la plus grande a 12 mètres d'ouverture.

Ici reparaissent les courbes de 1,000 mètres environ; l'importance des terrassements augmente, et une rampe de 5 millimètres sur 8 kilomètres conduit au viaduc de la Cudière, qui, d'une longueur totale de 65 mètres seulement, est formé de sept arches en ogive de 7 mètres d'ouverture chacune, construites dans le même système que celles du viaduc de Saint-Chamas.

De là enfin, par une rampe de 2 millimètres par mètre sur 1,000 mètres, on arrive à la tête nord du souterrain de la Nerthe.

La longueur de ce souterrain est de 4,620 mètres, sa hauteur sous clef est de 8 mètres. Il se trouve en rampe de 2 millimètres sur la moitié de sa longueur, en pente de 1 millimètre sur l'autre moitié. Il a été déblayé, à l'aide de vingt-quatre puits espacés moyennement de 200 mètres, et dont le plus grand a 180 mètres de profondeur.

Les difficultés de ce percement et son prix de revient par mètre ont été à peu près les mêmes que pour le souterrain de Blaizy sur la ligne de Paris à Lyon; nous renvoyons donc pour plus de détails à la description de ce dernier chemin.

A la sortie de la Nerthe le tracé présente, en plan, plusieurs courbes consécutives de 1,000 mètres de rayon et une de 850, et, sur le profil, une suite de ravins, dont le plus grand a 17 mètres de profondeur, et que l'on franchit au moyen : 1° de deux viaducs, l'un de cinq arches ogivales ordinaires de 8 mètres, l'autre de sept arches en plein cintre aussi de 8 mètres d'ouverture; 2° d'un remblai avec mur de soutènement de 90 mètres de long, indépendamment des remblais ordinaires.

On arrive ainsi à la station de l'Estaque, d'où l'on sort par une courbe de 1,000 mètres, puis, dans le cours d'un alignement droit de 5 kilomètres, on passe à Scon, où l'on trouve un petit souterrain de 460 mètres seulement, et l'on continue jusqu'à Saint-Joseph. On parvient ensuite à Saint-Barthélemy par une courbe de 2,000 mètres de rayon, et enfin à Marseille par une dernière de 1,000 mètres.

Dans ce trajet de 11 kilomètres entre la Nerthe et Marseille, mais surtout jusqu'au petit souterrain dont nous avons parlé, le remblai succède continuellement au déblai, et *vice versa*, donnant lieu ainsi à des terrassements plus multipliés et irréguliers que considérables.

Quant aux pentes et rampes, elles y sont toutes de 1 millimètre, à l'exception de celle d'arrivée à Marseille, qui est de 2 millimètres 1/2.

En résumé, le chemin d'Avignon à Marseille a cela de particulier que, sur un parcours total de 120 kilomètres, dont près de la moitié à travers un pays de montagnes, il ne présente aucune pente supérieure à 5 millimètres, et n'a nécessité que fort peu de courbes de moins de 1,000 mètres de rayon.

Chemin de fer de Mulhouse. — Le chemin de Mulhouse, soudé au chemin de Strasbourg à Noisy-le-Sec (9 kilomètres de Paris), traverse la Marne à une grande hauteur tout près de Nogent; il monte ensuite sur les plateaux de la Brie, qu'il traverse sur 50 kilomètres de longueur, en desservant la ville de Nangis, se confond à Flamboin avec le chemin de Montereau à Troyes. De Troyes à Chaumont, il suit la vallée de la Barse, traverse le faite séparatif des vallées de la Seine et de l'Aube, en passant par Vandœuvre, et arrive à Chaumont, où se trouve un tronc commun aux deux lignes de Mulhouse et de Blesmes à Gray. La première ligne quitte la seconde à Chalindrey, à 11 kilomètres de Langres, franchit les vallées de la Marne et de la Saône, dessert Vesoul, traverse le faite séparatif des vallées de la Saône et de l'Ognon, dessert Lure et Belfort, franchit au delà de ce point le grand faite séparatif des cours d'eau du bassin de la Méditerranée et de celui de l'Océan; puis enfin aboutit à Mulhouse, après avoir suivi les vallées de la Savoureuse et de l'Ill.

La pente maxima du chemin de Mulhouse ne dépasse pas 6 millièmes, et le rayon des courbes, si ce n'est dans les stations, ne descend pas au-dessous de 800 mètres.

Les travaux ont une grande importance. Le cube des terrassements est de 14 millions de mètres cubes, soit 58,000 mètres cubes par kilomètre.

Une partie assez considérable des tranchées sont dans l'argile ou dans des terrains de roche fort dure.

Parmi ces tranchées, on distingue celles de Maurevert, Chalmaisson, Chamarande, Jessains, etc.

Comme souterrain, nous citerons ceux de Culmont, long de 1,320 mètres, Torcenay, Grattery, Genevreuille et la Challière.

Ce dernier est un des plus importants : il a 1,100 mètres de longueur.

On trouve sur le chemin de Mulhouse le plus bel ouvrage d'art qui ait été exécuté en France sur un chemin de fer, le grand pont de Nogent-sur-Marne et les viaducs aux abords. Nous décrirons plus loin cet ouvrage remarquable, dont les projets ont été rédigés par MM. Vuigner, ingénieur en chef; Collet Meygret, ingénieur principal, et Pluyette, ingénieur ordinaire, et qui a été exécuté, sous la direction immédiate de M. Pluyette, par M. Duplaquet, chef du service des entrepreneurs MM. Parent et Shacken. Outre ces viaducs, on en rencontre quelques autres qui ne sont pas moins dignes d'intérêt. Tels le viaduc de la Voulzie, près Provins; celui de Chaumont, et le viaduc de la Largue, entre Belfort et Mulhouse. Les fondations du viaduc de la Voulzie, s'enfonçant de 15 mètres dans la tourbe, ont présenté d'immenses difficultés qui ont été surmontées, avec autant de talent que de bonheur, par M. l'ingénieur Siben, sous la direction de MM. Vuigner et Collet Meygret. Ce viaduc est remarquable aussi par la légèreté de ses arches et par l'économie apportée dans chacun des détails de la construction. Le viaduc de Chaumont, long de 600 mètres et haut de 50 mètres au maximum, cube près de 60,000 mètres. Ce magnifique travail, qui fait le plus grand honneur à M. l'ingénieur en chef Zeiller, et à M. l'ingénieur ordinaire Decomble, a été construit en moins d'une année. Le mérite de l'exécution est partagé par les ingénieurs avec le chef de service de l'entrepreneur M. Gourdin.

Le viaduc de la Largue, moins important que les précédents, est entièrement en briques, et réunit une grande solidité à une grande élégance. Ce n'est que justice de nommer l'ingénieur ordinaire, M. Daigremont; l'ingénieur principal, M. Fleur-Saint-Denis, et l'ingénieur en chef, M. Vuigner.

Nous publierons, dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*, les plans, coupes et élévation de ces différents viaducs, et décrirons l'organisation des chantiers établis pour la construction du pont de Nogent et du viaduc de Chaumont.

La plupart des stations du chemin de Mulhouse sont remarquables par leur bonne disposition et par leur élégance. Elles sont l'œuvre de M. Bellanger, architecte de la compagnie.

Chemin de Paris à Saint-Germain et de Paris à Auteuil. — Le chemin de fer de Saint-Germain, construit par MM. Lamé, Clapeyron et Stéphane Mony, à une époque où les machines locomotives étaient loin d'avoir atteint leur état de perfection actuel, a été établi à grands frais avec des pentes qui ne dépassent pas 4 millimètre, et des courbes dont le rayon ne descend pas au-dessous de 2,000 mètres.

Les courbes étant de niveau tandis que les alignements ont 4 millimètre de pente, les ingénieurs avaient calculé que l'effort de traction nécessaire pour gravir les pentes en ligne droite était égal à celui qu'exigeait le parcours des courbes de 2,000 mètres de rayon et de niveau, en sorte que l'effort des locomotives serait le même sur des rampes ou dans les parties de niveau.

On aurait évité de grandes dépenses de construction sans augmenter sensiblement les frais d'exploitation en admettant des pentes plus fortes et en réduisant le rayon des courbes.

Le chemin de fer de Saint-Germain devait, dans l'origine, s'étendre jusqu'à la Madeleine. On a sagement renoncé à ce projet, et la gare d'arrivée s'est trouvée définitivement placée rue Saint-Lazare, où elle dessert en même temps les chemins de Versailles (rive droite), d'Auteuil, de Rouen et de l'Ouest.

En revanche, le railway, qui, pendant longtemps, s'est arrêté au Pecq, au bas de la colline de Saint-Germain, a été prolongé jusqu'à l'entrée de la forêt au moyen d'un plan incliné que l'on remonte à l'aide du système atmosphérique.

Les travaux de ce plan incliné ont été étudiés et conduits avec une rare habileté par M. Eugène Flachet, ingénieur civil, l'un des auteurs du projet primitif du chemin de Saint-Germain. Nous aurons l'occasion de les décrire plus loin, en traitant de ce nouveau système de locomotion.

Tout récemment enfin, la Compagnie de Saint-Germain a construit un embranchement de 4,200 mètres de longueur entre Asnières et Argenteuil, et, le 2 mai 1854, elle a inauguré le chemin d'Auteuil¹. Par les conditions spéciales de son établissement et de son exploitation, avec une circulation qui atteignait déjà 8,000 personnes par jour pendant le mois de mai dernier, et qui s'élevait au chiffre énorme de 20,150 voyageurs le premier dimanche de sa mise en exploitation, cette dernière ligne offre, sans contredit, le plus curieux exemple de chemin de banlieue qu'il soit possible de rencontrer. Les renseignements suivants, que nous devons à l'obligeance de MM. les ingénieurs de Saint-Germain, feront bien comprendre les sujétions imposées à cet embranchement et les procédés élégants adoptés pour son exécution.

L'embranchement sur Auteuil se détache du chemin de fer de Saint-Germain, à la sortie du souterrain des Batignolles, à 1,100 mètres environ de l'origine du chemin de fer. Son tracé est compris, comme celui du chemin de fer de ceinture, entre le mur d'octroi et l'enceinte fortifiée; il traverse la plaine de Courcelles, à peu près à égale distance de ces deux murs; il suit cette direction dans le village des Thernes, en appuyant un peu sur la droite, et arrive au pied des fortifications, à l'avenue de Neuilly (route n° 15); au delà de cette avenue, il prend un peu sur la route militaire, qu'il suit régulièrement jusqu'à l'avenue Dauphine.

Le tracé s'éloigne alors des fortifications pour éviter le parc de la Muette; il traverse l'avenue de Saint-Cloud (route départementale n° 46), au point où la rue de la Tour vient y déboucher, passe derrière la grande Muette, et arrive sur le quinconce de Passy après avoir traversé la petite Muette. Il suit, au delà, la ligne des maisons qui bordent le quinconce, et vient retrouver la route stratégique, qu'il laisse à sa droite, pour entrer dans le parc de Montmorency, à l'extrémité duquel se trouve la station d'Auteuil sur la route départementale n° 29, de Paris à Boulogne.

Une condition expresse de la concession a été de passer sous

¹ La description de ce chemin, construit par M. Eugène Flachet, est extraite des *Annales des ponts et chaussées* (mai et juin 1854).

toutes les routes que rencontre le tracé ; le profil, pour satisfaire à cette condition et avoir le moins de déblais possible, a dû être accidenté. En quittant la ligne de Saint-Germain, il descend par une pente de $0^m,005$, et passe à Batignolles sous les rues d'Orléans, Cardinet, de la Gare, de la Santé, sous la route départementale n° 35, de Paris à Asnières ; puis il traverse en palier sous les rues de Courcelles, Lombard, de la Chaumière et de l'Arcade ; il passe sous la rue de Villiers avec une pente de $0^m,003$, et remonte ensuite par une pente de $0^m,009$, jusqu'au delà de la route impériale n° 12 (vieille route de Neuilly), et, après avoir coupé les terrains non bâtis de Ferdinanville, entre sous la route impériale n° 15 (avenue de Neuilly), dans un souterrain de 140 mètres de longueur, sur lequel est ouverte aussi l'avenue de Saint-Denis (route départementale n° 9). Après une rampe de $6^m,001$ jusqu'à l'avenue Dauphine, on reprend une rampe de $0^m,0088$ sous l'avenue de Saint-Cloud, et on arrive à Passy par un palier, sous la chaussée de la Muette (route départementale n° 2). On se retrouve alors, pour la première fois, hors du sol, sur le quinconce de Passy, que l'on suit par un remblai de 1 mètre au maximum, toujours en palier. A l'extrémité du quinconce, commence une pente de $0^m,004$ pour descendre sur Auteuil ; les déblais recommencent jusqu'à l'extrémité du parc, et on arrive à la station d'Auteuil, sur le chemin de Boulogne (route départementale n° 29), par un remblai de $4^m,50$ de hauteur.

Tous ces passages en dessous ont été faits sur le même type, quelle que soit la largeur que le décret ait imposée aux différents passages.

Dans les passages trop biais pour faire des poutres d'une seule portée, parce que l'épaisseur du tablier ne permettait pas d'augmenter la hauteur des poutres, on a dû mettre dans l'entre-voie des colonnes en fonte qui ont divisé la poutre en deux. Dans ce cas, l'espace entre les culées a été porté de 7 mètres à $7^m,60$, pour laisser le rail toujours à la même distance des supports. Toutes les dimensions des fontes ont été calculées pour ne pas travailler à un effort de plus de 5 kilogrammes par millimètre carré de section.

Le tracé passe ainsi sous quinze voies de communication. Les

onze premières, qui sont des voies communales, sauf la route d'Asnières, ont de 8 à 9 mètres de largeur; la route d'Asnières en a 12. L'avenue des Thernes a 55 mètres de largeur; l'avenue de Neuilly, 144; l'avenue Dauphine, 185; l'avenue de Saint-Cloud, 56, et l'avenue de la Muette, 120.

Un point assez intéressant a été le passage du chemin de fer sous une maison à deux étages, située sur le quinconce de Passy. Cette maison était construite sur la masse à enlever. On a posé des chevalements qui permettaient le passage de la tranchée nécessaire pour la construction des murs de soutènement; les murs construits, on a posé des poutres en tôle au lieu de poutres en fonte, avec des sommiers et des voûtes en briques; enfin, sur ces poutres, on a placé d'autres poutres en tôle sous les murs de la maison; malgré le peu de solidité de la construction de cette dernière, le travail s'est fait sans mouvement apparent dans les plâtres.

La disposition des stations a été faite sur un même type. Sauf celle d'Auteuil, elles sont toutes placées au-dessus du chemin de fer et forment une continuation des souterrains, dont la longueur imposée à la Compagnie était beaucoup plus que suffisante pour le passage des routes. Elles se composent d'une salle d'attente avec un bureau de distribution, et d'un grand corridor conduisant aux escaliers qui mènent aux quais.

Les quais ont une hauteur de 1 mètre, et sont recouverts par une toiture métallique portée sur des colonnes et sur les murs.

Les colonnes sont placées sur le quai, à 2 mètres des bords; elles portent des chéneaux qui forment entablement; sur ces chéneaux viennent s'ajuster, du côté de la voie, un arc en tôle ondulée, qui va d'un quai à l'autre, et, du côté du mur, une petite ferme en fonte qui supporte une vitrine. Dans la tôle ondulée, les jours sont pris par des arcs en fer à vitres, qui s'assemblent aux tôles.

Dans deux stations, cette disposition a été simplifiée, et les chéneaux portent directement sur les murs; l'arc en tôle ondulée couvre alors toute la station.

L'embranchement d'Auteuil, sur ses 8 kilomètres de parcours, dessert six stations à la rencontre des principales voies de communication.

L'exploitation du chemin de fer d'Auteuil a nécessité la création d'un matériel supplémentaire de celui de la Compagnie de Paris à Saint-Germain.

Pour satisfaire à l'exigence d'un parcours rapide, malgré l'extrême rapprochement des stations, les locomotives devaient pouvoir démarrer et s'arrêter beaucoup plus vite qu'on ne le fait sur les grandes lignes. Les dispositions arrêtées par M. Charles Rhoné, ancien élève de l'École centrale, atteignent parfaitement le but proposé, et méritent au plus haut degré de fixer l'attention des ingénieurs et des constructeurs. Nous les décrirons au chapitre des locomotives.

Chemin de Dublin à Kingstown¹. — Le point de départ du chemin de fer de Dublin à Kingstown est situé dans l'intérieur même de la ville de Dublin, à 20 pieds au-dessus du sol, dans une rue appelée *Westland-Row*.

Ce chemin traverse les rues étroites sur des ponts élégants d'une seule arche et les rues les plus larges sur des ponts composés de trois arches; une petite au-dessus de chaque trottoir et une grande au-dessus de la chaussée.

L'espace d'une rue à l'autre est occupé par des remblais de sable, gravier, etc., compris entre de grands murs en pierre calcaire provenant des carrières de Donybrook.

La largeur du railway, du point de départ à *Westland-Row* jusqu'au quai de Dublin, est de 18 mètres entre les parapets, et est calculée pour permettre la pose de quatre voies.

De ces quatre voies, les deux du milieu sont destinées aux voyageurs allant dans un sens ou dans l'autre, et les deux voies extrêmes sont consacrées au transport des marchandises.

Cette disposition permet d'opérer le chargement et le déchargement des marchandises avec la plus grande facilité, sans gêner en aucune manière le service des voyageurs.

Arrivé au quai des docks, on trouve le chemin de fer établi sur un magnifique pont bâti en granit à trois arches, posées en partie sur ce quai, et en partie dans le dock même.

¹ Extrait du *Journal de l'industriel et du capitaliste*.

Une des arches couvre une nouvelle rue qui occupe une partie de la largeur du quai qu'on laisse subsister ; sous la troisième passent les bateaux naviguant le long des murs des docks.

Au delà des docks, la largeur du chemin de fer diminue, et les quatre voies se réduisent à deux, dont l'écartement toutefois est encore de 2^m,50 environ, ce qui est considérable.

Les remblais s'abaissent ; on rencontre encore plusieurs ponts servant à passer au-dessus des routes, puis un pont sur la rivière Dodder, et enfin le chemin de fer se trouve au niveau du sol. C'est dans cet endroit, où le chemin rencontre la surface du sol, que l'on a établi les ateliers de construction et de réparation des machines.

De ce point jusqu'aux rivages de la mer, le chemin de fer, établi en plaine, est bordé par de larges fossés, dont le but n'est pas seulement de donner écoulement aux eaux qui pourraient le dégrader, mais encore de le protéger contre les irruptions du bétail. Il traverse plusieurs routes de niveau, entre des barrières confiées aux soins de gardes spéciaux.

A Old-Merrion, le spectacle change : au moment du flux, on découvre tout à coup une immense jetée baignée par les eaux de la mer. C'est le chemin lui-même, qui, construit sur cette jetée, plonge pour ainsi dire dans la mer, et sur lequel on voit par moment apparaître subitement et disparaître avec la rapidité de l'éclair des machines locomotives qui semblent glisser à la surface de l'eau.

Si l'on est frappé d'admiration devant ce magnifique travail, on éprouve aussi un sentiment de satisfaction en voyant la mer déposer tranquillement des amas de sable qui protègent le talus contre l'action des vagues, à laquelle on prétendait qu'il ne pourrait pas résister.

Aux basses eaux, la jetée, percée d'arches nombreuses donnant passage à l'eau qui alimente plusieurs établissements de bains, n'est plus qu'un simple viaduc établi sur le rivage.

Le railway n'a pas seul trouvé place sur cette digue colossale. Une promenade délicieuse, pendant les soirées d'été, a été ménagée parallèlement au chemin de fer.

A Booters-Town, on a établi une jetée perpendiculaire à celle que nous venons de décrire, pour communiquer avec la côte, et on a

de cette manière rendu à l'agriculture une étendue de terrain qui n'a pas moins de 50 acres.

A Black-Rock, où se termine la grande jetée, la Compagnie du chemin de fer elle-même a fait construire un superbe établissement de bains.

De Black-Rock à Kingstown, le chemin de fer est établi sur une chaussée à mi-côte, remarquable par la hauteur des murs qui la protègent contre les éboulements du côté de la terre; puis il traverse la délicieuse propriété de lord Cloncurry, pénètre sous terre par une galerie suivie d'une tranchée profonde de 12 mètres, et enfin arrive à Kingstown, après avoir sauté de rocher en rocher.

A Kingstown, il traverse l'ancien port de Dunleary, dont une partie a été comblée.

Il passe ensuite entre la tour de Martello et la batterie opposée à Crofton-Terrace, dans une profonde tranchée.

De la batterie aux dépôts de l'amirauté, le chemin côtoie le port au travers de chantiers où se rencontrent les bois du Canada et ceux de la Norvège.

Le chemin passe enfin derrière les dépôts de l'amirauté et se termine par une gare vis-à-vis la cour des commissaires (Commissioners' yard).

De Dunleary jusqu'à ce point extrême, le chemin de fer marche parallèlement à une route dont il est séparé par une grille de fer.

Le chemin de Dublin à Kingstown a été établi, comme une partie des chemins de fer de construction ancienne, sur des dés qui ont 0^m,60 de côté, éloignés de 0^m,90 d'axe en axe, suivant la longueur du chemin.

Ces dés sont en granit, et, de 4^m,60 en 4^m,60, c'est-à-dire aux extrémités de chaque rail, on a placé un dé qui traverse la voie, de manière à relier les bandes de fer placées de l'un et de l'autre côté du chemin.

Nous ne connaissons pas la longueur exacte de ce chemin; elle doit être d'environ 10 à 12 kilomètres seulement.

Chemin de Londres à Birmingham. — Georges Stephenson venait de terminer le chemin de Liverpool à Manchester, lorsque son fils Robert entreprit celui de Londres à Birmingham.

Ce chemin est un des plus importants de l'Angleterre, puisque c'est la grande route de Londres vers le Nord ; c'est aussi un des chemins établis avec le plus de soin.

Construit à une époque où les machines locomotives en usage étaient faibles comparativement à celles que l'on emploie aujourd'hui, et où d'ailleurs on sacrifiait assez volontiers la question financière à la question d'art, le chemin de Londres à Birmingham a été établi à grands frais dans le système des plus faibles pentes.

Il est vrai que, à la sortie de Londres, les voyageurs sont obligés de remonter une rampe dont l'inclinaison, variant de 1 1/2 centième à 7 millièmes, est, en moyenne, de 4 centième ; mais, du sommet de cette rampe jusqu'à Birmingham, les pentes ne dépassent pas 5 millimètres par mètre, et le rayon des courbes ne descend que dans un seul cas, par exception, à 540 mètres.

Le plan incliné à la sortie de Londres a été longtemps desservi par deux puissantes machines fixes. Si l'on se servait alors de machines fixes, ce n'était pas que l'on considérât la rampe comme impraticable pour les locomotives, mais le mode d'exploitation par locomotives paraissait peu avantageux, parce que, le plan incliné se trouvant à la sortie de la station, les locomotives n'avaient pas le temps d'acquérir une vitesse suffisante au moment où elles atteignaient le pied de la rampe, et qu'ainsi la vitesse avec laquelle elles pouvaient remonter les convois était généralement plus faible que celle que produisaient les machines fixes. D'ailleurs, comme les locomotives ne peuvent développer leur force qu'en vertu de l'adhérence de leurs roues motrices sur les rails, on craignait que, comme les brouillards de la Tamise rendent les rails constamment humides, deux locomotives, telles qu'on les construisait alors, ne fussent insuffisantes pour remorquer un convoi de huit voitures.

Aujourd'hui que l'on emploie des locomotives plus puissantes, on a entièrement renoncé au service des machines fixes.

Les travaux de terrassement exécutés pour l'établissement du chemin de Londres à Birmingham sont immenses.

Parmi plusieurs tranchées considérables ouvertes sur cette ligne, on distingue la tranchée du Tring, qui a 4,000 mètres environ de

longueur, et 17 mètres de profondeur sur près de 400 mètres. Le cube des terres extraites de cette immense tranchée n'est pas moindre de 1,100,000 mètres. Une partie de ces terres, déposées en cavaliers sur les bords de l'excavation, a été élevée à la surface par des procédés que nous décrirons plus loin.

La tranchée de Blisworth, la plus importante du chemin de Londres à Birmingham après celle de Tring, cube 700,000 mètres. On a rencontré, dans l'exécution de ce travail, de grandes difficultés; la partie supérieure, composée de roc dur, a été enlevée à la poudre. Sous ce rocher, se trouvait une couche d'argile coulante; on n'a pu soutenir les talus dans cette argile qu'au moyen de murs très-dispendieux réunis dans le bas par un radier.

Dans d'autres tranchées, il s'est manifesté des éboulements que l'on a eu grand'peine à contenir.

Le volume de certains remblais du chemin de Londres à Birmingham, sans atteindre celui des tranchées, n'en est pas moins considérable. Le remblai de Wolverton, cubant environ 400,000 mètres, élevé sur un terrain marécageux, n'a cessé de s'affaisser que, lorsqu'en élargissant sa base on est parvenu à en diminuer suffisamment la pression sur le sol.

