

## CHAPITRE VI

## DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DES TRAVAUX D'ART

Nous avons vu que les chemins de fer à grande vitesse, dans l'état du moins où se trouve la science aujourd'hui, doivent remplir deux conditions importantes : la première, de se développer, autant que possible, en ligne droite ou en suivant des courbes de très-grand rayon ; la seconde, de ne présenter que des pentes faibles.

Nous avons dit qu'on ne peut y satisfaire dans les pays accidentés qu'en exécutant de grands travaux de terrassement et de grands travaux d'art.

Les premiers, différant, si ce n'est par leur nature, du moins par leur importance, de ceux auxquels donne lieu la construction des routes ordinaires, nécessitent des moyens beaucoup plus puissants, surtout en ce qui concerne le transport des terres à de grandes distances. Aussi le chemin de fer est-il devenu pour ce genre d'opération son propre auxiliaire, et a-t-on transporté les terres sur des chemins de fer provisoires avec des machines locomotives, comme on transporte sur le chemin définitif les voyageurs et les marchandises.

De là, un art nouveau et sur lequel on pourrait publier un volume entier. Il n'entre pas dans notre plan de le décrire<sup>1</sup>. Nous nous bornerons donc à une courte analyse des procédés et à de brèves réflexions sur les applications qui en ont été faites.

En Angleterre, il s'est formé, dès l'origine des chemins de fer, une classe d'entrepreneurs riches et habiles qui se sont adonnés

<sup>1</sup> Voir pour de plus amples renseignements le nouveau *Portefeuille de l'Ingénieur*, l'intéressant *Mémoire* publié en 1839, par M. Carl. Etzel, sur l'organisation des grands chantiers de terrassement, et enfin l'ouvrage allemand intitulé : *Seibenzehn Tafeln zur praktischen Anleitung zum Erdbau*, von L. Henz.

spécialement aux grands travaux de terrassement, concentrant toute leur attention sur l'amélioration des procédés et sur la formation de leur personnel, créant pour l'exécution un matériel spécial dont l'emploi leur était garanti pour un assez long avenir. Ces hommes, puissants par leurs ressources pécuniaires tout autant que par leur intelligence, ont apporté de grands perfectionnements dans la branche d'industrie dont ils s'occupaient.

Les ingénieurs qui ont construit les premiers chemins de fer aux environs de Paris ont manqué de ces auxiliaires pour les seconder. Ils ont été obligés de diriger en personne, presque sans intermédiaires, les premiers travaux de terrassement, pour lesquels il a fallu renoncer aux anciens procédés. Tout en se formant eux-mêmes à ce nouveau genre d'opérations, ils ont dû y former également leurs entrepreneurs, conducteurs, piqueurs et ouvriers. Les Compagnies ont dû fournir le matériel, et généralement, pour éviter une dépense trop onéreuse, elles ont été dans la nécessité de se servir de leurs rails définitifs pour les terrassements.

La construction du chemin de Rouen par une Compagnie anglaise a ouvert une ère nouvelle, et les ingénieurs des nouveaux chemins de fer se sont trouvés placés, à cet égard, dans de meilleures conditions que leurs devanciers.

D'habiles et riches entrepreneurs belges, MM. Parent, Schaken et C<sup>ie</sup>, ont exécuté la plupart des travaux du chemin de fer de Strasbourg, des lots très-importants sur les chemins du Nord et de Lyon, le chemin de Lyon à Avignon et le chemin de Mulhouse tout entiers.

Cette organisation du travail, à laquelle on est conduit par l'expérience des Anglais en ce qui concerne les travaux de chemins de fer, nous paraît être une des premières conditions de succès des grandes entreprises.

Les terres provenant des tranchées sont portées sur l'axe du chemin pour composer les remblais, ou déposées à une distance plus ou moins grande des bords. Dans le premier cas, on travaille *par voie de compensation* ; dans le second, *par voie de dépôt*. On élève aussi des remblais avec des terres *empruntées* dans le voisinage : c'est ce qui s'appelle travailler *par voie d'emprunt*.