Le viaduc de Wolverton, composé de six arches surbaissées en briques, a 100 mètres de longueur.

A Birmingham et sur plusieurs points de la ligne, on trouve d'autres viaducs en briques également importants.

Midland-Counties-Railway. — Le Midland-Counties-Railway, réunissant le chemin de Londres à Birmingham au Nord-Midland, se détache du premier à la station de Rugby et se soude au North-Midland à Derby. Il passe à Nottingham et Leicester. C'est en 1836 que la Compagnie concessionnaire a obtenu l'autorisation de le construire. Il a été ouvert dans toute sa longueur en mai 1840.

Les plus fortes pentes y sont de 3 millièmes. Les courbes y sont toutes de grand rayon.

Le cube moyen des terrassements, sur ce chemin, est de 45,600 mètres cubes par kilomètre.

Le nombre des ponts en dessus ou en dessous est de 148. Les

souterrains sont au nombre de trois, dont la longueur totale n'est que de 285 mètres.

Greath-North-Railway. — Ce chemin, long de 75^k,623, a été concédé en 1836, avec un grand nombre d'autres. Il s'étend de York à Newcastle et se relie au North-Middland par un embranchement. On n'y trouve pas de pentes dépassant 2 1/2 millimètres. Son tracé est presque entièrement en ligne droite.

Le cube des terrassements n'est que de 15,290 mètres cubes par kilomètre; le nombre des ponts en dessus ou en dessous est de 42.

North-Middland-Railway. — Le North-Middland-Railway, ainsi qu'on peut le voir sur la carte, constitue, avec le Middland-Counties-Railway et une grande partie du chemin de Londres à Birmingham, une des grandes lignes qui s'étendent du sud au nord de l'Angleterre, de Londres à Newcastle; sa longueur est de 117 kilomètres.

Toutes les courbes, sur ce chemin, ont 1,600 mètres au moins de rayon, et les pentes n'y dépassent pas 4 millimètres. Si donc on se reporte à la description que nous avons donnée du tracé du chemin de Londres à Birmingham et du Middland-Counties-Railway, on remarquera que, nulle part, sur le chemin de Londres à Newcastle, par Rugby, exception faite d'une très-petite partie du parcours, les pentes ne dépassent 4 millièmes et que le rayon des courbes excède généralement 1,500 mètres. Il en est de même sur le grand chemin transversal de Douvres à Bristol, tandis que les lignes de Liverpool à Hull et de Newcastle à Carlisle ont été tracées, au contraire, avec des pentes d'environ 1 centième et des courbes de moindre rayon.

Les travaux de terrassement du North-Middland-Railway, s'élevant à 62,000 mètres cubes par kilomètre, sont considérables.

Les plus importants sont la tranchée de Vakeeshan, dont le cube est de 460,000 mètres, et celle de Normanthon, cubant 382,000 mètres. Les souterrains sont au nombre de sept, longs de 5,500 mètres; le plus considérable a 536 mètres.

On trouve sur le North-Middland-Counties-Railway cent trente-trois ponts ou viaducs, parmi lesquels on distingue le grand viaduc

de Calder composé d'une arche de 27 mètres d'ouverture, et de cinq autres de 18 mètres.

Le North-Middland-Railway est le plus remarquable de l'Angleterre, avec le Great-Western ou le chemin de Bristol, pour le luxe des stations.

La grande station de Derby, où se croisent trois chemins de fer, et dans laquelle on a concentré le service des voyageurs, des marchandises et des ateliers, est une des plus intéressantes à étudier. Elle a été décrite dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Les autres stations ont été construites dans un style d'architecture élégant et varié.

Chemin de Londres à Bristol. — Le chemin de Londres à Bristol, désigné en Angleterre par le nom de Grand-Occident (Great-Western-Railway), n'est pas seulement l'un des plus importants de la Grande-Bretagne comme l'une des lignes les plus commerciales de ce pays, il est encore, au point de vue technique, l'un des plus dignes d'étude.

Tout, sur ce chemin construit par Brunel fils, porte un cachet d'originalité. Le tracé en est remarquable ; la voie, le matériel, les stations, présentent des dispositions qui fixent l'attention des ingénieurs.

La pensée qui a présidé au choix du tracé est la même que celle qui a guidé dans l'étude du chemin de Londres à Birmingham, construit vers la même époque. On n'a épargné ni soins ni dépenses pour réduire autant que possible l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.

De Londres à l'embranchement d'Oxford, partie de la ligne la plus fréquentée, les pentes, sur une grande longueur, n'excèdent pas 7 dixièmes de millimètre. Puis, jusqu'au plateau le plus élevé, à Swindon, le chemin continue à s'élever graduellement, sans aucune ondulation, avec une inclinaison de 11 dixièmes de millimètre. De ce point culminant, enfin, le chemin redescend vers Bristol.

Sur cette partie de la ligne, la configuration du terrain a nécessité des pentes supérieures à celles qui précèdent ; mais l'ingénieur les a concentrées sur un espace comparativement court en adoptant

des rampes opposées inclinées chacune de 9 millièmes $1/2$, l'une ayant 1,200 mètres de longueur, l'autre 4,000 mètres. Les pentes intermédiaires ne dépassent nulle part $2^{\text{mm}},9$. C'est sur la dernière rampe de 9 millièmes $1/2$ que se trouve le souterrain de Box, qui est le seul passage difficile de toute la ligne.

Le rayon des courbes est plus grand que sur tout autre chemin de fer, puisqu'il est généralement de 6,400 à 11,000 mètres.

Parmi les travaux remarquables exécutés sur le chemin de Bristol, il faut nommer le pont sur la Tamise, à Maidenhead; c'est le travail le plus hardi qui ait été exécuté en petits matériaux.

Il se compose de deux grandes arches elliptiques ayant chacune 28 mètres 90 centimètres d'ouverture, c'est-à-dire 60 centimètres seulement de moins que le nouveau pont de Londres, construit en granit et l'un des plus beaux ponts en pierre que l'on connaisse.

La largeur de la voie, sur le chemin de Londres à Bristol, est presque le double de celle de la plupart des grandes lignes d'Angleterre (7 pieds au lieu de 4 pieds 8 pouces). M. Brunel, en élargissant ainsi la voie, s'est proposé principalement de faciliter l'emploi de machines de plus grandes dimensions, capables de traîner de plus lourdes charges à de plus grandes vitesses. Nous verrons plus loin jusqu'à quel point cette modification est heureuse.

Ce n'est pas seulement par les dimensions que la voie du chemin de Bristol diffère des autres chemins de fer, elle offre aussi un mode de construction qui lui est particulier.

Sur la plupart des autres chemins, les rails sont en fer plein, et ils sont fixés par des pièces en fonte nommées coussinets et des traversines en bois qui servent de fondation à la voie; sur le chemin de Bristol, les rails sont, au contraire, en fer creux, cloués à des solives en bois qui en deviennent pour ainsi dire parties intégrantes, et ces rails en bois et fer sont fixés sans intermédiaire aux traversines qui reposent sur la chaussée. Le chemin ainsi construit est plus élastique, et, par suite, le mouvement des machines et des voitures y est plus doux.

Dans l'origine, une partie des traverses étaient fixées au sol au moyen de pieux faisant office de pilotis; mais on a, depuis lors.

supprimé ces pieux, entre lesquels la voie, fléchissant outre mesure, finissait par se courber.

Les machines locomotives et les voitures du chemin de Bristol, aussi bien que la voie, ne sont pas seulement intéressantes par leurs dimensions exceptionnelles, elles présentent des dispositions particulières. Nous nous réservons d'en parler dans le second volume de cet ouvrage.

Plusieurs des stations, celle de Windsor, par exemple, ont cela de remarquable que, par suite d'une combinaison des voies que nous décrirons plus loin, le départ et l'arrivée ont lieu du même côté, tandis que sur les autres chemins, ainsi que chacun le sait, on part d'un côté et on arrive de l'autre.

Le chemin de Bristol a coûté excessivement cher, puisque le prix du kilomètre s'élève à 886,000 fr.; mais les produits se sont heureusement trouvés en rapport avec la dépense.

Chemins de Versailles. — Des deux chemins de Paris à Versailles, celui de la rive gauche, plus particulièrement, offre une preuve frappante de la nécessité de ne pas sacrifier dans l'étude des chemins de fer toute considération financière aux considérations techniques.

Tout le monde conviendra aujourd'hui qu'aucun des deux tracés admis pour ces deux chemins n'était le meilleur.

On avait proposé un troisième tracé bien préférable. Ce tracé, partant de l'extrémité du Cours-la-Reine, passait sous la montagne de Chaillot par un souterrain de 940 mètres, traversait la plaine de Passy et le bois de Boulogne, franchissait la Seine sur un pont à 13^m,28^c au-dessus de l'étiage, puis se développait sur les coteaux de la rive gauche, passait derrière les villages de Suresnes et de Puteaux, entrait dans le parc de Saint-Cloud et suivait jusqu'à Versailles une direction à peu près semblable à celle que suit celui de la rive droite.

Les résultats de l'enquête avaient été favorables à ce projet, mais il a été rejeté par l'administration des ponts et chaussées à cause de la grandeur des pentes, qui étaient, sur une partie du parcours, de 8 millimètres 1/2.

Cette pente était cependant parfaitement admissible, même en

supposant l'emploi de machines médiocrement puissantes, pour ce chemin, sur lequel les convois de voyageurs ne marchent avec charge complète que les jours de fête, et, comme nous l'avons déjà fait observer, elle n'était nullement dangereuse. Elle est plus faible que la pente adoptée sur le tronç commun aux chemins de Londres à Douvres et de Londres à Brighton. Ce chemin central n'eût pas coûté plus cher que chacun des chemins de Versailles (rive droite et rive gauche), il eût été plus court, son point d'arrivée dans Paris eût été infiniment mieux placé. Il eût desservi Saint-Cloud et une partie des villages auxquels aboutissent les chemins actuels, enfin il eût donné lieu à une excellente spéculation, tandis que les chemins actuels ont été peu avantageux à leurs actionnaires. Mais revenons au chemin de Versailles (rive gauche).

Ce chemin devait partir, dès l'origine, d'un point situé dans l'intérieur de Paris, soit rue d'Assas, soit au carrefour de la Croix-Rouge, soit à la place Saint-Sulpice ; mais la Compagnie adjudicataire, effrayée du surcroît des dépenses, crut devoir s'arrêter provisoirement au dehors de la barrière, sur la chaussée du Maine.

De ce point, le chemin s'élève, par une rampe uniforme de 4 millimètres, jusqu'aux portes de Versailles, et il entre dans cette ville par une rampe de 935 mètres de longueur et de 1 centimètre d'inclinaison. On a été obligé, pour maintenir l'inclinaison de 4 millimètres prescrite par les cahiers des charges, d'exécuter des travaux immenses de terrassement, et d'élever un grand viaduc sur un mauvais sol. On eût évité une partie de ces travaux et économisé plusieurs millions en augmentant cette rampe ; mais l'administration s'est montrée d'une rigueur extrême à l'égard de la Compagnie en lui refusant un accroissement de 1 dixième de millimètre seulement!!!... Puis, lorsque, plus tard, les travaux ont été suspendus par défaut de capitaux, elle a passé d'une sévérité exagérée à une indulgence excessive, en accordant à la Compagnie, non-seulement l'établissement d'une rampe de 1 centième à l'entrée de Versailles, ce qui était sans inconvénient, mais encore en autorisant la substitution de passages de niveau à des ponts, sur certains points où ces passages, placés à l'extrémité de courbes en tranchée, sont fort dangereux, et en permettant l'ouverture d'un chemin inachevé,

et, par suite, très-imparfait. Les travaux de terrassement sur cette ligne ont été considérables, puisque le cube moyen des terrassements par kilomètre s'est élevé à 72,000 mètres, atteignant ainsi le chiffre des terrassements sur le chemin de Bristol.

Le principal travail d'art du chemin de Versailles (rive gauche) est le grand viaduc du Val-Fleury, étudié par M. Payen, inspecteur général des ponts et chaussées. Nous donnerons plus loin la description de ce viaduc.

On remarque aussi sur ce chemin les moyens employés pour consolider les talus de plusieurs tranchées ouvertes dans le sable glaiseux et ceux des remblais voisins.

Le chemin de fer de Versailles (rive gauche), devenu l'une des têtes du chemin de l'Ouest, a été prolongé jusqu'au boulevard Montparnasse.

Chemin de fer du Nord en Autriche.— Ce chemin, dont les études remontent à 1850, a été concédé en 1856 à la maison Rotschild. Commencant au Prater, à Vienne, il franchit le Danube au moyen de deux ponts sur palées en bois. Le tracé a présenté peu de difficultés, si ce n'est sur l'embranchement de Brünn, où il a fallu mettre la voie à l'abri des inondations et franchir quelques vallées transversales sur des viaducs d'une grande longueur. Ses pentes sont très-favorables et ne dépassent pas 5^{mm},3 par mètre, même au passage de la ligne de faite qui sépare le bassin du Danube de celui de l'Oder ; mais on y rencontre des courbes de 570 mètres de rayon.

Chemin de fer de Vienne à Gloggnitz.— Le chemin de Vienne à Gloggnitz fut concédé à M. le baron de Sina en 1856, à peu près à la même époque que le chemin du Nord à M. le baron de Rotschild. Il fait partie de la grande ligne de Vienne à Trieste, qui servira d'intermédiaire pour toutes les relations de l'Allemagne avec la Méditerranée.

Sur une longueur de 18^k,40, qui représente à peu près le quart du parcours total, les pentes de ce chemin atteignent de 6^{mm},6 à 7^{mm},7; le rayon minimum des courbes est de 1,600 mètres.

Les ouvrages les plus remarquables du chemin de Gloggnitz sont le viaduc de Baden, de trente arches; un pont en bois dans le système américain, d'une portée de 37^m,93, et le passage du cours

d'eau qui alimente le moulin de Perchtolsdorf au moyen d'un siphon en fonte.

Il faut aussi indiquer comme méritant une attention particulière les différentes gares de ce chemin, notamment celle de Vienne, décrite dans le *Portefeuille de l'Ingénieur* sous le nom de *Gare du chemin de fer de Vienne à Raab*.

Chemin de Munich à Augsburg. — Ce chemin, établi à une seule voie, comme le précédent, avec terrassements et ouvrages d'art pour deux voies, ne présente dans son tracé aucune particularité digne d'être citée. Les pentes sont très-faibles, les courbes de grand rayon; les rails, du modèle anglais, ne pèsent que 13^{kilog.},8 par mètre courant.

Il n'y a de remarquable sur ce chemin que les travaux exécutés pour la traversée des marais aux abords de Hattenhofer. Renonçant à assurer la résistance du terrain dans ces marais, soit par le battage d'une forêt de pieux d'une longueur de 12 à 15 mètres, ce qui eût considérablement augmenté la dépense, soit par l'emploi de fascines d'un prix également élevé et laissant craindre, pour le moment où elles viendraient à pourrir, des tassements considérables, le directeur des travaux fit au préalable assainir autant que possible, par des fossés d'écoulement, les parties de marais traversées; puis on pratiqua en échiquier, et avec espacement de 0^m,876 des trous carrés de 1^m,168 de profondeur, ayant au bas 0^m,582 de côté, au haut 0^m,876. Ces trous furent remplis de terre grasse imperméable à l'eau.

La disposition inclinée des faces des trous ayant pour effet de comprimer la terre tourbeuse du marais, on put effectuer sur cette masse rendue homogène des remblais avec un tel succès, que, depuis la mise en exploitation du chemin, aucun tassement n'a eu lieu.

Chemin badois. — Nous empruntons à M. le Chatelier la description de ce chemin.

Long de 279 kilomètres, il sillonne le grand-duché de Bade dans toute sa longueur, depuis Manheim jusqu'à Lorrach, à la frontière de Suisse, près de la ville de Bâle, court du sud au nord au pied des montagnes de la forêt Noire, et atteint tous les centres de popula-

tion de quelque importance situés à leur base. Arrivé à Heidelberg, il se rejette, par un rebroussement de l'est à l'ouest, vers Manheim, parallèlement au cours du Neckar. Un embranchement de 13^k,5 le relie à la tête du pont de Kehl; un second embranchement, partant de la station d'Oos, atteint Baden-Baden depuis le commencement du mois d'août 1845. Ce chemin de fer fait concurrence au chemin de Strasbourg à Bâle pour le transit des voyageurs entre l'Allemagne et la Suisse. On s'occupe de le faire arriver jusqu'aux portes de la ville de Bâle, et même de le prolonger jusqu'à Schaffouse. Il est exécuté et exploité par l'État, en vertu d'une loi en date du 29 mars 1838; les travaux ont été commencés le 1^{er} septembre de la même année, et les diverses sections ont été livrées à la circulation, de Manheim à Heidelberg, le 11 septembre 1840; d'Heidelberg à Carlsruhe, le 15 avril 1843; de Carlsruhe à Offenburg et Kehl, le 1^{er} juin 1844; d'Offenburg à Freyburg, en août 1845, sur une longueur totale de 220^k,5.

Les travaux d'art et les terrassements ont été exécutés pour deux voies; mais jusqu'ici on n'en a posé qu'une seule. C'est en 1845 seulement que les Chambres ont voté les crédits nécessaires pour la pose de la seconde voie.

Le tracé présentait, comme pour le chemin d'Alsace, les plus grandes facilités; cependant on l'a tourmenté sur plusieurs points pour atteindre, conformément au programme dressé par les Chambres, toutes les villes voisines de sa direction. Néanmoins il est de niveau sur 58 centièmes, et il ne présente de pentes supérieures à 4 millimètres par mètre (de 4 à 5^{mm},5) que sur 6 centièmes de sa longueur totale. Pour obéir servilement aux conditions du programme et par une raison d'économie mal entendue, sur un terrain aussi peu accidenté, on a fait descendre au-dessous de 400 mètres et jusqu'à 180 mètres le rayon de quelques courbes. Bien que ces courbes de petit rayon soient pour la plupart voisines des stations où tous les trains s'arrêtent, elles exercent une influence d'autant plus fâcheuse sur l'exploitation, qu'on a fait choix du matériel anglais sans l'approprier à un pareil service. Ce chemin est le seul en Allemagne, parmi les grandes lignes, pour lequel on ait adopté une largeur de voie supérieure à 1^m,435; mais on n'est entré que timi-

dement dans ce système d'innovation en restreignant l'écartement à $1^m,60$. Par suite, sans pouvoir jouir de tous les avantages que les partisans des larges voies leur attribuent, on s'est fermé toute communication directe avec les chemins des pays voisins.

Depuis la publication de l'ouvrage de M. le Chatelier, la seconde voie du chemin badois a été posée, le chemin s'est approché de la ville de Bâle, et la voie a été rétrécie. La construction d'un pont sur le Rhin à Kehl aura lieu prochainement et mettra ce chemin en relation avec les chemins français.

CHEMINS A PENTES MOYENNES.

Parmi les chemins de fer qui se rangent dans cette classe, il en est un grand nombre sur lesquels les transports s'opèrent à grande vitesse; ceux-là, à l'exception des chemins anglais de Newcastle à Carlisle, et de Liverpool à Manchester, ont été tous étudiés en dehors des idées exclusives qui ont présidé au tracé des lignes de Londres à Birmingham, de Paris à Rouen, de Paris à Saint-Germain, etc. Nous commencerons par la description de celui de Rouen au Havre, l'un des plus curieux par les ouvrages importants que son établissement a nécessités.

Chemin de Rouen au Havre. — Le chemin de fer de Rouen au Havre s'embranché sur celui de Paris à Rouen, à Sotteville, près Rouen, et arrive, par une rampe de 5 millimètres sur 1,400 mètres, à un pont en charpente formé de huit arches de 40 mètres d'ouverture chacune, au moyen duquel il traverse la Seine à 12 mètres au-dessus de l'étiage. Il ne tarde pas à s'engager dans le tunnel de Bonsecours, qui, percé dans la montagne Sainte-Catherine, a 1,055 mètres de longueur et 6 mètres de hauteur sous clef. Ce tunnel présente une faible pente de $1^{mm},4$ par mètre. Il se trouve, en partie, dans une courbe de 750 mètres de rayon et de 880 mètres de développement. A cette courbe en succède une autre de 925 mètres de rayon, puis, après un remblai et une tranchée assez considérables, on arrive ainsi à un second tunnel de 1,500 mètres de longueur, droit d'abord, puis en courbe de 1,600 mètres de rayon. Il présente, sur toute sa longueur, une rampe de $5^{mm},35$. Le chemin passe

par ce tunnel sous les boulevards Saint-Hilaire et Beauvoisine, puis, après un court déblai, nécessité par la station de la rue Verte, il entre, avec la même rampe, dans un nouveau tunnel de 1,184 mètres, situé sous les cimetières Saint-Maur et Saint-Gervais. Il est bon de remarquer qu'en amont et en aval de la station la rampe est de 6^{mm},55 sur 500 mètres environ, afin d'en racheter une de 0,002 seulement en guise de palier au droit de la rue Verte. Au sortir du tunnel de Saint-Gervais, on se trouve en tranchée, puis en remblai, ce dernier ayant jusqu'à 18 mètres de hauteur, et l'on arrive ainsi à un quatrième tunnel, qui n'a que 560 mètres de longueur, mais qui est percé en courbe de 800 mètres de rayon et fait partie d'une rampe de 5^{mm},3, qui s'étend, au reste, sur une longueur totale de 5,420 mètres. Ici se termine la traversée de Rouen, qui est la partie du chemin où s'étaient accumulées les difficultés les plus sérieuses et qui a occasionné la plus grande dépense.

Après quoi, jusqu'à Malaunay, le tracé ne présente que des courbes de grand rayon, mais assez multipliées, et des rampes faibles, mais presque sans interruption. Néanmoins il s'en trouve une de 5 millimètres sur 1,280 mètres, à Houpeville.

Dans ce trajet d'environ 7 kilomètres, quoique le terrain ne soit pas très-accidenté, on trouve un remblai de 250,000 mètres cubes et d'une hauteur de 28 mètres. Ce travail est le plus grand terrassement que l'on rencontre jusque-là, tous ceux qui précèdent ayant environ 100,000 mètres cubes. La vallée de Malaunay, dont le sol est de 25 mètres au-dessous des rails, est traversée par un remblai et deux viaducs. Le remblai a 400 mètres de long et 25 mètres de hauteur; son volume est de 624,000 mètres cubes. Les deux viaducs ont, l'un quatre arches, l'autre huit de 15 mètres d'ouverture; ils sont séparés par le grand remblai; le premier est précédé, et le second est suivi d'une tranchée de 250,000 mètres cubes, de sorte qu'à elles deux elles ont pu suffire au remblayement de la vallée; ces tranchées sont l'une et l'autre en courbe de 800 mètres de rayon sur un développement, l'une de 200 mètres, l'autre de 500. A la suite de cette dernière se trouve un tunnel de 2,200 mètres; la rampe y est de 5 millimètres et s'étend au delà jusqu'à un développement total de 5,240 mètres; puis les rampes deviennent plus fai-

bles, et, à part un remblai de 25 mètres, mais d'un cube total de 240,000 mètres seulement, on arrive sans difficultés à Barentin.

Là se trouve un viaduc en briques, comme tous ceux de la ligne, de vingt-sept arches de 15 mètres d'ouverture chacune, de 52 mètres de hauteur, et d'une longueur totale de 500 mètres; la rampe n'y est plus que de $1^{\text{mm}},6$, et on a eu soin de ménager en amont un palier de 580 mètres. On sait que, construit une première fois avec des matériaux peu convenables, il s'écroula entièrement, causant ainsi un grand dommage et un long retard à la Compagnie.

On ne manqua pas d'attribuer cet accident à la hardiesse peu commune des proportions de ce monument. Cependant, reconstruit sur les mêmes plans, mais avec plus de précautions, il a résisté à toutes les épreuves et ne laisse pas plus à désirer sous le rapport de la solidité que sous celui du grandiose.

A l'issue du viaduc, la rampe s'élève à $5^{\text{mm}},5$. Le tracé décrit en outre, sur 1,200 mètres environ, une courbe de 940 mètres de rayon; puis une de 800 mètres dans une tranchée de 20 mètres de hauteur. Au reste, le terrain, étant ici très-accidenté, a nécessité un certain nombre de courbes successives et une alternance continuelle de remblais et de déblais de 100,000 mètres cubes environ, le tout dans le cours d'une rampe de 5 millimètres sur un développement presque continu de 11,000 mètres. En outre, il existe une courbe de 700 mètres de rayon à Mesnil-Panneville, et une de 838 mètres aux abords de la station de Motteville, à la suite de laquelle se trouve un grand palier de 4,000 mètres. De Motteville à Bolbec, le chemin est presque toujours au niveau du sol; les courbes y sont rares et de grand rayon. Les rampes se soutiennent jusqu'à Yvetot, mais elles sont très-faibles. De ce point, on redescend par des pentes variées, dont la plus forte est de $3^{\text{mm}},3$ sur 5,580 mètres; mais la plupart ne dépassent guère 1 millième.

De Bolbec à Mirreville reparaissent les tranchées et remblais successifs de 100,000 mètres cubes environ, les courbes de 1,000 à 1,200 mètres se multiplient, et la pente s'élève à $3^{\text{mm}},3$ sur 4,400 mètres de longueur. Le viaduc de Mirreville est compris dans cette pente. Il y a une partie courbe de 1,000 mètres de rayon sur 340 mètres de développement. Sa longueur totale est de 530 mè-

tres, sa hauteur de 32 mètres ; il a quarante-huit arches de 9^m,20 d'ouverture chacune ; à la suite se trouve un palier ; puis recommencent les courbes de rayon plus grandes que 4,000 mètres, les terrassements peu importants, mais très-multipliés, les faibles pentes moindres de 3^{mm},5. Mais tout à coup celles-ci s'élèvent à 8 millièmes d'abord sur 3,500 mètres jusqu'à Épretot, puis sur 8 kilomètres d'Épretot à Harfleur, où le chemin avance toujours par une succession de remblais et de tranchées dont la dernière est de 140,000 mètres cubes. Là, en amont, en guise de palier, se trouve une rampe de 1^{mm},5 sur 180 mètres seulement, et de nouveau une pente de 8 millièmes dont fait partie le premier viaduc d'Harfleur, qui n'offre rien de remarquable et est composé de cinq arches de 9 mètres d'ouverture et de 16 de hauteur et d'une longueur totale de 60 mètres. Il est uni, par un remblai de 180,000 mètres cubes, en courbe de 1,600 à 2,400 mètres de rayon, à un autre viaduc parfaitement identique au premier, sauf que le second est en palier, ainsi qu'une grande partie du remblai.

On rencontre ensuite, à la naissance d'une pente de 300 mètres de longueur, une tranchée de 180 mètres de long et d'une hauteur maxima de 18 mètres, en courbe de 1,200 mètres de rayon ; enfin le chemin, après un parcours total de 95 kilomètres, arrive au Havre au niveau du sol, en palier sur 1,200 mètres, et selon un alignement droit de 2,200 mètres.

Chemin de Paris à Lyon. — La construction du chemin du Havre décidée, l'importance de l'établissement d'un chemin de fer de Paris à Lyon, et, dans l'avenir, de l'Océan à la Méditerranée, fut unanimement reconnue.

Déjà l'Océan se trouvant uni à la capitale par le chemin de Rouen au Havre, il ne s'agissait plus que de diriger un railway sur Marseille pour compléter la ligne du Havre à la Méditerranée.

Avant l'achèvement de cette grande entreprise, on pouvait en retirer déjà des avantages précieux. La navigation à vapeur n'avait-elle pas atteint sur le Rhône et sur la Saône jusqu'à Châlons, un degré de célérité très-satisfaisant même à la remonte ? Une fois donc Paris en communication avec Châlons par un chemin de fer, les relations avec la Méditerranée acquerraient aussitôt une merveilleuse

activité. C'est pourquoi l'on entreprit d'abord les sections de Paris à Châlons et d'Avignon à Marseille.

L'importance des relations entre les points extrêmes semblait devoir conduire à adopter jusqu'à Châlons le tracé le plus direct. Mais il y eut des personnes qui virent dans le chemin du Sud-Est autre chose que le but déjà si vaste que nous venons d'indiquer. A leurs yeux, il devait, en outre, unir Paris ainsi que la Méditerranée au Rhin par un embranchement sur Mulhouse. Or cet embranchement pouvait-il mieux se faire qu'à Dijon, depuis longtemps en communication avec Mulhouse par une route impériale sur laquelle existe déjà une circulation des plus actives? En envisageant ainsi la question, Dijon devenait un point obligé du chemin de Lyon, et, nonobstant le détour considérable qui en devait résulter, ce fut cet avis qui prévalut.

Ce programme ainsi arrêté, on étudia plusieurs projets pour en mettre à exécution la première partie.

La plus grande difficulté qui se présenta pour la section de Paris à Dijon consistait dans l'obligation de franchir le faite des monts vosgiens, qui séparent le bassin de la Seine de celui de la Saône.

On étudia ce faite, et l'on y reconnut d'abord trois dépressions principales, dont on se proposa de profiter pour passer de l'un des bassins dans l'autre. Or, pour parvenir à chacun de ces points de plus facile accès, il se trouva qu'il fallait suivre chacune des trois principales vallées qui forment le bassin de la Seine; de là, naquirent trois tracés : celui de la Seine, celui de l'Aube, et celui de l'Yonne.

Le premier avait son point culminant près des sources de la Seine, au col de Poiseul, dont la hauteur, 472 mètres au-dessus du niveau de la mer, pouvait être réduite à 593 mètres, au moyen d'un souterrain de 2,700 mètres de longueur.

Le second eût franchi le faite vers les sources de l'Aube, au col de Vivey, non loin de Chalmessin. La côte, à ce point, est de 426 mètres, mais elle pouvait se réduire à 385 mètres, au moyen d'un souterrain de 1,550 mètres.

Enfin, le troisième passage était praticable à travers la crête de Pouilly, située près des sources de l'Armançon, affluent de l'Yonne;

à ce point, la continuité de la chaîne est interrompue par une déchirure profonde au fond de laquelle roule la rivière de l'Ouche. Déjà les ingénieurs avaient tiré parti de cet accident de terrain en plaçant à Pouilly le point de partage du canal de Bourgogne. Sa côte n'est qu'à 414 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il n'exigeait, pour le passage du chemin de fer, qu'une tranchée de 1,800 mètres de longueur sur 18 mètres de hauteur maxima.

Le tracé de la Seine et celui de l'Aube avaient une partie commune ; l'un et l'autre empruntaient dans son entier la ligne de Corbeil, tout en se réservant une gare spéciale ; l'un et l'autre restaient constamment sur la rive droite de la Seine jusqu'à Romilly, traversant successivement l'Yonne et le Loing, touchant Melun, Montereau, Bray, Pont-sur-Seine et Nogent, et évitant les percées souterraines et les courbes roides, malgré les sinuosités de la Seine et les coteaux abrupts qui la bordent entre Corbeil et Melun. A Romilly, les deux tracés se séparaient : le premier passait à Troyes, à Bar-sur-Seine, à Châtillon, puis arrivait par la vallée du Revingçon au souterrain de Poiseul, au delà duquel, par divers vallons intermédiaires, il gagnait la vallée du Suzon, d'où il se dirigeait en ligne droite sur Dijon. Le second passait à Arcis-sur-Aube, Borey, Brienne-le-Château (où l'on projetait un embranchement sur Strasbourg), Bar-sur-Aube, Clairvaux, puis arrivait au souterrain de Vivey, en suivant le cours sinueux de l'Aube : du côté opposé de ce tunnel, il descendait dans la vallée de la Tille, franchissait cette rivière sur un grand viaduc de 550 mètres de long sur 26 de haut avec une pente de 5 millimètres et à force de terrassements. Enfin, après un assez long parcours en plaine, il se raccordait de nouveau avec le tracé de la Seine à 500 mètres de Dijon.

La seconde partie du tracé de la Seine lui était commune avec un quatrième tracé que nous n'avons pas encore mentionné, et qui se désignait sous le nom de tracé de la Brie et de la Haute-Seine. Partant de Paris par la barrière des Vertus, ce tracé aurait suivi le canal de l'Ourq, puis la Marne jusqu'à Chalifert, où il l'eût quittée par un souterrain de 1,000 mètres. Il se fût engagé dans le vallon sinueux et étroit de l'Aubetin, eût été obligé de se mettre de nouveau en souterrain sur une longueur de 2,700 mètres pour rentrer

dans la vallée de la Seine, et, sans avoir touché aucune ville importante, il eût rejoint à Romilly le tracé de la Seine.

Enfin le tracé de l'Yonne, quittant celui de la Seine à Montereau, longeait d'abord l'Yonne jusqu'à la Roche, puis le canal de Bourgogne, puis l'Armançon jusqu'à Tonnerre, et par le souterrain de Lesiers arrivait à Aisy; ici il fallait opter entre la vallée de la Brenne, que suit le canal, et celle de l'Armançon. Les coteaux de la première étaient formés d'un terrain glaiseux; on redouta l'exemple d'Ablon, et l'on préféra adopter la seconde, malgré ses roches granitiques et les difficultés qui en pouvaient résulter. Le tracé passait ainsi à Semur, et arrivait enfin au col de Pouilly. Au sortir de la grande tranchée par laquelle on devait le traverser, on s'engageait dans la vallée de l'Ouche, et, décrivant une grande courbe perpendiculairement à la direction voulue, on tournait le mont Affrique, et l'on arrivait ainsi à Dijon. La vallée de l'Ouche est fort étroite et assez sinueuse, elle contient déjà le canal de Bourgogne et la rivière de l'Ouche; on comprend qu'il eût été difficile d'y loger aussi le chemin de fer dans des conditions d'art bien favorables, surtout sous le rapport des courbes. C'était là une grave objection pour le tracé de l'Yonne; mais l'absence de souterrain parut une considération plus puissante.

Le tracé de la Brie fut écarté à cause des travaux et des pentes qu'il nécessitait pour franchir inutilement le faite de la Marne à la Seine, du peu d'importance commerciale des pays qu'il traversait et de la mauvaise position de son entrée à Paris, par rapport aux marchandises du Midi, et notamment aux vins, etc., etc.

Le tracé de l'Aube, projeté dans la pensée de donner un tronçon commun aux lignes de l'Est et du Sud-Est, fut rejeté à cause de sa trop grande déviation de la direction naturelle et du déplacement de circulation qui en serait résulté; à cause de sa mauvaise position stratégique, à cause enfin de son peu d'aptitude à recevoir des embranchements.

Le tracé de la Seine le céda enfin à celui de l'Yonne, par suite de la comparaison des circulations probables, l'avantage étant du côté de la Bourgogne, sur la Champagne, surtout dans l'hypothèse de la prochaine concurrence, dans ce dernier pays, du chemin de

Strasbourg, et aussi à cause du moindre faite à franchir et du moindre détournement de la circulation naturelle. Le parallélisme de la voie de fer et du canal de Bourgogne ne fut pas considéré comme une objection sérieuse. Le tracé de l'Yonne fut donc adopté par la commission, puis par la Chambre, en exprimant toutefois les vœux suivants :

1° Que des études fussent faites pour modifier le tracé entre Pont-d'Ouche et Dijon. — Ce qui ne tendait à rien moins qu'au percement dans le mont Affrique d'un souterrain de 5,000 mètres précédé et suivi de pentes de 10 millièmes.

2° Que le chemin de Lyon eût une entrée spéciale dans Paris.

3° Qu'il y eût embranchement de Montereau à Troyes.

On verra par la description du tracé actuel que l'entrée spéciale a été réalisée, ainsi que l'embranchement de Troyes; quant à la vallée de l'Ouche, on a sans doute reconnu, depuis, et les graves inconvénients que présenterait son parcours long et difficile, et l'inutilité qu'il y aurait, si l'on s'était décidé à percer le mont Affrique, d'avoir auparavant ouvert une tranchée longue et élevée, et même encore remonté la vallée difficile de l'Armançon au milieu des roches granitiques qui avoisinent Semur. C'est pourquoi, renonçant à cette dernière ville, on a quitté, à Montbard, l'Armançon et le canal de Bourgogne, et, remontant la vallée de l'Oze, on a substitué au col de Pouilly celui de Blaisy, où l'on a percé un tunnel de 4,400 mètres.

Le tracé actuel est donc tel qu'il suit : le point de départ dans Paris est situé sur le boulevard Mazas, à l'extrémité de la rue de Lyon, qui a été ouverte, par la ville de Paris, pour mettre cette gare en communication directe avec la Bastille.

Le chemin traverse les faubourgs de Paris où sont situés ses ateliers de réparation, il sort de Paris sur la rive droite de la Seine, parallèlement à ce fleuve, dont il se trouve jusqu'à Villeneuve-Saint-Georges et au delà à peu près à la même distance que le chemin d'Orléans sur la rive gauche.

Aussi, les deux rives étant jusque-là peu dissemblables, ne trouve-t-on, dans cette première partie, comme au chemin d'Orléans, que de faibles pentes, des courbes de grand rayon, peu de

terrassements, point de travaux d'art remarquables, si ce n'est à Charenton, sur les deux bras de la Marne, un double pont avec arches en fonte.

A partir de Villeneuve-Saint-Georges, on s'élève par une rampe variée de 4 à 5 millimètres par mètre, et de 11,600 mètres de longueur sur les collines qui forment la vallée de l'Yères. On traverse deux fois cette vallée avant et après Brunoy, sur deux viaducs, dont l'un a neuf arches de 9^m,67 d'ouverture, et l'autre vingt-huit de 10 mètres d'ouverture, la hauteur maxima est de 22 mètres, la longueur du premier viaduc est de 119 mètres, et celle du second de 375 mètres. On redescend ensuite par une pente variant aussi de 4 à 5 millimètres, mais sur 3,600 mètres seulement, jusqu'à peu de distance de Melun.

Un peu en aval de cette ville, au Mée, on traverse la Seine sur un grand pont en fonte, composé de trois arches de 40 mètres d'ouverture chacune, et dont la hauteur, au-dessus de l'étiage, est de 22 mètres. Puis se renouvelle la rampe variée de 4 à 5 millimètres sur une longueur de 6,600 mètres jusqu'après Fontainebleau, rampe interrompue toutefois par un palier de 100 mètres pour la station de cette ville.

De Fontainebleau à Montereau, le pays est assez accidenté. A Avon, à Saint-Mamès, à la Grande-Paroisse, se trouvent des rampes et des pentes alternatives de 4 à 5 millimètres sur 3,000 à 4,000 mètres. Les deux premières localités ont, en outre, exigé deux viaducs pour la traversée de Blangy et Lomy. Tous deux ont trente arches de 10 mètres d'ouverture et d'une hauteur maxima de 20 mètres; mais le second possède, en outre, deux arches biaises en fonte de 40 mètres d'ouverture pour le passage simultané de la rivière et du canal du Loing.

Quant aux courbes, elles sont toutes de grand rayon; on n'en compte que quatre de 1,000 mètres, dont trois auprès de Saint-Mamès.

A Montereau, le railway, qui, depuis Melun, suit la rive gauche de la Seine, prend celle de l'Yonne et se trouve ainsi jusqu'à Sens en pays plat et presque en ligne droite. Il a donc nécessité peu de terrassements, si ce n'est à Pont-sur-Yonne, où se trouve une tran-

chée de 2,000 mètres de long et qui a jusqu'à 20 mètres de profondeur. Elle est précédée d'une rampe et suivie d'une pente de 4 millimètres sur 1,500 mètres environ, qui sont les plus fortes que l'on rencontre dans cette partie.

De Sens à Joigny, le railway, se trouvant presque continuellement au niveau du sol ou en faible remblai, n'a rien de remarquable; seulement le tracé, continuant de remonter l'Yonne, est forcé, comme cette rivière, de faire un grand nombre de circonvolutions. Mais les rayons de ces courbes sont tous très-grands; ceux de 1,000 ou 1,200 mètres forment exception. Après Joigny, le tracé passe l'Yonne à la Roche et suit à peu près parallèlement le canal de Bourgogne, se trouvant sans cesse compris entre ce canal et l'Armançon. Il passe ensuite cette rivière et la côtoie, sauf les détours, jusqu'à Tonnerre, où il arrive par une rampe de 4 millimètres sur 15,000 mètres; après quoi le profil devient plus accidenté. A la suite de quelques rampes faibles, s'en trouve une de 5 millimètres sur 2,800 mètres. Elle conduit aux deux souterrains successifs de Lezines et de Pary par une vallée en remblai de 800 mètres. Le premier de ces tunnels a 532 mètres de longueur, le second 1,000 mètres; mais ce qu'ils ont de particulier, c'est qu'ils sont, l'un sur une pente, l'autre sur une rampe de 3 millimètres, sans doute pour diminuer la hauteur déjà considérable du remblai intermédiaire. Les voûtes des deux souterrains en plein cintre ont chacune 8 mètres d'ouverture, et la hauteur sous clef est de 6 mètres. Celle du souterrain de Lezines est à 24 mètres, et celle du souterrain de Pary à 55 mètres au-dessous du sol.

Ici le tracé devient très-sinueux, tandis que le profil continue de présenter nombre de rampes et de pentes successives. Nous approchons, en effet, des montagnes qui séparent le bassin de la Seine de celui de la Saône; néanmoins, jusqu'à Aisy, les pentes et les rampes n'ont pas plus de 5 millimètres sur 5,000 mètres de long, et les rayons des courbes moins de 1,000 mètres.

D'Aisy, le railway, suivant l'Armançon et le canal jusqu'à Montbard, les passe l'un et l'autre sur un pont biais, s'en sépare et s'engage dans la vallée de l'Oze, petite rivière qu'il remonte dans tout son cours.

Là commence la partie la plus difficile et la plus hardie du chemin. Déjà, pour arriver à la station de Montbard, on a dû gravir une rampe de 6 millimètres sur 4,700 mètres de longueur; mais, après cette station, c'est, d'abord, une suite presque continuelle de rampes de 4 à 5 millimètres sur une longueur totale de plus de 15,000 mètres, puis une rampe de 8 millimètres sur 3,220 mètres aux abords de la station de Verrey, qui se trouve sur un palier. A la suite, se présente de nouveau une rampe de 5 millimètres à 5^{mm},5 sur 2,600 mètres, puis une de 8 millimètres sur 6,500, et enfin on arrive au souterrain de Blaisy, que l'on a dû ouvrir au col de ce nom pour établir la communication entre les deux bassins de la Seine et de la Saône.

Ce souterrain, de 4 kilomètres de longueur, ayant une section transversale de 8 mètres de largeur et de 7 mètres de hauteur sous clef, est percé à une profondeur qui va jusqu'à 200 mètres au-dessous du terrain naturel.

Vingt et un puits circulaires, d'un diamètre intérieur de 3 mètres, revêtus presque tous d'une enveloppe en maçonnerie, offrant ensemble une longueur développée de 2,458 mètres et espacés entre eux d'environ 200 mètres, ont dû être creusés pour permettre d'attaquer simultanément, sur un grand nombre de points, le déblaiement de ce souterrain.

Il est, comme celui de la Nerthe, sur le chemin d'Avignon à Marseille, ouvert dans des marnes que l'on ne peut attaquer qu'à la mine, mais qui, une fois exposées au contact de l'air, deviennent promptement friables et sans adhérence entre elles. Il faut les préserver avec soin et sans retard de l'action de l'air et de l'humidité au moyen d'un revêtement complet en maçonnerie, qui s'exécute au fur et à mesure du percement de la galerie.

Le souterrain de Blaisy a donné lieu à une dépense de dix millions, soit 2,440 francs par mètre courant; c'est, à peu de chose près, le prix de revient du mètre courant du souterrain de la Nerthe.

Au sortir de ce tunnel, qui présente sur toute sa longueur une pente de 4 millimètres, on descend vers Dijon et sur Plombières par une suite de pentes ainsi distribuées : pente de 6 millimètres

sur 200 mètres; de 8 millimètres sur 2,500 mètres; palier de 212 mètres; pente de 8 millimètres sur 2,081 mètres; palier de 848 mètres; pente de 8 millimètres sur 10 kilomètres, etc.

On trouve encore, avant Dijon, une pente de $6^{\text{mm}},21$, et, à l'entrée de la gare de cette ville, une pente de $6^{\text{mm}},6$ et une courbe de 500 mètres de rayon.

Dans le cours de cette descente, on a dû traverser plusieurs vallées sur de grands viaducs, dont les principaux sont : à la sortie du souterrain de Blaisy, un premier viaduc de 190 mètres de long et de treize arches de 10 mètres d'ouverture chacune; un deuxième à Mâlain, de 254 mètres et de dix-huit arches; un troisième à la Combe-de-Tain, de 220 mètres, à deux rangs d'arcades; un quatrième à la Combe-Bouchard, de 150 mètres et deux rangs d'arches; un cinquième enfin à la Combe-Neuvon, de 256 mètres et de seize arches.

Il y a, en outre, sept souterrains, dont le plus grand, celui de Mâlain, a 528 mètres de longueur, et les autres ont ensemble 490 mètres. L'entrée à Dijon se fait latéralement au canal de Bourgogne. A la sortie, le railway marche parallèlement à la route impériale et la côtoie ensuite presque continuellement, de sorte qu'après une nouvelle pente de $5^{\text{mm}},1$ sur 1,064 mètres et une courbe de 1,000 mètres de rayon, il se retrouve pour ainsi dire en plaine et reprend l'allure rectiligne. Il passe à Beaune, et présente, à l'entrée de la station de cette ville, une courbe de 500 mètres et une de 1,000 à la sortie. Il s'élève ensuite jusqu'à Chagny par une rampe de 5 millimètres sur 1,264 mètres, et redescend vers Châlons-sur-Saône par une pente aussi de 5 millimètres et de 4,900 mètres de longueur.

On trouve, à l'arrivée de Châlons, une courbe de 850 mètres de rayon et une de 500 mètres.

Cette section a été exécutée par les ingénieurs de l'État. On n'y peut citer, en fait de travaux d'art, qu'un pont-canal de 78 mètres de long, destiné à livrer passage au canal du Centre.

Entre Châlons et Lyon, le tracé du chemin de fer, depuis Châlons jusqu'à Anse, longe à peu près constamment la route impériale de Paris par la Bourgogne, se tenant tantôt à gauche, tantôt à droite

de cette route, et la traversant neuf fois, dont cinq fois au moyen de passages à niveau, deux fois au moyen de ponts construits au-dessus et deux fois au moyen de ponts établis au dessous de la route impériale.

A partir d'Anse, le tracé du chemin de fer abandonne la direction de cette route pour se maintenir dans la vallée de la Saône, toujours sur la rive droite de cette rivière et tout à fait au pied des coteaux qui bordent son cours jusqu'à Vaise.

A 1,700 mètres environ après la sortie de la gare de Vaise, le railway entre en souterrain sous le coteau de Fourvières ou de Sainte-Irénée, à une profondeur maxima d'environ 100 mètres, et se maintient ainsi en ligne droite sur 2,025 mètres de longueur. A sa sortie, le tracé traverse la Saône sur un pont en pierre composé de quatre arches en anse de panier de 27 mètres d'ouverture chacune, et il entre dans la gare de Perrache, à 100 mètres environ du quai de la rive gauche de la Saône.

Le profil en long du chemin de fer, entre Châlons et Lyon, n'offre aucune pente exceptionnelle. Il se compose d'une série de paliers séparés les uns des autres par des rampes et des pentes qui ne dépassent jamais 5 millimètres par mètre, et qui ont été nécessitées par les mouvements du sol.

Parmi les stations entre Châlons et Lyon ou aux extrémités de cette portion de la ligne de Paris à Lyon, celles de Vaise et de Perrache sont les plus importantes.

La station de Vaise contient une gare des voyageurs et une gare des marchandises, et, en outre, on y a établi un grand dépôt ainsi qu'un petit atelier de machines pour le service de l'extrémité de la ligne. La surface de l'ensemble de ces gares est de 18 hectares.

La gare de Perrache est moins importante que celle de Vaise, quoiqu'elle forme le point de jonction des deux grandes lignes de Paris et de Lyon, d'une part, et de Lyon à la Méditerranée, de l'autre. Mais il a été formellement entendu que cette gare serait exclusivement destinée aux voyageurs, ce qui diminue son importance et a permis d'en réduire la superficie.

Elle occupe, dans la presqu'île de Perrache, à Lyon, la plus grande partie des terrains qui sont situés entre le cours Napoléon

et la rue Dugas-Montbel, d'une part, et entre la rue de l'Entrepôt et Delandine, de l'autre.

La gare de Perrache couvre ainsi une surface d'environ 5 hectares $1/2$, non compris 1 hectare environ pris sur l'entrepôt des liquides et destiné à recevoir un petit dépôt de machines.

La longueur totale de ce chemin, déduction faite de l'entrée et de la traversée de Lyon, est de $502^k,947$, sur lesquels $128^k,972$ en pente, $135^k,402$ en palier, et $258^k,572$ en rampe. La déclivité totale des pentes est de $521^m,83$, celle des rampes de $657^m,75$. La différence, en montant vers Lyon, est donc de $155^m,92$.

La longueur, y compris la traversée de Lyon jusqu'à la presque Perrache, est de $515^k,675$, sur lesquels $350^k,447$ d'alignements droits, et $172^k,498$ de courbes.

On sait que le chemin de fer de Paris à Lyon est l'œuvre d'un des ingénieurs des ponts et chaussées les plus distingués, M. Julien; aussi tous les travaux en ont-ils été exécutés avec une perfection remarquable.

Chemin de Paris à Orléans. — C'est en 1838 que les Chambres ont voté le projet de loi qui a décrété l'établissement du chemin de fer de Paris à Orléans.

Trois lignes avaient été étudiées : celle qui a été exécutée, et que nous décrirons plus loin, et deux autres.

De ces deux dernières, l'une passait par Versailles, Rambouillet, et allait aboutir, après un assez long circuit, à Orléans.