*Le mode d'exécution par voie de dépôt et d'emprunt est toujours plus coûteux que celui par compensation, quand les distances auxquelles les terres doivent être transportées sur l'axe de la route ne sont pas considérables et que les terrains où l'on doit déposer les terres ou les emprunter ont quelque valeur ; mais il peut l'emporter sur le second, même au point de vue de la dépense, quand ces distances deviennent très-grandes, et, dans tous les cas, il est fort expéditif. Aussi l'a-t-on appliqué au percement des tranchées et à la confection des remblais d'un grand nombre de chemins de fer, bien que, pour la construction des routes et des canaux, il n'en ait été fait usage que rarement.*

La méthode des dépôts et des emprunts a d'ailleurs, pour l'exécution des chemins de fer, d'autres avantages que nous avons déjà signalés au chapitre du tracé.

La substitution, pour les terrassements, des waggons roulant sur un chemin de fer, aux tombereaux roulant sur le sol, oblige à modifier la disposition des ateliers de chargement et de déchargement. C'est dans les changements que nécessite cette disposition que se présentent les principales difficultés du travail au waggon.

Les tombereaux marchant isolément et sur le sol naturel peuvent se charger en un point quelconque de la tranchée et se diriger, par une infinité de routes différentes, vers les points de déchargement. Ils peuvent également se vider en un point quelconque du remblai. Les waggons, au contraire, qui marchent toujours par convois et sur des voies en fer, sont nécessairement chargés et déchargés à l'une des extrémités de ces voies ou sur le côté, l'atelier de chargement ou l'emplacement du remblai à exécuter ne devant pas être éloigné de la voie, et ils ne suivent que la route que leur tracent les rails.

Le tombereau, chargé dans la tranchée, est immédiatement remplacé par un tombereau vide, presque sans perte de temps ; la manœuvre, au contraire, pour remplacer un convoi chargé ou même un waggon isolé, exige toujours plusieurs minutes.

Ces seules observations suffisent pour montrer combien l'organisation des grands chantiers de terrassement au waggon doit différer de celle des chantiers de terrassement au tombereau ; nous allons

jeter un coup d'œil rapide sur l'organisation adoptée ordinairement.

**Creusement des tranchées.** — Les tranchées ouvertes au tombeau sont attaquées en un grand nombre de points simultanément, au moyen d'excavations qui en occupent toute la largeur et d'où les tombeaux extraient les terres par des rampes douces. Lorsqu'on veut employer les waggons, on commence presque toujours par faire, suivant l'axe ou le long des talus de la tranchée projetée, une petite tranchée auxiliaire nommée *goulet* (*gullet*) ou *cunette*, assez large pour donner passage à un waggon, et dont la profondeur varie avec les ondulations du sol. Il peut se présenter deux cas : ou la hauteur maxima de la tranchée définitive est peu considérable, 5 ou 6 mètres, par exemple ; ou bien elle est beaucoup plus grande. Dans le premier cas, on donne à la cunette toute la profondeur de cette tranchée, en sorte que le fond de la cunette est aussi celui de la tranchée, comme nous l'avons indiqué fig. 11 B. Les parois, dans

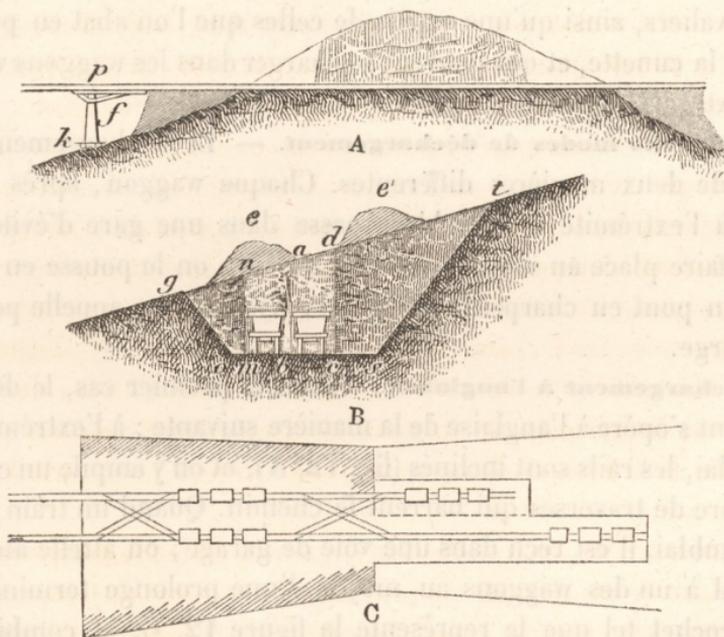


Fig. 11.

les terrains qui ne sont pas coulants, peuvent être verticales ou à peu près. Le fond doit avoir une pente descendante d'environ 3 millimètres vers son extrémité ouverte, pente qu'il faut toujours se

donner, lors même que ce ne serait pas exactement celle de la tranchée définitive.