Elle allongeait le trajet de 16 kilomètres, sans desservir des contrées bien riches ni des populations nombreuses. On lui reprochait, en outre :

- 1° De présenter des pentes trop fortes ;
- 2° D'aboutir à un point de Paris éloigné de la rivière, disposition qui ne se prête pas facilement à un service économique de marchandises. Quant à ce qui concerne les pentes, le maximum étant de 4 millimètres, tandis qu'il n'était que de 3 dans le tracé adopté par le gouvernement, tel qu'il avait été étudié par son auteur, M. Desfontaines, on ne saurait admettre aujourd'hui qu'elles fussent excessives; mais l'accroissement de parcours était un défaut

plus grave, qui a fait rejeter avec raison, selon nous, le tracé par Versailles.

La seconde ligne explorée suivait la vallée de l'Essonne, se dirigeait sur Corbeil, passait par Malesherbes et Pithiviers, après avoir jeté un embranchement sur Étampes, et de là se rendait à Orléans en touchant Neuville.

Ce tracé était plus long que le tracé Desfontaines et traversait les terrains marécageux d'une vallée tourbeuse dans laquelle l'établissement d'un chemin de fer entraînerait à des dépenses et à des difficultés d'exécution considérables.

Le chemin d'Orléans, tel qu'il a été exécuté, peut être divisé en quatre sections, à savoir :

1° De Paris à Juvisy, en nombres ronds.	19 kil.
2° De Juvisy à Corbeil (embranchement)	12
3° De Juvisy à Étréchy (ligne mère)	52
4° D'Étréchy à Orléans.	70
Total.	133 kil.

Les deux premières sections, côtoyant presque constamment la Seine, n'offrent que des pentes faibles et des courbes de grand rayon. Elles n'ont nécessité que des mouvements de terrain ordinaires.

On a suivi pour la première le tracé du gouvernement, sauf quelques modifications de détail. Quant à la seconde, projetée d'abord sur la rive droite, elle a été établie sur la gauche, afin d'éviter un pont biais sur la Seine et d'obtenir une entrée plus centrale à Corbeil.

La troisième section, exécutée d'après le tracé de M. Desfontaines, présente une succession de remblais et de déblais assez considérables, sur une longueur de 18 kilomètres, depuis Juvisy jusqu'aux environs de Cossigny. Entre ces deux points, le tracé est constamment établi sur les flancs des coteaux qui bordent la vallée de l'Orge; il offre une série continue de courbes et de contre-courbes de 1,200 à 1,500 mètres de rayon, et une rampe courante et uniforme de 3 millimètres par mètre, qui, s'étendant sur une lon-

gueur de 1,500 mètres, s'élève de 45 mètres depuis le bassin de la Seine jusqu'au plateau de Marolles; de là, on redescend dans la vallée de la Juine jusqu'à Étréchy par des pentes dont la plus forte est de 2 millimètres par mètre, et au moyen desquelles on s'abaisse de 6^m,40.

A Étréchy, se présentait, pour la quatrième section, une difficulté sérieuse. Il s'agissait de monter sur le plateau de la Beauce, c'est-à-dire à 67 mètres de hauteur. Il fallait donc développer le tracé dans une des vallées qui, de ce plateau, descendent jusqu'au bassin de la Seine.

La vallée de la Juine, choisie d'abord par les ingénieurs de l'État, eût permis d'adopter une pente de 3 millimètres par mètre. Mais le chemin de fer s'y fût trouvé établi en remblai sur un terrain humide et tourbeux à une grande profondeur, et, en outre, sur le flanc de coteaux à talus très-roids.

Les ingénieurs de la Compagnie, effrayés des difficultés d'un tel projet, des dépenses et des accidents qu'il pouvait occasionner, aimèrent mieux risquer une pente de 8 millimètres sur une longueur de 5,300 mètres, entre Étampes et Monerville, et suivre la vallée sèche de l'Hémery, qui, à la sortie d'Étampes, se trouve à la droite de la route impériale. La nouvelle ligne reste dès lors sans cesse à 4 ou 500 mètres de distance de cette route, à droite, depuis Étréchy jusqu'à Angerville; à gauche, d'Angerville à Orléans.

On a eu à exécuter, dans cette section, des travaux de terrassement assez considérables, notamment l'ouverture d'une tranchée dans la vallée de l'Hémery et l'établissement de remblais dans la vallée de Brière et dans celles de la Lonette et de la Chalonne; mais la difficulté en a été notablement diminuée par la bonne qualité des terrains.

Arrivé sur le plateau de la Beauce, le tracé, dans un développement de 56 kilomètres, s'est trouvé placé dans les meilleures conditions, ne trouvant que des propriétés de peu de valeur, n'attaquant aucune construction, ne rencontrant aucun cours d'eau, et n'exigeant ni terrassements considérables ni travaux d'art difficiles.

Au reste, sur toute la ligne, les travaux d'art n'offraient que peu de difficultés. On n'y trouve aucun souterrain, aucun pont sur un

cours d'eau de quelque importance, et l'on n'y peut citer qu'un seul viaduc, celui du port de Choisy-le-Roi.

Cependant la construction de ce chemin ne fut pas exempte d'accidents imprévus. A l'ouverture d'une grande tranchée, près d'Ablon, dans un terrain glaiseux, il survint des éboulements si considérables, que l'ingénieur, M. Jullien, crut devoir renoncer aux travaux commencés et faire un détour coûteux pour la compagnie.

Le chemin d'Orléans possède trois gares remarquables : celles de Paris, d'Orléans et d'Étampes.

Chemin de Paris à Strasbourg. — Les études du chemin de Strasbourg remontent à l'année 1834, mais ce n'est qu'en 1845 que le tracé du chemin de Strasbourg a été étudié dans quatre grandes directions.

Un premier tracé, qu'on peut appeler tracé du Nord, s'embranchait sur la ligne du Nord, à Creil, suivant la vallée de l'Aisne, en passant par Compiègne et Soissons, la vallée de la Vesle, en touchant Reims, et gravissait le col d'Anse, coupait les trois vallées de l'Oise, de l'Aisne et de la Meuse, puis descendait dans les vallées de la Moselle et de la Meurthe, passait à Nancy, Lunéville, traversait les Vosges par Sarrebourg, le col de Hommarting, et arrivait à Strasbourg par la vallée de la Zorn. Une branche de cette grande ligne s'en détachait à Arnaville, petit village situé sur la Moselle, pour desservir Metz, Sarrebruck et Manheim.

Nancy, dans le cas où on eût adopté ce projet de tracé, se fût trouvé à 411 kilomètres de Paris, Strasbourg à 560, Metz à 457, Sarrebruck à 466.

Un second tracé, celui du Midi, empruntait le chemin de Corbeil, le continuait par Melun et Fontainebleau jusqu'à Montereau, quittait à Montereau le tracé du chemin de Lyon par l'Yonne, passait à Nogent-sur-Seine et Troyes, puis se dirigeait de là, presque en droite ligne, vers Pargny-sur-Saulx en franchissant la vallée de l'Aube à Lesment, et la vallée de la Marne à quelque distance en amont de Vitry; puis il gagnait Nancy en passant par Pagny-sur-Meuse et Toul, et suivait de Nancy à Strasbourg une ligne déjà indiquée.

Un troisième tracé, passant entre celui du Nord et celui du Midi, suivait la vallée de la Marne, desservait Lagny, Meaux, la Ferté-Château-Thierry, remontait la vallée de l'Ornain jusqu'à Bar-le-Duc, franchissait le faite séparatif des vallées de la Marne et de la Meuse à Vadonville et Loxeville; puis descendait à Toul, dans la vallée de la Moselle, qu'il suivait jusqu'à Frouard, d'où il jetait un embranchement sur Metz, en remontant la Meurthe jusqu'à Nancy, où il reprenait le tracé déjà décrit.

C'est ce tracé intermédiaire qui a été adopté. Nous en donnerons une description plus détaillée.

Un quatrième tracé, enfin, s'élevant sur les plateaux qui séparent la vallée de la Marne de celles de la Seine et de l'Aube, quittait Paris, comme le précédent, traversait les plateaux de la Brie en coupant la Marne dans la direction de Lagny, touchait Coulommiers, Sézanne, et redescendait à Vitry pour se diriger sur Strasbourg par un des tracés déjà décrits.

De ces quatre tracés, celui du Nord, par Compiègne, Soissons et Reims, avait été étudié dans l'intention de favoriser la direction de l'Allemagne par Metz, Sarrebruck et Manheim, aux dépens de celle par Nancy et Strasbourg.

La ville de Reims, desservie aujourd'hui par un simple embranchement, l'était alors directement.

Le tracé du Midi, par Corbeil, Melun, Fontainebleau et Troyes, présentait l'avantage d'une grande économie, puisqu'il avait un tronçon commun avec les chemins d'Orléans et de Lyon; mais il passait à une grande distance d'une portion importante du territoire de l'est desservie par le chemin actuel.

Le tracé des plateaux de la Brie ne donnait aucune satisfaction aux habitants de la vallée de la Marne et de la Seine.

Le tracé de la vallée de la Marne traverse au contraire les populations les plus denses et les plus riches; il est plus court que celui du Nord, et mieux à couvert de l'ennemi en cas d'invasion. Il se recommandait ainsi par un grand nombre de considérations.

On a étudié sur ce tracé plusieurs variantes qu'il ne nous paraît pas d'un grand intérêt de faire connaître.

Tel qu'il a été exécuté, le chemin de Paris à Strasbourg passe à

Lagny, Meaux, la Ferté-sous-Jouarre, Château-Thierry, Épernay, Châlons, Vitry-le-Français, Bar-le-Duc, Commercy, Toul, Nancy, Lunéville, Sarrebourg et Saverne. Il dessert indirectement les villes de Reims et de Metz; la ville de Metz par un embranchement qui se prolonge jusqu'à la frontière prussienne, à Forbach; et la ville de Reims, par un embranchement que l'on continue sur Mézières, Sedan et Givet. La Compagnie a entrepris les travaux d'un chemin de Nancy à Vesoul, dont une partie, celle de Nancy à Épinal, vient d'être terminée. Enfin un autre embranchement, déjà exploité de Blêmes à Gray, relie ou reliera prochainement la ligne de Strasbourg avec toutes les usines de la Haute-Marne, Chaumont, Langres et Gray.

De Paris à Meaux, le tracé ne présente que de faibles pentes et des courbes à grand rayon; mais la nécessité de traverser le faite séparatif des vallées de la Seine et de la Marne et plusieurs contreforts de cette dernière vallée a exigé des terrassements considérables et le percement, à Chaliffert, d'un souterrain de 194 mètres.

L'une de ces tranchées, celle de la Maison-Blanche, présentant un déblai de 700,000 mètres cubes, a été ouverte dans des terrains argileux dans lesquels on a été obligé d'exécuter des travaux de consolidation assez dispendieux.

Aux abords de la station de Meaux, on trouve une courbe de 700 mètres de rayon, et des pentes et des rampes de 5 millimètres par mètre; mais, bientôt après, les rayons des courbes rentrent encore dans les limites de 1,000 à 1,200 mètres.

C'est au delà de Meaux que l'on rencontre la tranchée de Poincy, la plus considérable de toute la ligne; elle a 1,900 mètres de développement; sa plus grande hauteur est de 16 mètres, et la quantité des déblais dépasse 500,000 mètres cubes.

La nécessité de traverser un autre contre-fort de la Marne, dans les bois de Meaux, a déterminé, dans cette localité, l'ouverture de deux autres tranchées très-importantes encore, et le percement d'un nouveau souterrain, celui d'Armentières, de 644 mètres de longueur.

A ce point, le tracé devient plus tourmenté; il se compose en plan d'une suite de courbes de 1,000 à 1,200 mètres de rayon; en

profil, il présente un long palier de 7,000 mètres environ, une pente de 0^{mm},5 sur 2,000 mètres, et un nouveau palier sur lequel se trouve la station de la Ferté-sous-Jouarre. Les tranchées sont d'une importance secondaire.

Au delà de la Ferté, on arrive à un troisième souterrain, celui de Nanteuil, de 939 mètres de longueur; on pénètre ensuite dans le département de l'Aisne, où l'on ne tarde pas à rencontrer un quatrième tunnel à l'extrémité d'une rampe de 1 millimètre sur 2,000 mètres, et d'une courbe de 1,000 mètres de rayon. Ce souterrain, dit de Chézy-l'Abbaye, n'a qu'une longueur de 452 mètres; mais il est percé dans un terrain de glaise tellement fluide, que le prix du mètre courant a dépassé 2,290 francs.

Aux abords de Château-Thierry, et surtout au delà de cette ville, le tracé est de nouveau très-sinueux, sans que le rayon des courbes descende au-dessous de 1,000 mètres. Il est ensuite presque rectiligne jusqu'à Épernay, où il arrive par une courbe d'un rayon de 1,000 mètres. Jusqu'à Châlons, il n'y a à relater qu'une rampe de 4 millimètres sur 2,500 mètres, près d'Aulnay, et une courbe de 700 mètres de rayon à l'arrivée dans la station de Châlons.

Le tracé se continue jusqu'à Vitry-le-Français sans courbes ni pentes ou rampes présentant quelque importance; il passe à Vitry de la rive gauche à la rive droite de la Marne.

Ce n'est pas à Vitry que le railway passe pour la première fois d'une rive à l'autre de la vallée de la Marne, qu'il a constamment suivie depuis l'extrémité sud de la tranchée de la Maison-Blanche; les exigences de la configuration du terrain ont nécessité sur la Marne sept traversées successives depuis Chaliffert jusqu'au delà du souterrain de Nanteuil, et, en conséquence, sept grands ponts de trois à cinq arches, présentant un ensemble de 70 mètres de débouché.

Ces ponts constituent, avec les quatre souterrains et les tranchées considérables dont nous avons déjà parlé, les seuls travaux remarquables des trois premières sections.

A Vitry, le tracé quitte la vallée de la Marne pour suivre celle de la Saulx. Il abandonne à son tour la Saulx pour remonter l'Ornain, son affluent, jusqu'à Bar-le-Duc.

Cette partie du tracé ne présente que des courbes à grand rayon et des pentes et rampes dont l'inclinaison n'excède pas 3^{mm},5.

A la sortie de Bar-le-Duc, le tracé offre une série presque continue de courbes de 800 à 1,200 mètres de rayon; il côtoie d'abord le canal de la Marne au Rhin, puis l'Ornain, et quitte cette rivière pour monter au faite séparatif de la vallée de la Marne et de la Meuse, qu'il atteint à Vadonville. Dans ce parcours, le profil est très-accidenté. On y trouve d'abord, sur une longueur de 1,200 mètres, une rampe variée de 3 à 5 millimètres avec deux alignements de 200 mètres inclinés de 2 millimètres en guise de palier aux stations de Longeville et de Nançois-le-Petit.

Vient ensuite une rampe de 8 millimètres sur 10,250 mètres qui s'étend à peu près jusqu'au palier de la station de Loxeville, puis une portion de chemin d'environ 3 kilomètres avec une très-faible inclinaison, et, enfin, un nouveau plan incliné de 8 millimètres de pente en sens contraire du premier, s'étendant sur une longueur d'environ 10 kilomètres jusqu'à la station de Lérouville; on arrive ainsi dans la vallée de la Meuse, qu'on suit jusqu'à Pagny après avoir touché Commercy.

A Pagny, le tracé quitte la vallée de la Meuse pour rentrer dans celle de l'Ingressin, affluent de la Moselle, et traverser le faite séparatif de ces deux vallées; il coupe deux contre-forts en souterrains: le souterrain de Pagny, d'une longueur de 573 mètres, et le souterrain de Foug, d'un longueur de 1,120 mètres. Il suit alors le cours de l'Ingressin en longeant la route impériale de Paris à Strasbourg, et débouche à Toul, dans la vallée de la Moselle, où il reste jusqu'à Frouard. Le lit de cette rivière, dans cette partie de son cours, est tellement sinueux, que le tracé doit passer trois fois d'une rive à l'autre en franchissant la rivière sur trois grands ponts de 155 à 160 mètres de débouché chacun.

A Frouard, où se trouvent le confluent de la Moselle et de la Meurthe et le point de jonction de l'embranchement de Metz, le tracé quitte la vallée de la Moselle pour rentrer dans la vallée de la Meurthe, qu'il suit jusqu'à Nancy en longeant la route impériale de cette ville à Metz. De Commercy à Toul et à Nancy, ou, pour mieux dire, dans la traversée des vallées de la Meuse, de l'Ingressin et de la

Moselle, on reste, pour l'inclinaison des rampes et des pentes et pour les rayons des courbes, dans les limites ordinaires, et il n'y a de travaux d'art remarquables que les deux souterrains et les trois grands ponts sur la Moselle dont nous avons parlé ci-dessus.

A Nancy, le tracé contourne la ville en la serrant de près dans les faubourgs Stanislas et Saint-Jean, après quoi il prend une direction presque parallèle à la route de Paris à Strasbourg sur un développement d'environ 6 kilomètres; puis il franchit cette route et se dirige vers la Meurthe, qu'il traverse à 8 kilomètres de Nancy. Se trouvant alors sur la rive droite de la vallée, il en suit les sinuosités en remontant le cours de la rivière, qu'il traverse de nouveau deux fois de suite, et s'en éloigne enfin pour se rapprocher de Lunéville.

Dans tout ce trajet, d'environ 30 kilomètres, il n'y a qu'une rampe de 5 millimètres sur 615 mètres de développement, et une pente de 4 millimètres sur 200 mètres. L'inclinaison des autres pentes et rampes ne dépasse pas 3^{mm},5; toutes les courbes y sont à grand rayon, à l'exception des deux qui précèdent et suivent la station de Lunéville; leur rayon n'est que de 800 mètres.

Les terrassements y sont assez considérables, notamment pour la tranchée de la traversée de Nancy et pour le percement d'un contre-fort qui s'avance près de Dombasle jusqu'à la Meurthe.

Les trois grands ponts dont nous avons parlé plus haut sont les seuls travaux d'art considérables qu'on rencontre dans cette section. Le premier de ces ponts a d'autant plus d'importance qu'il sert en même temps de viaduc pour le chemin et de pont aqueduc pour le canal de la Marne au Rhin.

De Lunéville à Sarrebourg, le tracé n'offre rien de remarquable : il remonte, à partir de Marainvillers, le ruisseau des Amis; coupe, au delà de Réchicourt, le col séparatif des eaux du Saôlon et de la Sarre; arrive à Sarrebourg après avoir contourné le promontoire de la vallée de Heming, et se porte enfin vers Hommarting. Il n'y a, dans cette section, d'un développement de 55 kilomètres, qu'un travail de quelque importance : le pont sur la Sarre, à Sarrebourg, près la station de cette ville. L'inclinaison des pentes et des rampes et le rayon des courbes y restent dans les limites ordinaires.

C'est au delà d'Hommartring et jusqu'à Saverne, section qui comprend la traversée de la chaîne des Vosges, que se rencontrent le tracé le plus difficile et les travaux les plus considérables de la ligne de Paris à Strasbourg. La traversée du faite séparatif des bassins de la Sarre et du Rhin a exigé d'abord un percement en souterrain d'une longueur de 2,778 mètres, que le chemin traverse avec une pente de 5 millimètres, et qui débouche dans la très-pittoresque vallée de Lutzelbourg, où coule la Zorne. Cette vallée est tellement étroite sur quelques points, que c'est à peine si le chemin de fer, le canal de la Marne au Rhin, le lit de la rivière et le chemin d'exploitation, qui y sont réunis, peuvent y trouver place.

Le canal, qui, à la sortie du souterrain d'Hommartring, passe au-dessus du chemin de fer, s'abaisse promptement au moyen d'écluses, qui rachètent des chutes assez fortes, et, bientôt après, c'est le chemin de fer qui, à plusieurs reprises, passe au-dessus du canal.

Le tracé est très-sinueux dans cette vallée : il est formé en plan d'une série de courbes dont le rayon varie dans les limites de 750 à 1,250 mètres, et, pour arriver à ce résultat, il faut encore franchir en souterrain cinq contre-forts de la chaîne des Vosges.

Quatre de ces tunnels, avant l'usine de Stambach, le premier de 247 mètres de longueur, le second de 489 mètres, le troisième de 395 mètres, et le quatrième de 482, ne sont séparés que par des intervalles respectifs de 1,450, 2,905 et 290 mètres, partie en remblai et partie en tranchée, et l'on trouve à leur entrée comme à leur sortie des courbes de 750 à 800 mètres de rayon. Un cinquième tunnel, avant Saverne, d'une longueur de 324 mètres, est encore engagé en partie dans une courbe de 750 mètres de rayon.

A partir de la limite du département du Bas-Rhin, le tracé est presque constamment en pente; mais l'inclinaison n'y dépasse pas 5 millimètres, et ce n'est qu'à la sortie de Saverne qu'on trouve une pente de 5 millimètres sur 1,400 mètres de longueur.

Le tracé, qui, depuis la sortie du souterrain de Hommartring, a constamment suivi la vallée de la Zorne, continue à longer le cours de cette rivière de Saverne à Brumath, puis il se recourbe brusquement pour gagner Strasbourg en longeant la route de Wissembourg.

On trouve encore quelques courbes d'un rayon de 700 à 800 mètres aux abords des stations de Saverne et de Dettwillers; mais, entre Saverne et Strasbourg, les courbes sont généralement à grands rayons. L'inclinaison des pentes et rampes y est faible aussi, et cependant elle est portée à 5 millimètres sur une longueur de 800 mètres près de Mommenheim.

Les chemins de fer de Paris à Strasbourg et de Strasbourg à Bâle se réunissent en avant des fortifications au moyen d'une courbe de 700 mètres de rayon, sur un palier horizontal, et les deux chemins pénètrent ensemble dans la place avec une pente de 5 millimètres.

La gare de Paris est l'une des plus belles sous le rapport de l'architecture.

La gare de Strasbourg, dans un style moins riche que celle de Paris, est aussi remarquable. On peut encore citer celles d'Épernay, de Châlons, de Bar-le-Duc, de Nancy et de Lunéville, de Metz, de Frouard et de Forbach.

Aux stations de Chelles et de Trilport, la longueur des paliers étant insuffisante, le départ des trains de marchandises très-chargés ne peut s'effectuer, surtout dans certains temps de brouillard et de verglas, que très-difficilement.

Les trains arrivant à la Ferté-sous-Jouarre du côté de l'est par une tranchée courbe rendent les abords de cette station fort dangereux.

Les stations sont généralement placées très-près du centre des villes, celle de Château-Thierry seulement est établie à 600 mètres de la ville.

Les projets du chemin de Strasbourg ont été étudiés et les travaux exécutés sous la direction de M. Schwilgué, inspecteur général des ponts et chaussées, par MM. de Sermet, Marinet, Guibal, Collignon, Jacquiné et Boulanger, que la mort est venue frapper avant la fin des travaux, et qui eut pour successeur M. Guerre, tous six ingénieurs en chef des ponts et chaussées.

Chemin de ceinture¹. — Le tracé du chemin de ceinture est en-

¹ Extrait des *Annales des ponts et chaussées*.

tièrement compris entre le mur d'octroi et les fortifications : il se détache aux Batignolles des voies de la gare des marchandises de Rouen, longe les fortifications dans la première partie de son parcours, passe au-dessous des chemins de fer du Nord et de Strasbourg, et, presque immédiatement après, au-dessus du canal de l'Ourcq, traverse sur arcades la plus grande partie de la commune de la Villette, puis entre en souterrain pour arriver à Belleville ; il reparaît au jour près de la place de Ménilmontant, arrive à Charonne après un nouveau parcours souterrain, et se poursuit, sans grands travaux, de Charonne au chemin de fer de Lyon ; il franchit ce chemin, ainsi que la Seine, et vient aboutir au chemin d'Orléans, à la sortie de la gare d'Ivry. Des embranchements spéciaux le raccordent avec les trois lignes qu'il rencontre dans son parcours.

Le développement total du chemin de ceinture est de 16,871 mètres, y compris les raccordements avec les grandes lignes. Mais la ligne principale n'a en réalité que 15,185 mètres. Souterrains, arcades, viaducs en tôle, ponts sur un grand fleuve, sont groupés sur son faible parcours, où se trouvent ainsi représentés tous les ouvrages que peut comporter l'exécution d'un chemin de fer.

Parmi les ouvrages en tôle, on remarque les ponts des chemins du Nord et de Strasbourg, construits sous des lignes en exploitation, ponts que M. Brame a décrits dans les *Annales*, et le pont du canal de l'Ourcq, franchissant le bassin de la Villette par deux travées de 20 mètres d'ouverture chacune. Les longrines reposent sur des poutrelles transversales en fer double T de 30 centimètres de hauteur, qui sont elles-mêmes portées par trois poutres longitudinales en tôles longues de 45 mètres, et dont la principale pèse 22,000 kilogrammes.

Les souterrains de Belleville sont ouverts dans la masse de plâtre, mais leur voûte sort fréquemment de cette masse et pénètre alors dans les argiles, dont la présence a souvent opposé des difficultés sérieuses au travail. Leur développement total est de 2,000 mètres ; ils ont coûté ensemble 2,130,000 francs, ou 1,000 francs par mètre courant.

Trois séries d'arcades ont été construites dans les terrains précieux des communes de la Villette et d'Ivry, afin de réduire l'espace

occupé par le chemin de fer; leur développement dépasse 1 kilomètre, déduction faite des douze ouvrages d'art qui y sont englobés. Ces arcades, élevées de 5 à 7 mètres, reviennent à un peu moins de 500 francs par mètre courant de chemin de fer.

Les ouvrages sont au nombre de quarante-quatre, et présentent un développement de 4 kilomètres. Le principal est le pont qui franchit la Seine à Ivry, et livre passage à la fois au chemin de fer et à une route publique. Il se compose de cinq arches en arc de cercle de $54^m,50$ d'ouverture chacune et de deux arches de 12 mètres établies sur les routes qui bordent les quais. Sa largeur entre les têtes est de $15^m,50$; la hauteur des rails au-dessus des basses eaux de la Seine est de 15 mètres; chaque pile est fondée sur 140 pieux de 12 à 14 mètres de longueur; de petites voûtes, présentant ensemble un vide de 3,500 mètres cubes, ont été construites dans le massif des tympans pour réduire la charge supportée par ces pieux. Ce grand ouvrage n'a pu être commencé qu'au mois de juillet 1852; il a été exécuté en dix-huit mois; il coûte 1,800,000 francs.

Les pentes du chemin de ceinture varient de 2 millimètres à $10^{mm},65$, le rayon maximum des courbes est de 1,082 mètres, le rayon minimum de 500 mètres.

Les dépenses d'exécution de ce chemin s'élèvent à 11,500,000 fr., non compris le matériel roulant; les terrains entrent dans ce chiffre pour 2,600,000 francs.

La Compagnie du Nord a rendu hommage au talent incontestable de M. Couche, ingénieur du chemin de ceinture, en le nommant ingénieur en chef de ses travaux pour remplacer M. Maniel, devenu directeur des chemins autrichiens.

Chemin de Londres à Brighton. — Parmi un grand nombre de tracés proposés pour le chemin de Londres à Brighton, le parlement anglais a choisi le plus direct, mais aussi le plus coûteux. Aussi ce chemin est-il celui pour lequel, en Angleterre, le cube des terrassements a été le plus considérable : il a atteint le chiffre énorme de 75,000 mètres cubes par kilomètre.

Ce chemin devrait être rangé parmi ceux à faibles pentes si, sur le tronçon commun à cette ligne et à celle de Londres à Douvres, le

profil ne présentait une rampe de 1 centième sur une longueur de 1 kilomètre, car, sur tout le reste du trajet, l'inclinaison ne dépasse jamais 4 millièmes.

Le cube de la plus grande tranchée est de 700,000 mètres, celui des plus grands remblais de 350,000 mètres. Les tranchées ont été généralement percées dans la craie. Une grande partie des terres a été retroussée. On rencontre aussi sur le chemin de Londres à Brighton plusieurs souterrains.

Chemin de Londres à Douvres (South-Eastern railway).— Toutes les pentes sur ce chemin sont inférieures à 4 millièmes; si ce n'est sur le tronçon commun aux deux lignes de Douvres et de Brighton. Les courbes sont de grand rayon.

Les travaux d'art et de terrassement n'y présentent aucune particularité digne d'observation. Les plus importants se trouvent près du point d'arrivée à Douvres.

La pose du chemin de Londres à Douvres a été faite avec un soin tout particulier par des procédés nouveaux décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Parmi les stations, nous citerons la station extrême de Bricklayer-Arms, l'une des mieux disposées des chemins anglais.

Les plans en ont été publiés dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*. Ce chemin est l'œuvre de l'habile ingénieur Cubitt.

Chemin de Liverpool à Manchester. — Le chemin de Liverpool à Manchester est le doyen des chemins à grande vitesse. Le chemin de Saint-Étienne est son aîné d'une année, mais il n'admet pas cette rapidité de transport qui mérite l'épithète de grande sur les chemins de fer (de 60 à 80 kilomètres par heure), et d'ailleurs, bien que la circulation des voyageurs y soit considérable, le transport du charbon de terre est la principale source de ses revenus.

Lorsqu'on forma le projet d'exécuter le chemin de Liverpool à Manchester et qu'on adopta le tracé de Stephenson, les machines locomotives étaient encore bien grossières, bien imparfaites. Elles n'avaient, pour ainsi dire, de commun que le nom avec ces machines admirables qui ont porté le nom de Robert Stephenson aux extrémités les plus éloignées du globe. On ne pensait pas alors qu'il

fût possible d'employer avantageusement les machines locomotives sur toute la ligne du chemin de fer, et ce fut dans cette supposition que l'on conserva dans le tracé deux plans inclinés en sens inverse, comprenant chacun une longueur de plus de 2 kilomètres et ayant une pente de 1 centième. Deux machines fixes devaient les desservir; et, comme on était forcé, pour pénétrer dans l'intérieur de la ville de Liverpool, de traverser en souterrain une colline sur laquelle les maisons s'élèvent en amphithéâtre, on décida de prime abord l'établissement de trois machines fixes entre Liverpool et Manchester.

Rien ne s'opposait à l'emploi des machines locomotives sur les autres parties du chemin, dont l'inclinaison ne dépassait pas 1^{mm} , 1, et qui ne présentait de circuit de petit rayon qu'à l'entrée de Manchester. On discuta cependant la question de savoir si les machines fixes ne seraient pas préférables, et ce dernier mode, soutenu par deux ingénieurs, MM. Rastrick et Walker, fut sur le point d'être adopté. Mais la question fut tranchée par l'apparition, au célèbre concours de Liverpool, des machines à chaudière tubulaire qui remontèrent les pentes de 1 centième avec une assez forte charge et une rapidité dont les spectateurs furent émerveillés. On renonça dès ce moment aux machines fixes pour toute la ligne, sauf la partie inclinée de 2 pour 100 établie sous la ville de Liverpool.

Une seule entrée dans Liverpool n'eût pas été suffisante eu égard à l'active circulation des voyageurs. Aussi le chemin de fer se divise-t-il aux portes de Liverpool en trois branches souterraines. Le plus long souterrain, qui aboutit aux quais et dont la pente est de 2 centièmes, sert exclusivement au transport des marchandises; les deux autres à celui des voyageurs. Tout le reste de la ligne est à ciel ouvert, mais son aspect est singulièrement varié : tantôt le chemin fend le terrain par une tranchée profonde de 20 mètres de hauteur, dont les parois sont à pic, comme au mont Olive; tantôt il traverse les vallées sur de larges remblais, comme à Broad-Green, ou par de longs viaducs, comme à Tankey; ou bien, enfin, il n'occupe qu'une bande mince au niveau du sol, comme dans les marais du Chat. Ces immenses marais ont une profondeur variable qui atteint quelquefois 10 mètres. Les ingénieurs les plus expérimentés avaient déclaré

au Parlement qu'il était impossible de les franchir. Georges Stephenson, ancien ouvrier mineur, fut plus habile que les plus habiles ingénieurs : il fixa les bandes de fer sur ce terrain mouvant. L'Angleterre récompensa plus tard ce héros de l'industrie.

Chemin de Manchester à Leeds. — Ce chemin, un des principaux anneaux de la chaîne qui réunit le port de Liverpool à celui de Hull, traverse les districts les plus manufacturiers de l'Angleterre.

Il n'est pas moins curieux sous le rapport des travaux qu'important comme ligne commerciale. C'est, après le chemin de Liverpool à Manchester, l'œuvre la plus remarquable du célèbre Georges Stephenson.

Les courbes du chemin de Manchester à Leeds ont généralement 1,200 mètres au moins de rayon, à l'exception de trois courbes près de Charlestown, qui n'ont chacune que 250 mètres. On a été conduit à l'adoption de ces petites courbes par l'éboulement d'un tunnel qui a forcé à dévier de la ligne projetée. Elles n'ont du reste que 500 mètres de longueur. On les passe en modérant la vitesse des locomotives.

De Manchester, le chemin monte vers le point culminant de la ligne, situé à 28 kilomètres environ de Manchester, par une suite de pentes variées, dont une de 8 millièmes sur 4,500 mètres de longueur, et une autre de 6^{mm},5 sur 6,500 mètres. Il descend ensuite du côté de Leeds par des pentes plus douces.

Le cube des terrassements sur ce chemin est de plus de 48,000 mètres cubes par kilomètre, ce qui est considérable.

Les ponts sont au nombre de 116. Une partie sont construits en pierre. Le cube des maçonneries, non compris la maçonnerie des souterrains, est de 51,000 mètres par kilomètre.

On compte jusqu'à huit souterrains, dont la longueur totale est de 4,600 mètres; le plus long a 575 mètres.

Chemin de Newcastle à Carlisle. — Ce chemin, un des plus anciens de l'Angleterre, est long de 99,500 mètres.

Le profil présente deux rampes de Carlisle vers Newcastle, l'une de 9^{mm},5 sur une longueur de 6,200 mètres, l'autre de 5^{mm},5 sur une longueur de 5,500 mètres. Sur toutes les autres rampes ou pentes, l'inclinaison ne dépasse pas 5 millièmes.

Ce qui distingue surtout ce chemin des autres chemins anglais et en fait un sujet digne d'étude pour l'ingénieur, c'est le grand nombre de courbes de petit rayon que l'on a dû admettre pour lui tracer son passage à travers un pays assez accidenté. Plusieurs n'ont pas au delà de 400 mètres de rayon.

Les travaux de terrassement sur ce chemin sont importants. Le plus considérable de tous est la grande tranchée de Cowran, longue de 1,600 mètres, dont le cube a été de 700,000 mètres. M. Wishaw prétend qu'elle a été percée à forfait par un entrepreneur au prix minime de 85 centimes par mètre cube; mais il faut observer qu'une partie seulement des terres a été portée en remblai dans l'axe du chemin; le reste a été retroussé.

Parmi les ouvrages en maçonnerie du chemin de Carlisle, nous nommerons en première ligne le grand viaduc de Corby, qui traverse la rivière Eden à environ 5,500 mètres de Carlisle, à une hauteur de 50 mètres au-dessus du niveau des basses eaux. Ce viaduc est entièrement construit en grès rouge. Il se compose de 5 arches en plein cintre de 24 mètres d'ouverture, posant sur des pieds-droits de 4^m,80 d'épaisseur.

Chemin de Malines à Cologne. — La Belgique, pays généralement plat et peu accidenté, se trouvait dans les circonstances les plus favorables à l'établissement des chemins de fer, et l'on a pu s'y imposer des conditions de tracé assez rigoureuses.

C'est ainsi qu'on a adopté, sur la presque totalité du réseau belge, 4 millimètres pour maximum des pentes et rampes, et 1,000 mètres pour rayon minimum des courbes; cette dernière limite n'étant pas toutefois de rigueur dans le voisinage des stations.

Seule, la portion de la ligne de l'Est établie dans la vallée de la Vesdre, et qui s'étend de la Meuse à la frontière prussienne, s'est trouvée soustraite aux conditions générales, tant par la grande hauteur à franchir dans un aussi court trajet (188 mètres sur 58 kilomètres environ) que par suite des nombreux accidents de terrain qui sont accumulés en cet endroit plus que sur aucun autre point de la Belgique.

Nous voulions d'abord, en nous conformant strictement à la classification que nous avons établie, décrire séparément la section

de la Vesdre parmi les chemins à pente moyenne. Mais nous nous sommes décidé à considérer l'ensemble de la ligne de l'Est, par ce motif que la première section, de Malines à Ans, est parfaitement propre à donner une idée des autres chemins belges. Elle se trouve en effet dans les conditions communes, mais ce n'est passans quelque difficulté qu'on a pu l'y soumettre. Cependant elle présentait par elle même trop peu d'intérêt pour nous occuper spécialement, et nous n'aurions eu d'ailleurs nulle autre part occasion d'en parler.

Les plans inclinés d'Ans à Liège, des détails desquels nous nous occuperons plus tard, trouveront ici naturellement leur place au point de vue du tracé.

Enfin, nos lignes de démarcation étant ainsi enfreintes une première fois, nous n'avons plus vu d'obstacle à décrire ainsi comme complément le chemin rhénan, qui fait suite, sur le territoire prussien, à la ligne belge de l'Est, et qui présente quelques particularités remarquables.

De Malines à Wespelair, on descend quelque temps, mais de 1 mètre seulement, puis on s'élève vers Ans d'une manière continue jusqu'à une légère contre-pente que l'on rencontre avant Tirlemont.

On passe ainsi à Louvain, à Tirlemont, à Landen, à Warremens, et l'on arrive à Ans, c'est-à-dire à 86 mètres environ au-dessus du point de départ.

A mesure qu'on s'éloigne de Malines, les accidents de terrain se multiplient et deviennent plus considérables ; aussi le chemin de fer est-il presque continuellement tracé en courbe. Entre Malines et Louvain, sur une longueur de 25,600 mètres, on trouve encore deux grands alignements, l'un de 10,000 mètres environ, l'autre de 4,000 mètres. Mais, entre Louvain et Waremme, sur une longueur de 42,840 mètres, les courbes se succèdent presque sans discontinuité, sauf deux alignements de près de 3,000 mètres. De Waremme à Ans, distants l'un de l'autre de 19,670 mètres, le railway, se maintenant sur le plateau supérieur de la chaîne qui sépare la Meuse de l'Escaut, ne présente au contraire que deux courbes et trois alignements de 3 à 10 kilomètres.

Quoique cette section ait dû traverser un pays déjà plus accidenté que n'en rencontrent les autres lignes, elle s'est pourtant tenue, comme nous le disions plus haut, à peu près dans les conditions générales.

Une seule pente présente le chiffre de 0,0042; une seule courbe a son rayon au-dessous de 1,000 mètres; c'est celle qui se trouve à la sortie de la station de Malines, et qui n'a que 500 mètres de rayon sur 426 mètres de développement.

Le plateau qui se termine au village d'Ans, situé à 4,000 mètres de la Meuse, et qui forme en quelque sorte un des faubourgs de la ville de Liège, est élevé de 118 mètres au-dessus du lit de la Meuse, et pourtant la station, qui est à son extrémité orientale, n'est éloignée du fleuve que de 4 kilomètres.

Une différence de niveau si considérable ne pouvait être franchie dans un aussi court espace sans qu'on fût obligé de sortir des conditions de pente et de courbure qu'on s'était imposées; toutefois des études multipliées furent d'abord faites dans plusieurs directions pour s'assurer s'il n'était pas possible de descendre vers la Meuse par un tracé développé de manière à ne pas dépasser une pente de 5 millimètres.

L'examen des divers tracés qui furent présentés et qui comprenaient des remblais de 17, 20, 24, 29 mètres de hauteur, des viaducs au-dessus du chemin, hauts de 42, 50 et 77 mètres, fit renoncer à ce projet, et adopter définitivement la descente au moyen de plans inclinés desservis par des machines fixes.

La dénivellation totale est rachetée par deux plans inclinés en ligne droite de 1,980 mètres de longueur, réunis par une courbe horizontale de 350 mètres de rayon, de sorte que chacun d'eux est précédé et suivi d'un palier. Leur pente maxima est de 0^m,03, mais le passage de l'horizontale à cette inclinaison extrême a lieu insensiblement au moyen de pentes intermédiaires, de la manière suivante :

PLAN SUPÉRIEUR.

Longueurs	90 mè.	Pentes	0,015	Hauteur franche	1 ^m 35
—	1,150 —	—	0,050	—	54 50
—	628 —	—	0,028	—	17 58
—	112 —	—	0,014	—	4 57
	<hr/>		<hr/>		<hr/>
Longueur totale	1,980 mè.	Pente moyenne	0,0283	Hauteur totale	55 ^m 00

PLAN INFÉRIEUR.

Longueurs	80 mè.	Pentes	0,015	Hauteur franche	1 ^m 20
—	1,275 —	—	0,050	—	38 19
—	489 —	—	0,028	—	13 69
—	158 —	—	0,014	—	4 92
	<hr/>		<hr/>		<hr/>
	1,980		0,0285		55 ^m 00

Il paraît qu'on aurait pu arriver à Liège dans les conditions ordinaires, en quittant le tracé actuel à Waremme, et en se dirigeant de là vers la Meuse par la vallée de la Jaar. Mais ce projet eût amené le chemin sur le territoire hollandais, et, s'il fut jamais mis en avant, il dut être écarté par des considérations politiques.

Du pied des plans inclinés, le chemin se dirige horizontalement jusqu'à la Meuse, qu'il franchit à environ 8 mètres au-dessus des eaux moyennes sur un grand pont dit du Val-Benoît. Il a cinq arches, de 20 mètres d'ouverture chacune. Sa longueur totale est de 150 mètres. Il donne à la fois passage au chemin de fer, aux voitures et aux piétons.

Ici commence le tracé de la Vesdre.

Deux systèmes se présentaient pour s'élever du fond de la vallée de la Meuse jusqu'au plateau d'Eupen, où se trouve la frontière de Prusse : celui d'une rampe forte et continue, et celui de pentes douces réunies par des plans inclinés avec machines fixes.

Après avoir discuté les divers projets présentés pour le tracé de cette section, après avoir envoyé en Angleterre une commission d'ingénieurs pour y examiner en détail les divers railways à fortes pentes et à plans inclinés qui y sont en exploitation, on a adopté le premier système, celui des rampes fortes et continues.

L'inclinaison moyenne est de 0^m,00494; mais les rampes les plus ordinaires sont 0^m,005 et 0^m,006, et l'on en peut citer de 0^m,008 et 0^m,009. La rampe de 9 millimètres n'a été adoptée qu'en un seul point et sur une petite longueur, 334 mètres. On l'a substituée à un plan incliné primitivement projeté à la station de Verriers. Les rayons des courbes atteignent quelquefois 1,400 et 1,500 mètres, mais le plus souvent ils sont au-dessous de 1,000 mètres, et descendent à 700, 600 et même 480 et 320 mètres.

Les tableaux suivants offrent un résumé des rampes et des courbes employées dans cette section.

1° Tableau des inclinaisons et des longueurs correspondantes.

INCLINAISONS.			LONGUEURS			RAPPORT DES COURBES AUX ALIGNEMENTS.	OBSERVATIONS.
PENTES.	RAMPES.		TOTALE.	ALIGNEMENTS.	COURBES.		
	mini- mum.	maxi- mum.					
	mm.	mm.					
»	de 5	à 4	11,692	5,744	5,948	1,05	Courbes de 800 à 1,500 m.
»	5	5,1	3,505	204	3,099	15,20	<i>Id.</i> 900 à 1,000
»	5	2	604	»	604	»	<i>Id.</i> 2,000
»	»	5,5	1,769	506	1,465	4,78	<i>Id.</i> 1,000
»	6,5	6,8	1,588	695	895	1,28	<i>Id.</i> 1,000 à 1,400
»	5	6	4,270	1,971	2,299	1,17	<i>Id.</i> 500 à 1,200
»	6,7	6,7	490	490	»	»	<i>Id.</i> »
»	»	»	260	260	»	»	Palier. »
»	5	4	1,695	588	1,505	5,62	Courbes de 320 à 1,600
»	6	6,9	2,757	101	2,656	26,10	<i>Id.</i> 700 à 2,000
»	5,1	5,8	2,778	766	2,012	2,62	<i>Id.</i> 600 à 650
»	9	9	334	334	»	»	<i>Id.</i> » »
»	4,1	5	655	»	655	»	<i>Id.</i> 320 à 480
»	7	»	187	187	»	»	<i>Id.</i> » »
»	8	»	5,854	429	3,405	7,95	<i>Id.</i> 600 à 1,000
»	6	»	1,159	25	1,154	45,56	<i>Id.</i> 708 à 1,100
2,7	»	»	681	645	58	0,06	<i>Id.</i> » »
»	»	»	38,052	12,543	25,489	»	

2° Tableau comparatif des courbes par leurs rayons, leur nombre et leur développement moyen.

NOMBRE DES COURBES.	RAYON.	DÉVELOPPEMENT	
		TOTAL.	MOYEN.
10	2,000 à 1,400	6,952	695
10	1,000	5,159	516
4	900	4,111	1,025
2	800	1,455	726
6	700	5,904	651
1	650	550	550
2	600	1,600	800
1	500	585	585
1	480	276	276
2	520	919	460
59	»	25,484	651
37	Alignements.	12,543	340

On voit, d'après les tableaux qui précèdent, que jusqu'à 680 mètres de la frontière le chemin s'élève d'une manière continue à 188 mètres de hauteur, puis redescend de 1 mètre environ, et se trouve ainsi à 187 mètres au-dessus du point de départ, après un parcours total de 58,052 mètres. Sur cette longueur, les parties courbes occupent un développement deux fois et demie plus grand que celui des alignements. Cependant les fortes pentes et les courbes roides et multipliées n'ont pas suffi pour triompher des accidents du terrain; il a fallu en outre traverser dix-sept fois la même rivière, la rejoindre, et percer dix-huit souterrains de 50 à 637 mètres de longueur. Parmi les ponts, celui de Dolhain est remarquable: il a 20 arcades de 10 mètres d'ouverture et de 17 à 18 mètres de hauteur.

Le chemin Rhénan, qui va de la frontière et de la petite ville d'Eupen à Cologne par Aix-la-Chapelle, Eschweiler et Düren, a été construit dans des conditions à peu près analogues à celles des chemins belges.

L'inclinaison maxima est de 0^m,005, et l'on n'en trouve pas trois

aussi fortes. L'une est une rampe de 162 mètres de long au sortir d'Aix. Les deux autres sont des pentes de 204 mètres chacune. On arrive à Aix par un plan incliné à machine fixe. Mais on aurait pu l'éviter, si l'on n'avait expressément tenu à passer par Aix, et si l'on était descendu en pente directe sur Düren.

Quant aux courbes, il n'y en a qu'une seule de 800 mètres de rayon après la station d'Eschweiler. Sur tout son parcours de 82 kilomètres, le chemin descend d'une manière presque continue, car il n'y a en tout que cinq rampes assez courtes. La pente moyenne est de 2^{mm},46 seulement.

Entre la frontière et la Roër, le tracé est très-sinueux, à cause du grand détour fait pour passer à Aix, ville de première importance, et à Eschweiler, bassin houiller très-abondant. Après quoi on trouve des alignements dont les plus grands sont de 4,500 à 5,000 mètres; la longueur la plus ordinaire étant de 2,000 mètres. Plus loin, on en rencontre de 13,000 mètres et même de 25,000 mètres. Ces deux derniers, réunis par une courbe de 6,000 mètres de rayon, forment l'arrivée à Cologne. La plus grande difficulté que l'on ait eu à surmonter dans l'exécution de ce chemin a été de franchir le faite qui sépare l'Erft du Rhin. On n'a pu y parvenir qu'en perçant un souterrain de 1,620 mètres dans des terrains difficiles aux environs de Kœnigsdorf.

Chemin de l'Ouest (Suisse). — Bien que le chemin de Genève à Versoix ne soit pas construit par la compagnie de l'Ouest (Suisse), nous comprendrons sous le nom de chemin de l'Ouest (Suisse) toute la ligne à établir ou établie dans les cantons de Genève et de Vaud, de Genève à la frontière du Valais, ainsi que celle déjà établie de Morges à Yvedun, avec prolongation dans l'avenir vers le nord de la Suisse.

Le chemin de Genève à Lausanne, portion importante de cette ligne construite sur la rive droite du lac Léman, suit le flanc d'un coteau assez ondulé. La partie que traverse le chemin de fer présente en général une pente douce vers le lac. Quelquefois cette pente devient insensible, et le terrain offre l'aspect d'un plateau ou même d'une vallée parallèle à celle du lac, séparé de celle-ci par un faite longitudinal très-sensible. Dans tous les cas, le versant, qui descend

du Jura vers le Léman, est sillonné par des vallées, par des ravins et par de simples plis perpendiculaires au lac, nécessitant l'exécution de nombreux ouvrages pour l'écoulement des eaux.

La distance de Genève à Lausanne, mesurée suivant l'axe du chemin de fer, est de 60 kilomètres et demi. La partie entre Morges et Lausanne est en exploitation. Il sera probablement livré à l'exploitation au printemps de 1858.

La déclivité maximum, qui se présente d'ailleurs aussi bien en rampes qu'en pente, est de 1 centimètre. La somme des parties où la voie atteint cette déclivité est de 4,550 mètres, entre Versoix et Morges. Les courbes n'ont pas moins de 1,000 mètres de rayon.

Le seul ouvrage en maçonnerie de quelque importance que l'on rencontre sur ce chemin est le viaduc d'Allaman ou de la vallée de l'Aubonne, qui a 135 mètres de longueur totale sur une hauteur maximum de 24 mètres. Le cube des terrassements est de 22 mètres cubes seulement par mètre courant. Le chemin de Morges à Yverdon, exploité déjà depuis plusieurs années, a 42 kilomètres de longueur. Sa pente normale est de 1 centimètre. On n'y trouve aucun ouvrage d'art et aucun terrassement d'une très-grande importance, sauf le remblais aux abords de Lausanne.