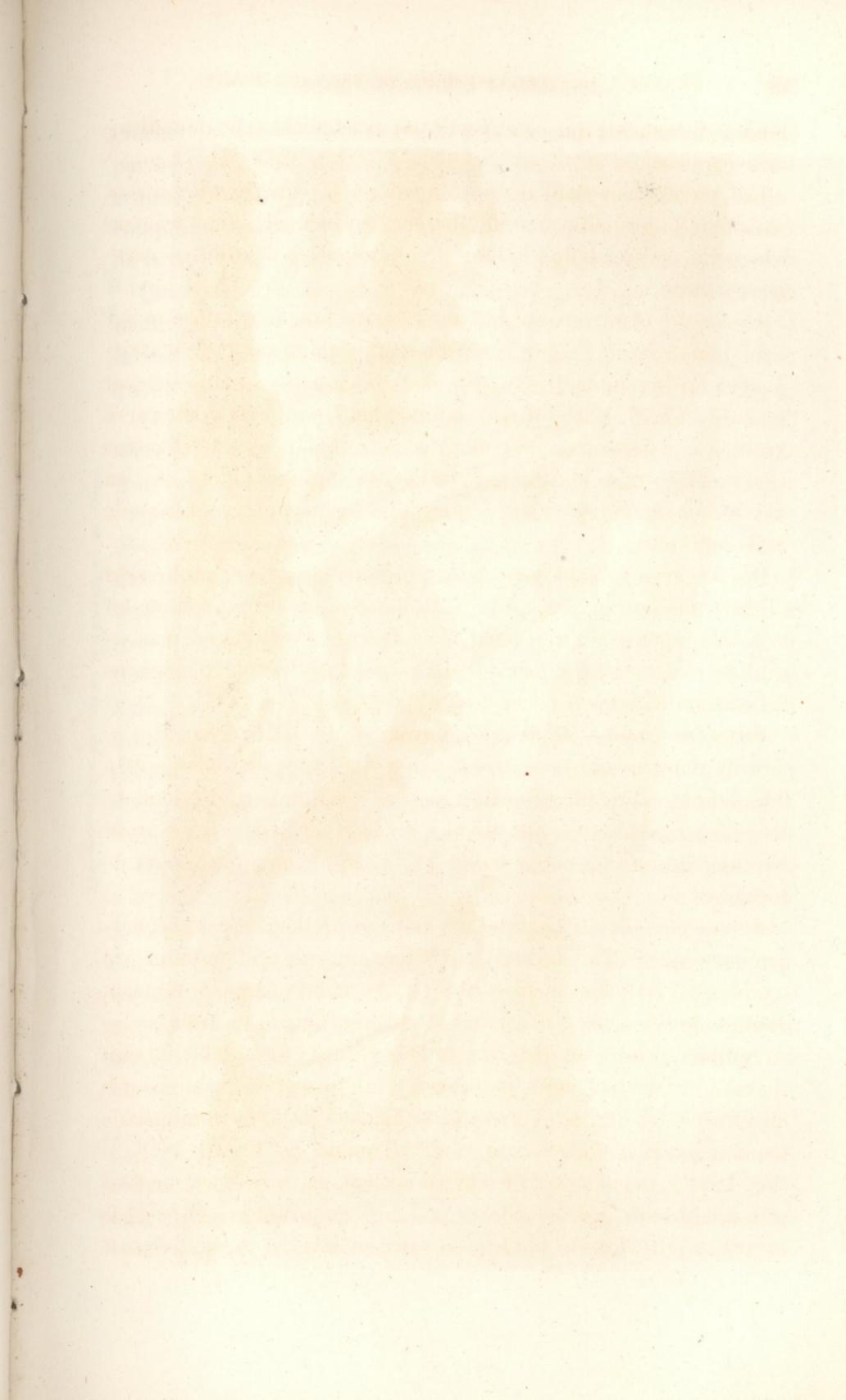
Les terres provenant du percement de la cunette *a b c d* sont extraites à la brouette ou au tombereau, ou bien elles sont relevées à la pelle, sur les bords le long desquels on les dépose, en *cavaliers*, *e* et *e'*.