On vient de livrer au public (juin 1857) un nouveau tronçon du chemin de l'Ouest (Suisse), d'environ 17 kilomètres, s'étendant de Villeneuve, petite ville à l'extrémité orientale du lac de Genève, jusqu'à Bex, limite des cantons de Vaud et du Valais. Ce chemin se prolongera, dans quelques années, vers le Simplon et l'Italie, et sera réuni au chemin de Villeneuve à Lausanne. Cette dernière ligne, étudiée sous la direction habile de M. Léon-Lalanne, ingénieur en chef des ponts et chaussées et du chemin de l'Ouest (Suisse), sera établie sur une portion des rives du lac où les terrains sont très-précieux au travers d'un sol quelquefois éboulé. Elle présentera donc de plus grandes difficultés de construction que la portion de chemin de Genève à Lausanne. Les pentes n'y dépassent cependant pas 1 centimètre. Plusieurs bâtiments de station et maisons de garde, en cours d'exécution sur le chemin de l'Ouest (Suisse), seront certainement les modèles les plus remarquables du style d'architecture *chalet* que l'on trouve sur les chemins de fer.

En résumé, on remarque que, sur le chemin de l'Ouest (Suisse), on a été conduit à adopter la pente de 1 centimètre comme pente normale, tandis que, sur la plupart de nos grandes lignes en France, cette pente n'a été admise qu'exceptionnellement, et concentrée sur une partie du parcours.

CHEMINS A FORTES PENTES.

Les chemins de fer que nous avons encore à passer en revue ne se présentent plus avec les mêmes caractères que ceux précédemment étudiés. Ils ne sont plus, comme ces derniers, souvent parallèles à des voies navigables; ils ont été, au contraire, généralement établis dans des localités où il n'existait pas de voies navigables naturelles, et où il était presque impossible d'en pratiquer d'artificielles. Leur tracé n'admet pas toujours l'emploi des machines locomotives dans toute la longueur de la ligne. Les moteurs varient avec l'inclinaison, qui dépasse quelquefois la limite sur laquelle les locomotives peuvent marcher avec avantage. Les plans inclinés à machines fixes et les plans automoteurs alternent avec les plans horizontaux. En quelques heures, dans certains cas, sur une même ligne (chemin de Helton), on peut faire une étude complète des moteurs divers usités sur les railways.

Nous décrirons d'abord plusieurs chemins construits depuis longtemps, et dont la plupart ont pour objet principal le transport du charbon. Nous traiterons ensuite des chemins construits récemment, sur lesquels le service se fait exclusivement avec des locomotives.

Chemin de Birmingham à Gloucester. — Ce chemin, embranché sur celui de Londres à Birmingham, se réunit à Cheltenham au chemin de Cheltenham à Oxford.

Il est courbe sur presque toute sa longueur, qui est de 72,500 mètres. Les plus petites courbes, qui se trouvent aux points d'arrivée et de départ des stations principales, ont 1,600 mètres de rayon.

Les pentes varient entre 0 et 3,3 millièmes. A la sortie de la station de Birmingham, on trouve un plan incliné long de 5,200 mètres, dont l'inclinaison est de 0^m,027, et, à peu de distance du point

de jonction avec le chemin de Londres à Birmingham, une pente de 0^m,012 sur 1,600 mètres de longueur.

Le plan incliné de Bromgrave est desservi par de puissantes machines américaines.

Chemin de Hetton. — Hetton est un petit village sur le terrain houiller de Newcastle, près duquel ont été ouverts plusieurs puits de mine servant à l'extraction d'une quantité considérable de charbon.

Toute la houille provenant de ces puits, dont la production est de 500,000 tonnes par an, est transportée par le chemin de fer au port de Sunderland à l'embouchure de la Wear. C'est uniquement dans le but de rendre profitable l'exploitation de la mine de Hetton que ce chemin a été établi par M. Stephenson, frère du célèbre ingénieur du chemin de Liverpool. Il a été posé à la surface du sol presque sans aucun terrassement. Si on en étudie le profil, on verra qu'à partir des mines, sur une longueur d'environ 1,500 mètres, le railway est à peu près de niveau; il descend seulement de 7 mètres sur toute la longueur; mais, arrivé au pied d'une colline, il la gravit presque en ligne droite par trois plans inclinés successifs, puis il descend sur l'autre revers, du côté de Sunderland, par quatre plans automoteurs, séparés les uns des autres par des paliers de 500 à 400 mètres de longueur, et enfin, du pied de la colline, il est faiblement incliné jusqu'à Sunderland, où se trouvent de nouveaux plans automoteurs et les embarcadères.

Nous avons fait le voyage sur un waggon chargé de houille jusqu'à Sunderland. La première partie du chemin est rapidement parcourue au moyen de machines locomotives; mais le mouvement se ralentit dès que les waggons sont attachés au câble remorqueur pour gravir la colline. Parvenu au point culminant, on est lancé vers Sunderland sur les plans automoteurs avec une vitesse qui s'accroît au point de devenir effrayante.

Sur chacun des paliers qui séparent les plans automoteurs, les convois sont détachés d'une corde pour être attachés à une autre. C'est vraiment chose merveilleuse que l'adresse et l'agilité des hommes qui changent les cordes. En quelques minutes, vous avez franchi les quatre plans automoteurs. Vous les quittez pour des-

cendre encore par l'impulsion de la gravité ; mais alors le poids des chariots chargés de houille qui vous portent ne suffit plus pour faire monter les chariots vides en sens contraire : ceux-ci sont remorqués par une machine fixe au moyen d'une corde que les chariots pleins traînent derrière eux. Enfin, vous vous trouvez de nouveau sur un terrain à peu près horizontal. Ce n'est plus cependant une machine locomotive qui vous conduit à Sunderland : les waggons sont remorqués par une machine fixe, et les chariots sont attachés à deux cordes, l'une qui les traîne, l'autre qu'ils traînent ; l'une qui les emmène chargés de houille, l'autre qui doit les ramener vides.

A Sunderland, le spectacle change. Le chemin de fer, au pied du plan automoteur qui conduit aux rives de la Wear, se subdivise en plusieurs branches aboutissant à autant de débarcadères. Trente ou quarante grands leviers, d'immenses bras en bois placés sur le bord de la Wear, saisissent les waggons, les déposent avec leurs charges sur les bâtiments qui couvrent la rivière, puis se relèvent majestueusement en reportant le waggon vide sur le chemin de fer. On les voit, ouvriers infatigables, continuellement s'abaisser et se redresser sans jamais s'arrêter, et ce qui paraît extraordinaire, c'est qu'aucune machine ne leur communique le mouvement. C'est le waggon seul qui, arrivé sur une petite plate-forme portant un chemin de fer et suspendu à l'extrémité du levier, entraîne ce levier et descend par son poids. Un contre-poids, caché par une charpente, produit ensuite le mouvement du levier en sens inverse et fait remonter le waggon vide.

Les convois parcourent la distance totale de Hetton à Sunderland en 1 heure 25 minutes, et chaque waggon se vide sur le bateau en 1 minute $\frac{1}{2}$.

Chemin de Darlington à Stockton. — Les mines de houille desservies par le chemin de Hetton et les chemins voisins sont toutes ouvertes à peu près au milieu du terrain houiller de Newcastle, dans une partie où les couches gisent à une grande profondeur. Les puits nécessaires pour atteindre ces couches traversent des terrains dans lesquels filtrent de véritables fleuves souterrains ; ils coûtent souvent des sommes énormes. Au sud et au nord du bassin, les

couches se relèvent de telle sorte, qu'on peut les exploiter près de leur affleurement à une distance du sol beaucoup moins considérable. Le charbon est de moins bonne qualité qu'auprès de Hetton, mais il coûte moins cher. C'est pour ouvrir un débouché à ces mines placées dans la partie méridionale du comté de Durham, que l'on a construit le chemin de Darlington à Stockton. Ce chemin, malgré le nom qu'il porte, commence à 19 kilomètres environ au nord-ouest de Darlington, mais il passe à une petite distance de Darlington, et près de Stockton il se subdivise en deux branches, l'une qui aboutit au port de Stockton, l'autre à celui de Middlesborough.

Sa longueur totale est de 40 kilomètres; l'embranchement de Middlesborough a 6 kilomètres $1/2$ de longueur.

On remarque dans le voisinage des mines, quatre plans inclinés adossés deux à deux. Les deux premiers servent à franchir la colline d'Étherley, qui sépare la rivière Wear de la rivière Gaundles, l'une de ses branches; les deux autres sont établis sur le montant de Brusselton.

Des machines fixes, placées au sommet des deux collines, remontent les waggons.

Du monticule d'Étherley au monticule de Brusselton, dans la vallée qui les sépare, comme la distance est fort courte, le transport s'opère au moyen de chevaux; du pied du plan de Brusselton jusqu'au port de Middlesboroug, la pente descendant toujours vers la mer est très-variée, mais elle ne dépasse pas 96 millièmes. Les circuits n'ont quelquefois que 200 à 300 mètres de rayon.

Le transport s'effectue aujourd'hui, sur cette partie de la ligne, exclusivement avec des machines locomotives.

Lors de l'établissement du chemin de fer de Darlington, en 1822, on était loin de compter sur l'activité des relations auxquelles cette nouvelle voie de communication a donné naissance; aussi se borna-t-on à poser une seule voie. On ne s'inquiéta guère de rendre les pentes uniformes et d'adoucir les circuits, et on fit usage presque exclusivement de chevaux pour les transports sur les parties dont la pente n'atteignait pas 1 centième. En 1828, M. le chevalier Masclet n'indiquait dans un mémoire, publié par le *Journal du Génie*

civil, que deux machines locomotives employées sur le chemin de Darlington. Lorsque, un peu plus tard, MM. Dechen et d'OEinhausen, officiers des mines de Prusse, visitèrent le même chemin, la Compagnie possédait six machines. En 1855, nous en avons compté vingt-trois.

La circulation sur ce chemin continuant à augmenter, on a, depuis quelques années, percé deux souterrains afin de supprimer les plans inclinés, et l'on effectue le transport des mines jusqu'au port au moyen de locomotives.

Chemin de Cromford à Peakforest. — Ce chemin de fer est l'un des moins connus et des plus originaux de l'Angleterre ; il a été établi au milieu d'une des parties les plus montueuses de ce pays, et passe sur la cime la plus élevée du Derbyshire.

On s'élève jusqu'au point culminant, d'un côté comme de l'autre, par une série de plans inclinés dont l'inclinaison atteint quelquefois 11 centimètres.

Une partie, qui est à peu près de niveau sur environ 20,110 mètres de longueur, est parcourue par des chevaux. Le chemin est alors tracé sur le revers de la montagne, et en suit toutes les sinuosités en faisant des circuits de 200 mètres de rayon ; les waggons, pour tourner facilement dans les circuits, ont un essieu pour chaque roue.

Sur les plans inclinés du chemin de Cromford, on ne se sert pas de cordes, comme sur la plupart des autres chemins de fer ; on a préféré par raison d'économie l'usage des chaînes ; et, comme il leur arrive souvent de se rompre, les accidents sont fréquents.

C'est ce qui a déterminé l'autorité à défendre le transport des voyageurs sur cette ligne ; quelques-uns cependant montent, au risque de leur vie, sur les waggons de marchandises.

Ce railway n'a coûté que 100,000 fr. par kilomètre. Destiné principalement au transport des marchandises de Manchester vers Nottingham, ou dans la direction contraire, il est de moitié moins long que la voie navigable. Cependant le tonnage y est presque nul, et les actions ont perdu toute leur valeur.

Anciens chemins de Saint-Étienne à Andrezieux et à Roanne. — Trois chemins de fer partent de Saint-Étienne et ont été établis

dans le but d'ouvrir un débouché au riche bassin houiller au centre duquel se trouve cette ville.

Celui de Saint-Étienne au petit port d'Andrezieux sur la Loire a été le premier construit en 1825. Celui de Saint-Étienne à Lyon a été commencé en 1826, et le chemin de Saint-Étienne à Roanne en 1828. Le charbon transporté sur le premier de ces railways à Andrezieux est embarqué sur la Loire pour être dirigé directement sur le Nivernais ou sur Paris, par les canaux de Briare et du Loing et la Seine ; mais la Loire n'est navigable, d'Andrezieux à Roanne, que pendant un petit nombre de jours chaque année, lors de ses grandes crues. Le chemin de Saint-Étienne à Roanne, parallèle sur une grande partie de sa longueur au cours de la Loire, a été établi pour suppléer à cette navigation imparfaite. Quant au chemin de Saint-Étienne à Lyon, il est destiné à transporter la masse énorme de charbon qui descend de Saint-Étienne ou de Rive-de-Gier vers le Rhône, et à desservir la circulation des voyageurs entre Saint-Étienne et Lyon.

Le tracé du chemin de Saint-Étienne à Andrezieux, déterminé lorsque l'on commençait à peine à s'occuper sérieusement de la construction de grandes lignes de chemins de fer, est très-défectueux, et ne mérite, par conséquent, en aucune manière de fixer notre attention. Il serait injuste cependant de ne pas reconnaître le service qu'a rendu au pays feu M. Beaunier, inspecteur divisionnaire des mines, qui en est l'auteur, en introduisant pour ainsi dire en France ce nouveau genre de voie de communication. Tout autre ingénieur, à l'époque où il construisit le chemin d'Andrezieux, fût tombé dans les mêmes fautes.

Le tracé du chemin de Saint-Étienne à Lyon présentait d'immenses difficultés. De Saint-Étienne à Rive-de-Gier la distance n'est que de 21,000 mètres, et la différence de niveau est d'environ 500 mètres. Il fallait traverser la chaîne qui sépare le bassin de la Loire de celui du Rhône, et descendre vers Rive-de-Gier par une vallée rapide sur les berges de laquelle il n'était pas aisé de se développer. De Rive-de-Gier au bord du Rhône, on était encore obligé de suivre une vallée très-roide et de plus fort étroite. Heureusement l'activité présumée de la circulation permettait, commandait même

de ne pas reculer devant la dépense pour obtenir la plus grande viabilité possible. On perça un souterrain de 1,500 mètres pour traverser la chaîne qui sépare Saint-Étienne de Rive-de-Gier, et, au moyen de remblais ou de tranchées, on régla la pente de manière à la rendre uniforme de Saint-Étienne à Rive-de-Gier. De Rive-de-Gier au Rhône, on suivait une vallée moins rapide, mais plus étroite. On se ménagea encore une pente uniforme en traversant les contre-forts par des souterrains ou des tranchées, et en se tenant à mi-côte par des remblais considérables. De Givors à Lyon, le chemin remonte le cours du Rhône en longeant ce fleuve avec une très-faible pente.

De Saint-Étienne à Rive-de-Gier, l'inclinaison est de 14 millimètres, de Rive-de-Gier à Givors de 6 millimètres $\frac{1}{2}$, et de Givors à Lyon de $\frac{1}{2}$ millimètre. Le rayon des courbes n'est jamais de moins de 500 mètres.

Avec un pareil tracé, rien de si facile que le trajet de Saint-Étienne à Lyon : les waggons descendent par l'impulsion seule de la gravité jusqu'à Givors ; il suffit d'en modérer la vitesse à l'aide des freins. De Givors à Lyon, le transport s'effectue avec les machines locomotives ; mais la descente des waggons ou voitures chargés est grevée des frais de remonte de la plus grande partie des véhicules à vide, et cette remonte devient très-dispendieuse, principalement entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne. C'est un plan incliné de 21,000 mètres qu'il faut gravir. Sur une rampe aussi forte, l'emploi des locomotives et des chevaux est très-coûteux, et cependant l'inclinaison n'est pas assez grande pour admettre l'établissement d'appareils automoteurs. Le service des voyageurs serait d'ailleurs presque impraticable par ce dernier système et par celui des machines fixes.

On a reproché aux auteurs du tracé, MM. Brisson et Séguin, de n'avoir pas concentré la pente sur un plan incliné près de Saint-Étienne, pour descendre ensuite vers Rive-de-Gier par une pente plus douce, ou bien de n'avoir pas diminué l'inclinaison en se développant sur les berges de la vallée. Mais l'adoption du plan incliné eût entraîné les plus graves inconvénients pour le transport des voyageurs, et quiconque a visité le pays sait qu'il était à peu près

impossible de réduire la pente à une limite avantageuse pour le service des locomotives sans faire des circuits non moins préjudiciables à la viabilité.

Disons donc, avec le célèbre ingénieur Stephenson, que le tracé du chemin de Saint-Étienne est une œuvre qui fait honneur à MM. Brisson et Marc Séguin : il n'appartenait qu'à des hommes de génie de concevoir un travail aussi hardi.

Le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon n'est cependant pas à l'abri de la critique comme ouvrage d'art. Sans expérience alors sur les conditions de solidité que doivent remplir ces nouvelles voies de communication, on l'a construit trop légèrement. Il est à regretter aussi que l'on n'ait pas donné aux grands souterrains une largeur suffisante pour loger deux voies. Mais la Compagnie du Grand-Central, substituée aux anciennes Compagnies des chemins de Saint-Étienne à Lyon et de Saint-Étienne à Roanne, vient d'entreprendre des travaux qui auront pour résultat de les placer dans les conditions ordinaires de largeur de voie et de solidité des ouvrages.

Le chemin de fer de Saint-Étienne étant à deux voies sur la plus grande partie de son parcours, placé sur un terrain que l'on a payé fort cher (20,000 fr. l'hectare en moyenne), et comptant environ 4,000 mètres de souterrains sur une longueur totale de 57,000 mètres, a coûté 450,000 fr. environ le kilomètre.

Chemin de Saint-Étienne à Roanne. — Le chemin de Saint-Étienne à Roanne ne nous présente plus les pentes uniformes du chemin de Lyon à Saint-Étienne. A une longue portion presque entièrement de niveau succèdent plusieurs plans inclinés d'environ 5 centièmes de pente. Le service se fait avec des machines locomotives sur la partie de niveau, et avec des machines fixes sur les plans inclinés.

Devait-on, pour éviter les plans inclinés, exécuter de longs et coûteux souterrains? C'est ce dont il est permis de douter, quand on sait combien était faible le chiffre de la circulation sur ce chemin quelques années même après l'ouverture.

Les chemins de Saint-Étienne à Lyon, Saint-Étienne à Andrezieux et Roanne sont aujourd'hui (1857) reconstruits dans leur entier

sur le modèle des lignes les plus nouvelles, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Michel.

Chemin d'Alais à Beaucaire. — On a souvent décrit les chemins de Roanne à Saint-Étienne et de Saint-Étienne à Lyon : aussi sont-ils généralement connus. Il n'en est pas de même du chemin d'Alais à Beaucaire, qui, placé dans des circonstances analogues, ne présente peut-être pas moins d'intérêt.

Nous allons en étudier le tracé ; nous le ferons précéder de celui du chemin des mines de la Grand'Combe à Alais, et nous y joindrons le tracé du chemin de Nîmes à Montpellier. Nous ne ferons, au reste, pour ainsi dire, que mentionner ce dernier, dont les détails ne nous offriraient rien de bien instructif.

Le chemin des mines de la Grand'Combe à Alais quitte les mines par un plan incliné en ligne droite, de 686 mètres de longueur, rachetant une hauteur de 56^m,65 au moyen d'une pente graduée de haut en bas de la manière suivante :

Longueur,	100 mè.	Pente,	0,093	Hauteur rachetée,	9,50
—	100 »	—	0,0875	—	8,75
—	100 »	—	0,085	—	8,50
—	86 »	—	0,0825	—	7,10
—	100 »	—	0,08	—	8,00
—	200 »	—	0,075	—	15,00

Longueur totale 686 mè. Pente moyenne 0,085 Hauteur totale rachetée 56,65

Puis, après un palier sur un viaduc de 40 mètres et une pente de 0,006 sur 178 mètres de longueur en courbe de 500 mètres de rayon, on arrive à un second plan incliné de 400 mètres ainsi gradué :

Longueur,	80 mè.	Pente,	0,0525	Hauteur rachetée,	4,20
—	80 »	—	0,05	—	4,00
—	80 »	—	0,0475	—	3,80
—	80 »	—	0,045	—	3,60
—	80 »	—	0,0425	—	3,40

Longueur totale 400 mè. Pente moyenne 0,0475 Hauteur totale rachetée 19,00

Après quoi, le chemin passe des plans inclinés à l'allure ordi-

naire par quelques pentes fortes, mais assez courtes, qui sont les suivantes :

0,015	sur	584	mètres.
0,008		60	»
0,012		441	»
0,005		5660	»

Cette dernière est en partie dans un souterrain de 177 mètres de longueur.

Puis, jusqu'à Alais, le chemin continue à descendre, mais par une pente qui ne varie qu'entre 2 et 4 millimètres.

Quant aux courbes, elles sont sans cesse de faible rayon. On en compte :

1	de 175	mètres de rayon et de	80	mètres de longueur.
1	200	—	570	—
1	220	—	496	—
5	250	—	450	mètres de longueur environ.
1	275	—	250	—
1	300	—	400	—
2	350	—	400	mètres de longueur en moyenne.
1	425	—	521	—
1	450	—	470	—
10	500	—	200	—
5	750	—	500	—

Une seule enfin de 966 mètres sur 145 de développement.

Les alignements sont rares et peu étendus ; ils ont ordinairement 200 mètres environ, si ce n'est en approchant d'Alais, où l'on en trouve un de 716 mètres et un autre de 400 mètres.

Le chemin d'Alais à Beaucaire présente au début quelques courbes comparables aux précédentes, savoir :

1	courbe de	400	mètres de rayon sur	218	mètres de développement.
1	—	514	—	852	—
1	—	482	—	295	—

Puis elles deviennent de 1,000, 1,400 et 1,500 mètres, et sont entremêlées de quelques alignements jusqu'un peu avant le souterrain de Ners, où il s'en trouve une de 700 mètres de rayon et de

500 mètres de développement, et une de 546 mètres de rayon sur 654 mètres de développement. Jusque-là les pentes se sont maintenues entre 1 et 4 millimètres, et on n'a rencontré qu'un seul palier de 560 mètres.

Le souterrain de Ners, de 1,500 mètres de longueur, fait partie d'une pente de 2^{mm},5. Elle est suivie d'un palier de 600 mètres à l'extrémité duquel se trouve le pont du Gardon. Ce pont a 222 mètres de longueur et 8 de hauteur au-dessus de l'étiage. Il est formé de 8 arches de 22 mètres d'ouverture. Après quoi la pente se reproduit toujours à peu près dans les mêmes limites jusques et au delà du village de Boncoiran, sous lequel le chemin passe par un petit tunnel. Puis vient une rampe de 3^{mm},5 sur 3,600 mètres de longueur, à laquelle succède un palier de 2,500 mètres. Enfin, à l'entrée d'une rampe de 6 millimètres sur 8,200 mètres de longueur, on arrive au viaduc de la Braune, de 200 mètres de long, de 14 mètres de haut, et composé de 16 arches de 10 mètres d'ouverture environ.

Quant aux courbes, elles se sont, depuis Ners, maintenues généralement au-dessus de 1,000 mètres, à l'exception de trois, dont une après Boncoiran, de 700 mètres de rayon sur 242 de développement, et deux auprès du viaduc de la Braune, de 750 mètres de rayon sur 376 mètres de développement.

Au sommet de la rampe de 6 millimètres au mas de Ponge se trouve un palier de 200 mètres, puis on redescend sur Nîmes avec une rampe de 12 millimètres sur 8,100 mètres de longueur.

On passe dans le cours de cette rampe sur le viaduc de la Tour-Magne, de 18 mètres de hauteur ; sous la Tour-Magne, au moyen d'un petit tunnel, sur le viaduc du Mas-du-Diable, et l'on arrive à un palier de 1,400 mètres sur lequel se fait le raccordement avec le chemin de Nîmes à Montpellier.

De Nîmes à Beaucaire le tracé se trouve en plan dans les conditions les plus communes ; il présente, à la vérité, une suite presque continuelle de courbes, mais celles-ci n'ont jamais plus de 1,000 mètres de rayon.

Quant au profil, il offre d'abord, sur une longueur totale d'environ 10 kilomètres, quelques pentes de 3^{mm},5, puis des rampes de

même inclinaison, le tout entremêlé de paliers de 800 à 1,000 mètres. A l'issue de la dernière rampe on se trouve en palier sur 5,210 mètres, puis on redescend sur Beaucaire par une pente continue de 7 millimètres sur 7,690 mètres de longueur. On rencontre dans le cours de cette pente, en fait de travaux d'art, 1° le viaduc du Mas-du-Pauvre-Ménage, de 125 mètres de long, de 12 mètres de haut, et de 9 arches de 9 mètres d'ouverture chacune.

2° Le souterrain de Beaucaire, de 500 mètres de longueur.

3° Enfin, le viaduc de Beaucaire, qui a 500 mètres de longueur, 11 mètres de hauteur, et qui est composé de 28 arches de 10 mètres d'ouverture chacune.

Ce chemin a été établi à simple voie sur toute sa longueur, qui est de 92 kilomètres. Il se tient le plus souvent au niveau du sol; aussi, quoique traversant un pays fort accidenté, n'a-t-il donné lieu qu'à de faibles terrassements et à des travaux d'art peu considérables, si ce n'est le viaduc de Beaucaire.

Le chemin de Nîmes à Montpellier s'embranche, à une petite distance de Nîmes, sur celui d'Alais à Beaucaire au moyen d'une courbe de 1,000 mètres. Son tracé est des plus simples : il décrit un assez grand nombre de courbes, mais leurs rayons sont tous entre 1,500 et 1,000 mètres, et plutôt de 1,500 que de 1,000. On descend, à partir de Nîmes, jusqu'à 7 kilomètres de Montpellier, avec une pente presque continue, variant de 1 à 5 millimètres, puis on arrive à Montpellier par une rampe de 6^m,002. Là, le chemin se raccorde avec celui de Montpellier à Cette, au moyen de trois courbes et contre-courbes successives de 600 mètres de rayon et de 500 à 700 mètres de développement. Ce sont les seules courbes de rayon au-dessous de 1,000 mètres que l'on puisse citer.

Quant aux travaux d'art, il n'y en a point de remarquables, à moins qu'on ne veuille considérer comme tel le viaduc de la Gallargues, composé de 28 arches, long de 200 mètres et haut seulement de 7.

L'embarcadère de Nîmes a cela de particulier, que le chemin y est établi sur les arcades à une hauteur de 10 mètres environ, et que les bureaux et salles d'attente sont situés au-dessous.

Chemin de Vienne à Trieste. — La grande ligne de Vienne à

Trieste, d'une longueur totale de 629^k,60, dont 75^k,33 empruntés au chemin de Vienne à Gloggnitz, rencontre, au cœur des Alpes noriques, de sérieuses difficultés. Le chemin de Gloggnitz, prolongé sur le Schotwien, arrive au pied du Sømmering, le sommet le moins élevé des Alpes styriennes, celui que franchit la grande route de Vienne à Trieste en un point élevé de 1,014^m,15 au-dessus du niveau de la mer, et de 649^m,68 au-dessus de la vallée de la Mury. Il traverse cette chaîne de montagnes en la gravissant au moyen de pentes qui atteignent 25 millimètres et descend jusqu'à Gratz, capitale de la Styrie.

La discussion du projet pour la traversée du Sømmering¹ a présenté les mêmes phases qu'en Bavière pour le passage du Fichtelgebirge, et elle a abouti au même résultat : la locomotive est restée maîtresse du terrain; on a pu d'ailleurs se renfermer dans les mêmes limites pour l'inclinaison, mais à condition de répartir les rampes par des inflexions plus brusques et plus multipliées encore. Le rayon de courbure descend jusqu'à 190 mètres; mais, sur rampe de 25 millimètres, il ne s'abaisse pas au-dessous de 235 mètres, et la longueur maxima de l'arc est de 385 mètres. Le chemin franchit la ligne de faite à 885 mètres au-dessus du niveau de l'Adriatique, à 462 mètres au-dessus de la station de Gloggnitz, distante de 28^k,8, et à 217 mètres au-dessus de la station de Murzzuschlag, éloignée de 12 kilomètres. Sur le versant nord, la hauteur rachetée par les 8 premiers kilomètres à peu près, c'est-à-dire de Gloggnitz à Payerbach, est seulement de 69^m,6; la pente moyenne, à partir de ce point jusqu'au sommet, est de 19 millièmes; elle est de 18 millièmes sur le versant méridional; la répartition des inclinaisons varie de 10 à 25 millièmes.

C'est seulement sur le versant nord que la limite de 25 millimètres est atteinte, et sur une longueur totale de 4.676 mètres. La plus longue de ces rampes, de 25 millimètres, précédée seulement par un court palier de 650 mètres, a un développement de 3,170 mètres. Le tracé du Sømmering est donc, sous ce rapport, plus simple que celui du Fichtelgebirge, qui présente une rampe continue de

¹ Extrait des *Annales des mines*, article de M. Couche.

25 millimètres sur 5,400 mètres de long; mais aussi la hauteur totale à racheter est beaucoup plus grande au Sœmmering, le tracé est bien plus tourmenté en plan, et la puissance qu'on voulait obtenir des locomotives bien plus considérable. Il y avait là un ensemble de conditions difficiles à concilier et de nature à entraîner des modifications plus ou moins profondes dans quelques-unes des dispositions essentielles des machines⁴.

Le prolongement de la grande ligne de Vienne à Trieste présentait au delà de Gratz des difficultés qu'on a réussi à vaincre, dit M. Couche, comme on l'espérait, avec un tracé bien plus favorable qu'au Sœmmering. Les rampes ne dépassent pas 16^{mm},5.

Les conditions sont plus satisfaisantes encore pour le difficile accès de la ville de Trieste. Les rampes n'excèdent pas 12 millimètres. Le chemin part du nouveau lazaret; l'emplacement de la gare, parfaitement situé d'ailleurs, est conquis à grands frais, d'un côté sur la montagne, et de l'autre sur la mer par les remblais. La ligne suit la côte, passe à Boutorelles, Santa-Croce, et arrive à Nebresina, où doit se détacher la ligne de Trieste à Venise. Cette section, de 15^k,8, dont les travaux sont poussés avec une très-grande activité, rachète une hauteur de 122^m,30, dont 418^m,80 sur 16^k,7. Les courbes sont très-multipliées; leur nombre s'élève à soixante-six, et leur développement à 6^k,2, c'est-à-dire aux deux cinquièmes de la longueur de la section; mais trois seulement de ces courbes atteignent la limite de 291 mètres, et toutes les autres ont des rayons beaucoup plus grands.

Le tracé primitivement adopté de Nebresina à Venise est remis en question, malgré l'importance attachée par le gouvernement au prompt achèvement de cette ligne.

Nous avons indiqué page 116 les causes qui ont fait écarter ce tracé.

Les courbes ont en général 235 mètres de rayon; on en trouve une au passage de Sœmmering, qui n'a que 190 mètres.

⁴ On avait adopté, en 1844, un projet qui limitait les inclinaisons à 0,01975 sur le versant nord * et à 0,01998 sur le versant sud. Le tracé amendé est plus court de 2 kilomètres environ; il a surtout notablement simplifié les travaux d'établissement.

⁵ Notice sur les chemins de fer allemands en 1844, par M. Baumgarten.

Le service se fait uniquement avec le matériel américain propre au service des chemins à petites courbes, et avec un matériel spécial que nous décrirons.

M. Lechatelier pense qu'on aurait pu, en exécutant un tunnel, réduire les pentes pour les passages du Sømmering à 10 millimètres par mètre, et qu'on a sacrifié, sans motifs bien décisifs, les intérêts de l'exploitation à l'économie des frais de premier établissement.

Il fait une observation semblable pour le chemin de Stuttgart à Ulm, où l'on aurait pu réduire de 22 à 10 millièmes la pente d'un plan incliné.

Le chemin de Sømmering se trouvera prochainement en concurrence avec le chemin François-Joseph prolongé, qui, partant de Caniza, rejoindra Trieste sans avoir à franchir le faite élevé, de sorte que Vienne se trouvera en communication avec Trieste par un chemin d'à peu près même longueur que celui de Sømmering, mais beaucoup plus économique au point de vue de l'exploitation aussi bien qu'à celui de la construction.

Chemins saxo-bavarois : section de Neuenmarkt à Marktschor-gast¹. — De Nuremberg jusqu'au Neuenmarkt, c'est-à-dire jusqu'au pied du Fichtelgebirge, montagne qui sépare les bassins du Main et de la Saale (un des affluents de l'Elbe), ce chemin ne présente, sauf des rampes très-courtes, que des inclinaisons de 5 millimètres au plus, et, à l'exception des stations, que des courbes de 292 mètres de rayon au moins.

Mais le terrain présente, à partir de Neuenmarkt jusqu'à la frontière saxonne, des difficultés telles, qu'on crut devoir s'arrêter d'abord à l'idée d'un chemin desservi par des chevaux. On ne tarda pas toutefois à reconnaître que cette solution modeste ne répondait nullement, même d'après les évaluations les plus modérées, aux exigences du trafic ; d'ailleurs, on n'eût pas évité, même à ce prix, des travaux très-coûteux et hors de proportion avec le résultat obtenu. On se décida donc à étudier le tracé au point de vue de l'application du matériel américain.

¹ Extrait de la 2^e livraison de 1852 des *Annales des mines*, mémoire de M. Couche

Parmi les diverses directions étudiées dans l'avant-projet, une seule, la vallée du Streitmühl (ou Schwarzbach), pouvait se prêter à l'établissement d'un chemin de fer. Tout le terrain occupé par cette vallée, d'une largeur très-variable, fut levé par courbes horizontales, et ce travail préliminaire abrégé et facilita singulièrement les études de détail.

Plus on avançait dans cet examen, plus les obstacles semblaient grandir; un moment même le mode de traction fut de nouveau mis en question, et on revint, en désespoir de cause, à l'idée des plans inclinés à câbles.

Une circonstance particulière pouvait d'ailleurs justifier, jusqu'à un certain point, cette solution, quand même elle n'eût pas paru la seule possible. On avait constaté, sur les hauteurs qui dominent Rohresreuth, l'existence d'une source probablement assez abondante pour permettre l'établissement d'une balance d'eau, combinaison déjà proposée par l'ingénieur Robinson pour le chemin de Pottville à Danville (États-Unis); mais ce projet fut bientôt abandonné à son tour.

Indépendamment des inconvénients inséparables de la remorque des trains au moyen d'un câble, des doutes s'élevaient sur la constance du débit de la source qui devait alimenter la balance.

Ramenés de nouveau en présence de la locomotive comme seule solution acceptable, déterminés d'ailleurs, par une longue expérience du système américain et de ses inconvénients, à n'imposer au matériel aucune concession de ce genre, les ingénieurs bavarois ont déduit de la discussion des exemples connus les limites d'inclinaison et de courbures compatibles avec ces conditions, et dirigé leur tracé en conséquence.

La station de Neuenmarkt est située sur un palier de 3,304 mètres, et à 552^m,24 au-dessus du niveau de la Méditerranée. Le chemin présente, à partir de ce point, des rampes de 14 millimètres, 25 millimètres, 24^{mm},6 et 2^{mm},5, sur des longueurs respectives de 1,664, 2,498, 1,780 et 1,129 mètres, et atteint le palier de la station de Marktschorgast à la cote de 510 mètres. Une hauteur de 157^m,76 est donc rachetée sur un développement de 7,071 mètres (inclinaison moyenne, 22^{mm},5).

Les rayons de courbure varient entre 1,168 et 292 mètres; cette dernière limite n'est atteinte qu'une seule fois, à l'entrée de la station de Marktschorgast, et sur 194 mètres de longueur; en rampe, le rayon minimum est de 438 mètres.

Quant au profil, ce n'est pas par l'inclinaison, si inusitée qu'elle soit, c'est par la longueur jusque-là sans exemple de la rampe qu'il est surtout remarquable. Des rampes de 25 millimètres et au delà étaient, depuis plusieurs années déjà, desservies par des locomotives, mais leur longueur ne dépassait pas 3 kilomètres, 5^k,5 au plus. Sur une rampe deux fois plus longue, les conditions pouvaient être gravement modifiées. Suffirait-il encore d'aborder le pied de la rampe avec une machine bien préparée, la chaudière bien en vapeur, le foyer bien rempli, le niveau d'eau très-élevé? Réussirait-on constamment à maintenir sur une pareille étendue la pression au degré nécessaire, à se mettre en garde contre les chances de ralentissement et d'arrêt, devenues bien plus graves en raison du développement de la rampe? La régularité du service serait-elle assurée en dépit de l'état des rails, de la direction et de l'intensité du vent? Un succès accidentel, un succès d'expérience, n'était pas douteux; mais il y avait une véritable hardiesse à compter sur le succès de tous les jours.

L'établissement du chemin entre Neuenmarkt et Marktschorgast a exigé des travaux également remarquables par leur importance, par quelques particularités de construction, et par leur caractère parfaitement en harmonie avec la nature sévère et grandiose de cette contrée.

De Neuenmarkt jusqu'au pied de la montagne, c'est-à-dire sur une longueur de 1^k,66, le tracé suit à peu près la pente du sol; il entre en tranchée à 2 kilomètres au delà seulement sur 290 mètres de longueur et 8^m,80 de profondeur, mais dans un terrain de grauwacke et de schiste argileux très-dur qui a exigé l'emploi presque continuel de la poudre. Le chemin se maintient à mi-côte entre les kilomètres 4 et 5, sauf la traversée de trois ravins très-profonds; puis il entre en tranchée d'une faible longueur (292 mètres), mais sur 27^m,70, 12^m,50 et 16^m,60 de profondeur maximum, mesurée respectivement à partir des arêtes des talus et sur l'axe du

chemin. L'ouverture de cette tranchée à travers un terrain de grauwacke et de schistes amphiboliques a entraîné de très-grandes dépenses de main-d'œuvre et de poudre. A partir de là jusqu'au palier de Marktschorgast, c'est-à-dire sur une longueur de 2 kilomètres à peu près, les tranchées et les remblais se succèdent à des intervalles très-rapprochés ; mais cependant, à cause des profondes coupures et des pentes abruptes du terrain, les hauteurs de déblai et de remblai mesurées sur l'axe atteignent encore respectivement 7^m,7 et 16 mètres.

La grande disproportion qui existe entre les cubes de déblai et de remblai, et la nécessité de réduire celui-ci au minimum (les emprunts exigeant l'ouverture de véritables carrières d'une exploitation dispendieuse), ont conduit à adopter un mode particulier pour la formation des remblais. Ce sont des ouvrages mixtes, participant à la fois des remblais proprement dits et des viaducs. Ils se composent d'un noyau formé des déblais meubles et en petits fragments, flanqué de deux murs en pierres sèches construits avec les fragments plus volumineux provenant aussi des tranchées, et maintenus eux-mêmes par deux murs de soutènement maçonnés en gros blocs de schiste micacé provenant de deux grandes carrières situées près de Marktschorgast. Tout ce massif est profondément enraciné dans le sol, et repose sur le roc vif taillé en gradins. Les talus ne sont pas plans ; les parements des murs de soutènement sont des surfaces cylindriques ; la coupe verticale du parement extérieur est un arc de cercle de 41 mètres de rayon, dont le centre est à 9^m,64 au-dessus de la crête du remblai. L'inclinaison du talus sur la verticale est de 14° 30' au sommet, et atteint 45° à 18^m,40 au-dessous du niveau des rails ; à partir de cette limite, quand la hauteur du remblai la dépasse, la tangente en ce point est substituée au prolongement de l'arc, pour éviter un empatement exagéré. Il va sans dire que cette disposition a été adoptée pour les parties à mi-côte comme pour les remblais complets.

Vers la partie supérieure, ce profil se rapproche de la logarithmique qui conduit, pour toutes les sections horizontales, à l'égalité de charge par unité de surface. Il s'écarte peu de la figure d'équilibre, pour le *glissement*, d'un massif homogène et doué de cohé-

sion. Avec les talus plans, la stabilité d'un semblable massif décroît du haut vers le bas; pour qu'elle soit suffisante à la base, il faut qu'elle présente un excès de plus en plus grand vers le sommet.

La stabilité générale est donc, toujours en admettant l'assimilation à un massif homogène, sensiblement la même qu'avec des talus rectilignes ayant pour inclinaison celle de l'élément inférieur de l'arc; et la masse des ouvrages, ainsi que la largeur de terrains qu'ils occupent, est notablement réduite. Pour une hauteur de 18^m,40 par exemple, la largeur de l'emprise et la section du massif sont inférieures respectivement de 16 mètres et de 185^m²,56 à celles qu'exigerait un simple remblai, avec talus plans à 45°; et la largeur en couronne étant de 9^m,60, la largeur à la base et la masse de l'ouvrage sont réduites, l'une de 35, et l'autre de 56 pour 100.

Indépendamment de toute appréciation théorique, de toute hypothèse sur la forme des surfaces de rupture virtuelle, ce profil est justifié, au moins dans sa disposition générale, par l'observation même des phénomènes que présentent souvent les remblais à talus plans et revêtus. Ces talus deviennent convexes, se roidissent beaucoup à la base, et cet accroissement d'inclinaison, joint à la dislocation des matériaux du revêtement, compromet la stabilité de toute la masse.

Un profil concave, avec une flèche notable, et un élément supérieur très-peu incliné sur la verticale ne peut d'ailleurs s'appliquer qu'à des talus revêtus, ou tout au moins consolidés par des moyens artificiels: il suppose l'existence de la cohésion, qui est presque nulle dans les remblais naissants; et, fût-elle rétablie, elle ne résisterait pas longtemps à l'action de la pluie, des gelées, etc., action dont le profil théorique ne tient pas compte, et qui, sans altérer la figure d'équilibre, entraînerait l'éboulement graduel des talus¹. Une grande cohésion superficielle est du reste souvent indispensable, même pour les talus plans et beaucoup moins roides que le talus naturel; de sorte qu'une forme voisine de la figure d'équilibre

¹ On sait que l'effet des dégradations de surfaces est précisément de mettre peu à peu en évidence la figure d'équilibre dans les remblais à talus rectilignes; ce phénomène a été observé depuis longtemps dans plusieurs tranchées.

pourrait sans doute être appliquée assez fréquemment, sans aggraver beaucoup les dépenses de consolidation ou d'assèchement, et dès lors avec une économie très-notable.

L'épaisseur de maçonnerie, tant en pierre sèche qu'en pierre de taille, est, au sommet, de 2 mètres sur chaque flanc ; elle augmente graduellement avec la profondeur. Les joints sont normaux aux parements. Ces murs sont couronnés par de gros blocs de grès formant un parapet très-massif de 0^m,51 de haut et de 1^m,75 d'épaisseur. De nombreuses gargouilles débouchant sur les flancs assurent l'assèchement du noyau central.

Le cube total s'élève à 49,250 mètres pour la maçonnerie en pierre sèche, et à 40,390 mètres pour la maçonnerie de mortier ; soit en tout 89,640 mètres pour les 7 kilomètres 71 mètres, ou en moyenne 12^m3,6 par mètre courant.

Le plus remarquable des ouvrages de ce genre est celui qui a été exécuté pour le passage du Schützengraben, que le chemin de fer traverse à une hauteur de 52 mètres. L'épaisseur des murs, à la base, atteint 12 mètres, et celle de tout le massif, mesuré horizontalement, 52 mètres.

Le chemin saxo-bavarois est l'œuvre de l'ingénieur Kemtz.

Chemin de Brunswick à Harzbourg. — Ce chemin part de Brunswick et se développe, pendant une grande partie de son parcours, dans la plaine qui s'étend depuis le pied des montagnes du Harz jusqu'au littoral de la mer du Nord et de la mer Baltique ; son profil ne présente des inclinaisons supérieures à 5 millièmes qu'aux abords de la station de Wissembourg à la limite de la plaine. A partir de cette station, le chemin gravit les premières pentes de la montagne en se tenant moyennement au niveau du sol ; son inclinaison croît successivement jusqu'à 27^{mm},7, limite qu'elle atteint à la station de Harzbourg, placée à l'entrée d'une gorge profonde, à 8 kilomètres environ du sommet de Broken. Le tableau ci-joint donne la longueur et l'inclinaison des rampes qui se succèdent depuis Wissembourg jusqu'à la station de Harzbourg.

LONGUEURS.	INCLINAISONS.	
Mètres.	Millimètres.	
141,5	0,2	} par mètre.
1254,8	9,7	
2075,6	10,0	
1141,2	15,0	
1562,4	15,1	
1000,6	17,2	} Moyenne des inclinaisons 12 ^m ,78.
228,2	10,2	
529,5	27,7	} Stations.
156,9	5,0	
<hr/> 8048,7		

Pendant les deux premières années d'exploitation, les locomotives se sont arrêtées à Wissembourg ; les waggons étaient trainés par des chevaux jusqu'à Harzbourg. On ne tarda pas à reconnaître que ce mode d'exploitation n'était pas suffisant pour satisfaire à tous les besoins de la circulation, et, après quelques essais préliminaires faits avec les machines ordinaires, on commanda, en mai 1845, à Stephenson, deux machines à 6 roues couplées.

Depuis cette époque, ces machines font un service journalier assez actif et fonctionnent très-bien.

Chemin de Stuttgart à Ulm. — Ce chemin de fer, qui est établi à une seule voie sur toute son étendue, traverse les Alpes wurtembergeoises en rampe de $\frac{1}{8}$ (22 millimètres) sur un parcours de 6 à 7 kilomètres, avec des courbes de 260 mètres de rayon. On gravit cette rampe en se dirigeant de Stuttgart à Ulm. Dans l'autre direction, sur le versant opposé, en venant d'Ulm à Stuttgart, on s'élève, de la gare d'Ulm au sommet de la montagne, par des rampes de 14 à 15 millimètres par mètre.

Les trains de voyageurs partent de Stuttgart avec une machine américaine. Au pied de la rampe, on ajoute une *machine à marchandises à 6 roues couplées*. Cette machine a ses roues en fonte pleine ; elle pèse 55 tonnes.

Le diamètre des roues est de 1^m,160.

Le diamètre des cylindres, 0^m,460.

La course des cylindres, 0^m,660.

Les cylindres sont extérieurs.

Leur écartement d'axe en axe = $2^m,080$.

La distance des roues extrêmes d'axe en axe est de $3^m,200$.

Ces machines passent sans trop de difficultés dans des courbes de 260 mètres de rayon. Cependant l'usure des bandages paraît y être considérable.

Sur la rampe de 22 millimètres, ces machines remorquent un poids brut de 150 tonnes, avec une vitesse de 17 à 18 kilomètres à l'heure.

Pour gravir les rampes de 14 à 15 millimètres, on se sert de deux machines ordinaires, soit mixtes, soit américaines; la vitesse est d'environ 25 kilomètres à l'heure. La descente de la pente de 22 millièmes se fait sans vapeur, les freins serrés; on marche régulièrement et à une très-faible vitesse.

Le chemin de Stuttgart à Ulm, ainsi que les autres chemins du réseau wurtembergeois, fait honneur au talent de M. l'ingénieur en chef Carl Etzel, ainsi qu'à celui de son digne collaborateur, M. Klein.

Central suisse. — Le chemin de fer Central suisse se compose de deux grandes artères, dont l'une relie Bâle à Lucerne, en passant par Liestal, Olten, Arbourg et Sursée, et l'autre Arau à Bienne, en passant par Olten, Aarbourg, Herzogenbuchsée et Soleure. Une autre ligne, partant d'Herzogenbuchsée, se dirige sur Berne, pour de là rejoindre Thun d'un côté, et le chemin de Genève à Berne de l'autre.

Ces deux tracés mettent le chemin Central suisse en communication directe, au nord, avec les chemins de France du pays Badois, et les chemins de fer allemands qui débouchent sur le lac de Constance; à l'est et au midi, avec le centre de la Suisse, les cantons de Vaud, de Genève, du Valais, et l'Italie.

Le tracé adopté par les ingénieurs de la Compagnie, à la tête desquels se trouve M. C. Etzel, n'a rencontré de très-sérieuses difficultés que dans la traversée du Jura, entre Sissach et Olten; de Bâle à Sissach, le maximum des pentes est de 1 centimètre. Au delà de Sissach, le chemin s'élève le long du flanc de la montagne du Hauenstein, en franchissant avec beaucoup de hardiesse de pro-

fonds ravins, coupant en souterrains deux contre-forts près du village de Buckten, traversant le village de Lauffelfingen, et conservant jusqu'au point culminant de son profil, sur une longueur de 9,500 mètres, une rampe uniforme de $20^{\text{mm}},8$, sauf un palier de 500 mètres situé vers son milieu, et réservé pour la station de Somerau. Au sommet de ce plan incliné, se trouve la station de Lauffelfingen, qui précède l'entrée des souterrains du Hauenstein; ce tunnel, dont la longueur est de 2,500 mètres, descend vers la vallée de l'Aare, en conservant dans toute son étendue une pente de $26^{\text{mm}},4$. C'est en débouchant du tunnel, sur le versant oriental du Jura, que le voyageur venant de France aperçoit pour la première fois, et peut, si le temps est favorable, embrasser dans leur ensemble les hautes montagnes de la Suisse centrale, depuis les pics neigeux de l'Oberland bernois jusqu'aux sommets dentelés du canton d'Appenzel.

Au delà du tunnel, la ligne descend avec une pente de 25 millièmes sur 3,600 mètres jusqu'à la rivière l'Aare, qu'elle traverse sur un beau pont, puis gagne par un palier la station centrale d'Olten.

L'embranchement qui conduit d'Olten à Arau est presque horizontal. Sur cette section, il a pour ainsi dire suffi de poser le ballast sur le sol sans autre travail préparatoire. Le chemin touche Arau, en traversant en tunnel la montagne sur laquelle cette ville est assise, et doit se souder sur ce point au chemin du Nord-Est.

La ligne principale, partant d'Olten, poursuit sa route vers Lucerne en remontant, par des pentes douces, la vallée de l'Aare jusque vers la station de Sursée, où elle s'infléchit à l'est, passe au bord du petit lac de Sempach, et dessert la station de ce nom, qui franchit un faite dont le point culminant est près de Rothemburg.

Depuis Olten, l'inclinaison ne dépasse pas 10 millièmes; mais, à partir de ce point, la ligne descend vers la vallée de l'Emme sur une pente de 16 millimètres, ayant 7,600 mètres de longueur, franchit la petite Emme sur un pont de fer de 105 mètres d'ouverture à quatre travées, et s'arrête sur le pont de Lucerne, à côté du débarcadère des bateaux à vapeur qui naviguent sur le beau lac des quatre cantons.

Les autres parties du tracé du réseau Central suisse n'offrent aucun autre point où l'on ait rencontré des difficultés un peu sérieuses, si ce n'est le passage de la Sommerald et de la grande Emme à Burgdoff, et l'entrée de Berne, où le chemin franchit l'Aare sur un pont en fer de 45 mètres de hauteur et de 160 mètres d'ouverture en trois travées.

En plan, ce tracé est heureusement combiné en ce qui concerne les alignements droits et les courbes, qui sont en proportion de 70 pour 100 de longueur totale pour les premiers, et de 50 pour 100 pour les autres.

Le rayon des courbes en pleine voie est généralement au-dessus de 500 mètres, et ne s'abaisse à 560 mètres que sur deux points, l'un vers le Hauenstein, l'autre à Rothenburg, entre Sursée et Lucerne.

Le tracé du chemin Central suisse se trouve dans des conditions favorables, en ce sens que, le mouvement ayant lieu surtout de la France vers la Suisse, les trains chargés n'auront à gravir que des rampes qui ne dépassent pas 20 millièmes, celles de 25 et 26 millièmes n'étant remontées que par des waggons vides ou faiblement chargés.

Les principaux ouvrages d'art du chemin Central suisse sont au nombre de dix-neuf, comprenant :

- 1° Quatre ponts ou viaducs en pierre ;
- 2° Onze ponts ou viaducs en fer ;
- 3° Quatre tunnels d'une largeur totale de 2,900 mètres.

Les ouvrages d'art en pierre sont très-élégants et construits avec beaucoup de soin. Nous citerons entre autres le viaduc de Rumlingen, composé de huit arches en plein cintre dont les voûtes ont 0^m,90 d'épaisseur à la clef et 13^m,50 de diamètre ; les piles ont 15 mètres de hauteur et 3 mètres d'épaisseur.

Les ponts en fer de toute grandeur sont fort nombreux ; ils ont été presque tous exécutés en régie dans les ateliers de la Compagnie.

Nous décrirons leurs différents modes de construction plus loin, en traitant des travaux d'art. Nous nous bornerons à faire mention ici des ponts qui sont au delà de 10 mètres de portée entre les cu-

lées. Ceux-là ont été tous exécutés avec du fer à treillis, suivant le système de Howe.

Le plus remarquable est celui de l'Aare, près de Berne : établi pour livrer passage au chemin de fer et à une route, il est composé de deux grandes poutres en treillis, renfermant, dans l'espace réservé entre elles, un châssis de voiture au-dessus duquel sont établies les deux voies du chemin de fer.

Le platelage de la voie charretière et celui des rails sont supportés, le premier par la partie inférieure, le second par la partie supérieure des cadres en tôle, formant, entre toises et armatures, des grandes poutres en treillis.

Les dimensions principales de ce pont double sont les suivantes :

Hauteur des poutres.	5 ^m ,899
Longueur du pont entre les culées.	164 ^m ,400
Ouverture des deux travées extrêmes.	50 ^m ,000
Ouverture de la travée du milieu.	57 ^m ,200
Longueur totale des poutres métalliques.	168 ^m ,200
Hauteur des voies au-dessus de l'étiage de la rivière.	43 ^m ,500

Nous indiquerons aussi comme dignes d'attention les ponts de la Birss et de la Frenke, le premier près de Bâle, le second près de Liestall.

Comme exception aux types précédemment décrits, nous citerons le pont sur l'Aare, près d'Oltén.

Ce pont, dont le tablier fait partie d'un long plan incliné à 18 millimètres par mètre, est composé de trois travées de 31^m,50 d'ouverture chacune ; chaque travée est fournie d'arcs de cercle en tôle soutenant les poutres du tablier par l'intermédiaire de barres verticales reliées entre elles, dans leur milieu, par une suite d'entre-toises.

Les trois arches ont leurs naissances placées sur même plan horizontal ; la différence de hauteur est rachetée par la différence existant entre les flèches, qui ont respectivement pour hauteur 5^m,40, 4^m,80 et 4^m,20.

On a enfin, au chemin Central suisse, employé, pour certains passages par-dessus, un système de poutres en bois armées de tirants en fer.

Parmi les souterrains, il faut citer celui du Hauenstein, percé dans la formation jurassique. Rencontrant une feuille très-aquifère, il a présenté de grandes difficultés en exécution.

Nous devons enfin signaler la bonne disposition et la gracieuse architecture des bâtimens de stations du chemin de fer Central suisse, dont les plans ont été publiés dans le *Portefeuille de l'ingénieur*.

Une faute grave, à notre avis, qui a été commise dans l'exécution de ce chemin de fer, a été de n'acheter, sur une partie du parcours, les terrains, et de n'exécuter les travaux de terrassement et même les travaux d'art que pour une seule voie.

Chemin du Nord-Est. — Le chemin de fer du Nord-Est suisse devrait être classé parmi les chemins à pente moyenne. Si nous le décrivons à la suite du chemin de fer Central suisse, qui est un chemin à pentes fortes, et avant celui du Sud-Est, où les pentes sont encore plus rapides que sur le chemin Central, c'est afin qu'on puisse se rendre compte d'un seul coup d'œil des conditions d'exécution des chemins du réseau suisse septentrional. Le chemin du Nord-Est peut d'ailleurs, en se plaçant à ce point de vue, être considéré comme une dépendance du chemin Central. Ce chemin se raccorde au chemin Central suisse à Wœschnau, près d'Aarau, passe à Baden, Zurich, d'où il rebrousse pour gagner Winterthur, puis Frauenfeld et Romanshorn, sur le lac de Constance.

Il met en communication, au moyen de ce réseau, qui comprend une étendue de 166 kilomètres, le Rhin, le lac de Constance, le canton d'Argovie et celui de Zurich avec les chemins de fer allemands, les chemins de fer français, le centre de la Suisse et l'Italie.

Entre Zurich et Winterthur, se détache un embranchement qui suit la vallée de la Glatthal pour desservir Greifensee et Uster. De Winterthur, part un autre embranchement qui se dirige sur Schaffhouse; en ce même point, se soude le chemin de fer du Sud-Est.

Enfin un troisième embranchement reliera Brug à Koblenz sur le Rhin.

Ce réseau se compose de la fusion des lignes de Zurich-Baden et Zurich-Bodensée. Les travaux de la première ligne ont été commencés en 1844, sous la direction de M. l'inspecteur général Nègrelli, et terminés en 1847; ce n'est qu'en 1855 qu'on a procédé à l'exécution de la section de Winterthur à Romanshorn, achevée en 1855; les sections de Baden-Brug et Zurich-Winterthur n'ont été terminées qu'en 1855 et 1856. Les travaux de ces dernières sections ont été dirigés par M. Beck, ingénieur en chef.

Le tracé adopté pour l'exécution de ce chemin présente des différences très-marquées quant aux conditions de pentes et de courbes qui ont été appliquées. Ainsi la section de Woeschnau à Baden, et, plus encore, celle de Zurich à Frauenfeld, offrent des alternatives de pentes et de rampes dont l'inclinaison atteint jusqu'à 8 et 12 millièmes.

La section de Frauenfeld à Romanshorn, au contraire, est tracée avec des pentes généralement très-douces, n'atteignant 8,7 millièmes qu'en quelques points et sur de très-faibles longueurs.

Les rayons des courbes se tiennent en grande partie entre 600 et 800 mètres; cependant ils descendent à 500 mètres et même à 350 mètres aux passages des faîtes et des vallées profondes.

Il résulte de ce tracé que pour passer des sections de Woeschnau à Baden et de Zurich à Winterthur sur celle de Frauenfeld à Romanshorn, ou *vice versa*, la composition et la vitesse des trains devront subir d'importantes modifications si l'on veut tirer le meilleur parti possible de la force motrice. C'est une condition défavorable.

On trouve sur le chemin Nord-Est, comme sur le chemin Central, un grand nombre de ponts en fer; mais il n'en est aucun qui soit digne d'une étude particulière, si ce n'est peut-être le pont de la Limmat et le viaduc qui l'accompagne.

Chemin du Sud-Est. — Le chemin du Sud-Est part de Winterthur et passe à Saint-Gall pour aboutir aujourd'hui à Rorschach. Il sera continué, vers la gauche, sur Laidau (Bavière); vers la droite, sur Coire et la vallée du Rhin, qu'il remontera pour traverser les Alpes par le col de Sargans. Une autre ligne partant de Sargans se dirigera, par le Wallen-Sec, sur Rapperschwyl et Zurich.

La construction de ce réseau a commencé en 1855, sous les ordres de M. Etzel, comme directeur général des travaux, et de M. Hartman, comme ingénieur en chef. Notre carte indique les portions livrées à l'exploitation.

Entre Winterthur et Saint-Gall, sauf le passage de petites vallées secondaires qui produisent des contre-pentes, la ligne est toujours en rampe dont l'inclinaison varie entre 0 et 10 pour 100. Ces deux points, éloignés de 58 kilomètres, sont séparés par une différence de niveau de 240 mètres, ce qui donnerait une pente moyenne de 0^m,0184; mais les paliers et les approches des stations on fait porter les pentes à 20 pour 100.

Les tranchées et remblais, qui, sur ce chemin, atteignent 15^m,20 et même 50 mètres d'élévation, ont subi des tassements considérables. Des portions se sont éboulées, et la présence de sources sous le remblai, ou dans le remblai même, ont, sur certains points, occasionné de grands éboulements.

Le tracé des autres portions du chemin de fer du Sud-Est n'est pas encore arrêté. Le passage des Alpes paraît devoir présenter de très-grandes difficultés.

On rencontre, sur le chemin du Sud-Est, plusieurs traversées de vallées très-remarquables par la hardiesse de leur conception. Nous citerons entre autres les ponts de la Goldach, de la Sitter, de la Glatt et de la Thur.

Le pont-viaduc de la Goldach est établi sur une pente de 20 millimètres et une courbe de 560 mètres de rayon. Il se compose de cinq arches en maçonnerie en plein cintre ayant chacune 15^m,50 d'ouverture.

La distance entre les culées est de 78 mètres. La hauteur du rail au-dessus de la vallée est de 26 mètres.

Les trois ponts de la Sitter, de la Glatt et de la Thur, sont formés de poutres en treillis, supportées par des piliers en fonte reposant sur des socles en maçonnerie.

Le plus remarquable de ces ouvrages est celui de la Sitter, qui permet au chemin de fer de traverser la vallée à *soixante-cinq mètres* au-dessus des eaux du ruisseau. Il se compose de quatre travées en fer ayant ensemble 160 mètres d'ouverture; les piles qui

le supportent sont composées de cadres en fonte présentant une hauteur totale de 57 mètres, établis sur un socle en maçonnerie de 13^m,50 de hauteur. Le tablier est supporté par deux poutres de 165^m,80 de longueur et 5^m,60 de hauteur, laissant entre elles un espace libre de 4^m,20 pour le passage de la voie.

Chemin du Jura Industriel. — Ce chemin est destiné à relier Neuchâtel à la France par Morteau et Besançon, en passant par les villes de la Chaux-de-Fonds et du Locle, centres des fabriques d'horlogerie dans le canton de Neuchâtel. Il se trouvera dans les conditions d'exploitation les plus difficiles.

Sa longueur totale de Neuchâtel à la frontière française est de 55 kilomètres ; il présente, sur près de 28 kilomètres, des pentes de 25 à 27 millimètres, et encore, pour ne pas dépasser cette pente, le chemin est-il forcé de se déployer sur un coteau escarpé qu'il ne peut quitter pour descendre à Neuchâtel qu'au moyen d'un rebroussement placé dans la petite gare de Chambrelieu.

Le rayon minimum des courbes est de 500 mètres. On rencontre sur ce chemin deux grands tunnels : l'un de 5,120 mètres en pente de 25 millimètres sur les deux tiers de sa longueur ; l'autre, de 1,320 mètres à peu près horizontal.

Il n'y a sur cette ligne aucun autre ouvrage d'art considérable et aucun terrassement important.

Les travaux sont en pleine exécution et se poursuivent avec activité. Ce chemin se raccordera, plus tard, avec le chemin projeté de Gray à Besançon et Morteau. Le chemin étudié de Morteau à Besançon présente quelques travaux considérables ; les pentes n'y dépassent pas 16 millimètres.

Chemin de Turin à Gênes¹. — Le chemin de fer de Gênes à Turin, livré à la circulation au commencement de l'année 1854, a été commencé en 1846 par le gouvernement sarde, qui a également construit le chemin d'Alexandrie à Novare, première section du chemin de fer d'Alexandrie au lac Majeur.

Le chemin de fer de Gênes à Turin, le premier qui traverse les Apennins, remplace la route royale, construite depuis trente ans

¹ Extrait du *Journal des chemins de fer*.

seulement. Les échos de ces montagnes, que les sons cadencés des clochettes des convois de mulets faisaient résonner, retentissent aujourd'hui du sifflet de la locomotive, et annoncent une nouvelle victoire de l'industrie humaine sur les obstacles de la nature.

Ce chemin de fer a une très-grande importance, non-seulement parce qu'il joint deux villes capitales d'anciens États italiens aujourd'hui réunis, mais encore parce que, en réduisant de moitié les dépenses de transport des marchandises, il abaisse les prix d'importation, favorise l'exportation des riches produits de l'agriculture du Piémont, et développe les entreprises industrielles, en faisant arriver jusqu'au pied des montagnes, riches en cours d'eau, les matières premières, qui s'exporteront transformées en produits manufacturés.

Il exercera ainsi la plus heureuse influence sur la prospérité du Piémont et l'activité du port de Gênes, dont les intérêts sont solidaires depuis que le chemin de fer, obtenant, par ses bas prix, la préférence sur toutes les communications entre la mer et le Piémont, fait de Gênes le principal port du royaume de Sardaigne.

Ces avantages, appréciés depuis longtemps, auraient fait entreprendre ce chemin de fer plus tôt, si la nature n'avait présenté à son exécution de nombreux et sérieux obstacles.

Il fallait, en effet, traverser la chaîne des Apennins, dont le faite, élevé d'environ 500 mètres au-dessus du niveau de la mer, n'en est éloigné que de 20 kilomètres; des rampes rapides et un long tunnel, dans une roche sans consistance, étaient inévitables; les seules vallées praticables sur les deux versants sont tortueuses, bordées de roches schisteuses en décomposition, et occupées par des torrents, dont le lit présente des escarpements qui atteignent souvent 50 mètres de hauteur verticale.

Arrivé dans la plaine, le chemin traverse les torrents de la Bormida, du Tanaro et du Pô, qui, à l'époque de la fonte des neiges tombées sur les montagnes voisines, deviennent, par le volume de leurs eaux, comparables aux fleuves les plus grands et les plus dangereux.

On conçoit que l'on ait tardé à entreprendre une communication présentant de si nombreuses difficultés. Mais, lorsque les chemins

de fer, en se propageant en France et en Italie, eurent démontré les avantages de ce nouveau mode de communication et menacé, en favorisant des points rivaux, de faire perdre à Gênes une partie des avantages de sa position, il n'était plus possible d'hésiter.

Après avoir accordé, pour la construction de ce chemin de fer, une concession demeurée sans résultat sérieux, le gouvernement sarde se décida à faire exécuter lui-même les travaux, qu'il poursuivit, malgré les agitations politiques et les embarras financiers, avec une courageuse persévérance, aussi honorable pour lui que pour la nation, qui, maintenant, recueille le fruit des sacrifices qu'elle s'est imposés.

La gare des voyageurs, point de départ à Gênes, est établie près du palais Doria. Après avoir longé le pied de la montagne qui entoure le port, le chemin de fer traverse un tunnel qui débouche à Saint-Pierre d'Arena, faubourg de Gênes ; il remonte la vallée de Polcevera jusqu'à Pontedecimo, puis s'engage dans la vallée du Ricco, qui le fait arriver au pied de la chaîne des Apennins, qu'il traverse au moyen d'un tunnel, et aboutit sur le versant nord, à Busala, dans la vallée de la Scrivia, qu'il suit jusqu'à Serravalle ; de là il se dirige sur Novi et Alexandrie, en touchant à Frugarola, et traversant le torrent Bormida, ainsi que le champ de bataille de Marengo.

D'Alexandrie, le chemin de fer remonte la vallée du Tanaro jusqu'à Asti, puis les vallées du Bobore, de la Trivera, jusqu'à Villafrauca ; il s'élève, en passant près de Saint-Paul, au niveau de Villanova, qui appartient au bassin hydrographique du Pô ; il passe un peu au nord de Villanova, se dirige sur Cambiana, touche à Truffarello, à Montcalier, et aboutit à Turin, à la porte Neuve, en face le palais du roi.

La distance de Gênes à Turin est de 165 kilomètres.

Dans la vallée des Apennins, le rayon des plus petites courbes n'est pas inférieur à 400 mètres, sauf une seule exception, où il est de 300 mètres ; les rayons dans la plaine sont généralement supérieurs à 1,000 mètres.

Le tableau suivant donne les hauteurs au-dessus de la mer, des

principales inflexions du profil, ainsi que le maximum d'inclinaison adopté :

STATIONS.	HAUTEUR AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.	DIFFÉRENCES DE NIVEAU.	DISTANCES HORIZONTALES EN KILOMÈTRES.	INCLINAISONS EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES	
				Moyenne.	Maxima adoptée.
	m	m	k	m	m
Gênes.	16 ,00	7 ,54	3 ,00	2 ,5	3 ,4
Saint-Pierre d'Arena.	8 ,66				
Pontedecimo.	90 ,00	81 ,54	9 ,85	8 ,5	11 ,0
Busalla.	561 ,25	271 ,25	9 ,60	28 ,2	75 ,0
Alexandrie.	95 ,05	266 ,18	52 ,55	5 ,1	8 ,0
Villafranca.	157 ,12	62 ,12	49 ,50	1 ,5	5 ,0
Villanova.	257 ,66	100 ,54	10 ,20	9 ,8	10 ,0
Montcalier.	225 ,76	51 ,96	22 ,50	1 ,4	4 ,0
Turin.	256 ,56	11 ,80	8 ,00	1 ,5	4 ,0

Il résulte de ces indications que le chemin de fer, pour traverser les Apennins, s'élève de 545^m,25 au-dessus de la station de Gênes, puis descend de 266^m,18 pour atteindre la station d'Alexandrie, et remonte de nouveau de 162^m,61 pour traverser le second seuil de partage entre les bassins hydrographiques du Tanaro et du Pô, puis descend de nouveau de 20^m,10 pour arriver au niveau de la station et de la ville de Turin.

Le tunnel des Apennins a 5,100 mètres de longueur. La pente du chemin dans ce tunnel est de 28,7 millimètres et aux abords de 55 millièmes. Son extrémité septentrionale se trouve à la station même de Busalla.

Entre Gênes et le tunnel des Apennins, le chemin de fer est à peu près constamment soutenu par des murs ou porté par des arcades, soit pour réduire l'occupation de terrains précieux, soit parce qu'il fallait défendre le chemin contre l'action des torrents, dont il occupe en partie le lit; et dans la vallée plus large de la Polcevera les murs de soutènement ont été remplacés par des murs d'endigement destinés à contenir et redresser le cours du torrent.

Sur le versant méridional des Apennins, on a ouvert deux tunnels ayant des longueurs de 686 et 197 mètres, et couvert la voie

en quatre endroits différents sur les longueurs de 66, 106, 56 et 100 mètres. Le chemin de fer traverse le torrent Zecca sur un pont de 60 mètres d'ouverture en cinq arches, et le Ricco sur quatre ponts de 16 à 22 mètres d'ouverture. Les intersections de la route royale et de petits cours d'eau ont nécessité la construction d'un grand nombre de viaducs et aqueducs.

Le tunnel de Giovi, percé dans le massif des Apennins, traverse sur presque tout son parcours une roche décomposée qui exerce une grande pression, et a exigé, sur toute sa longueur de 3,255 mètres, un solide revêtement en maçonnerie qui a absorbé au delà de trente millions de briques.

Sur le versant septentrional et à 3 kilomètres au delà du tunnel de Giovi, commence, dans la vallée de la Scrivia, une série de tunnels, de ponts, viaducs et murs de soutènement, qui transforment la construction du chemin de fer en un ouvrage d'art continu d'une étendue d'environ 12 kilomètres.

Les tunnels, au nombre de quatre, ont les longueurs de 860, 470 et 695 mètres. Des huit ponts jetés sur la Scrivia, quatre sont composés d'une arche de 40 mètres d'ouverture avec 10 de flèche et 25 mètres de hauteur; deux ont 60 mètres d'ouverture en trois arches de 14 à 25 mètres de hauteur; deux ont 60 mètres en cinq arches de 12 mètres d'ouverture et de 9 à 13 mètres de hauteur. On rencontre un viaduc de 520 mètres de longueur et d'une élévation de 27 à 50 mètres.

Sorti des gorges de la vallée, le chemin de fer franchit, sur des remblais élevés de 24 et 20 mètres, un affluent et une partie du lit de la Scrivia; puis il traverse le village de Serravalle au milieu d'une large rue obtenue en démolissant un grand nombre de maisons, dont le prix d'acquisition était cependant inférieur à la dépense d'un mur de soutènement, qui, fondé dans le lit du torrent, aurait atteint une hauteur considérable. Au delà de Serravalle, le chemin de fer est établi sur une chaussée élevée, à laquelle succède une longue tranchée, passe près de Novi, où il atteint la plaine, traverse la Bormida sur un pont de neuf arches, long de 155 mètres, et touche Alexandrie, où il traverse le Tanaro sur un pont de quinze arches, long de 150 mètres.

Dans la vallée du Tanaro, que le chemin de fer remonte, le torrent décrit une série de sinuosités qui donne à son cours l'aspect d'un immense serpent dont les replis atteignent en deux endroits, à Felizzano et à Annone, le pied des collines qui dominent la vallée, et, barrant le passage au chemin de fer, obligeaient ou à construire quatre ponts, ou à ouvrir deux nouveaux lits sur les longueurs de 750 et 850 mètres; l'on s'est arrêté à ce dernier parti, plus économique, malgré une dépense considérable en terrassements et ouvrages de défense contre les érosions.

Après avoir quitté la vallée du Tanaro, le chemin de fer remonte des vallées secondaires, creusées dans un terrain composé à peu près exclusivement d'argile de la variété désignée sous le nom vulgaire de glaise, qui formait presque les seuls déblais que l'on extrayait des tranchées, et dont on pouvait disposer pour exécuter des remblais considérables, que l'on n'a réussi à faire tenir qu'en élargissant considérablement leur base, qui va jusqu'à quatre ou cinq fois la hauteur des remblais.

Outre les viaducs pour conserver les communications et les aqueducs, les ouvrages d'art que le chemin de fer a exigés entre ce point de partage et Turin comprennent le pont sur le Pô, à Montcalier, d'une longueur de 112 mètres en sept arches, et un pont de 30 mètres en trois arches sur le torrent Saagone.

Le chemin de fer de Gènes à Turin peut être comparé aux chemins de Manchester à Leeds et de Liège à Aix-la-Chapelle, pour le nombre, mais non pour l'importance des difficultés rencontrées, qui sont beaucoup plus grandes sur la ligne de Gènes à Turin.

Le prix par kilomètre est d'environ 630,000 francs.

Pour s'élever du niveau de la mer au sommet des Apennins sur la courte distance de 20 kilomètres, le profil du chemin de fer a dû admettre la plus forte inclinaison, 35 millimètres, que l'on ait encore adoptée sur les lignes de grande communication, et qui dépasse notablement la rampe de 25 millimètres du passage du Scœmering. Aussi étudie-t-on en ce moment la question de savoir s'il n'y aurait pas lieu de remplacer les locomotives par des machines fixes hydrauliques.

Jusqu'à présent les convois ont été remorqués sur les rampes de

35 millimètres par des locomotives à quatre roues du poids d'environ 22 tonnes et disposées pour être réunies par la plate-forme du mécanicien, qui peut ainsi manœuvrer les deux locomotives nécessaires pour remorquer un convoi ordinaire.

Le mouvement à la remonte étant considérable, les frais de traction sont très-élevés⁴.

Nous ne devons pas terminer cet article sur le chemin de Turin à Gênes sans faire mention de l'habile ingénieur qui l'a construit, M. Mauss, attaché précédemment au service des ponts et chaussées en Belgique, son pays, et auteur des plans inclinés de Liège.

⁴ Voir, page 127 et suivantes, les renseignements donnés sur les frais de traction.