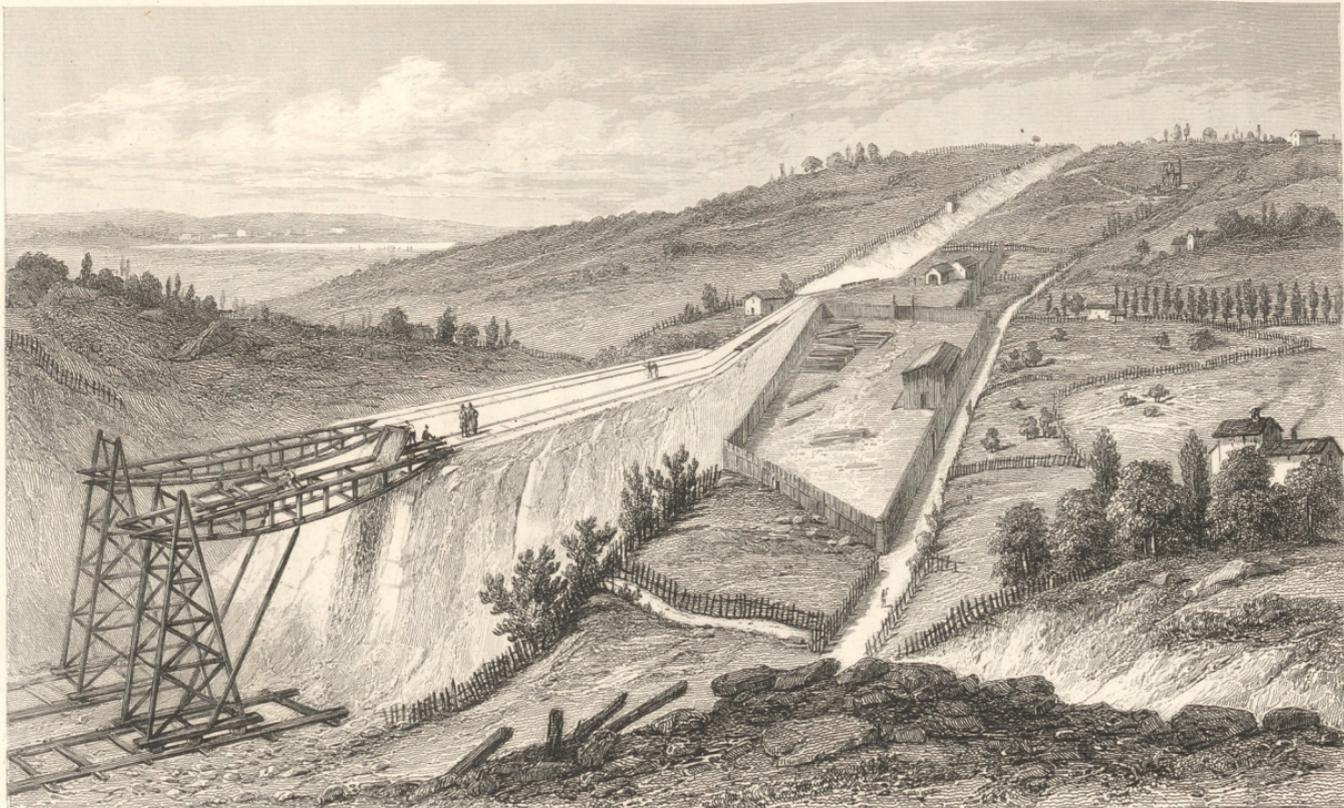
La cunette étant ouverte sur une certaine longueur, on pose sur le fond une voie en fer que l'on prolonge jusqu'au point de déchargement sur le remblai. Cette voie, dans la cunette, a naturellement la pente du fond, c'est-à-dire 3 millimètres. Quant à la pente sur le remblai, elle dépend de la hauteur de ce remblai. Si cette hauteur n'est pas très-grande, comme nous l'avons supposé (fig. 11, A), on pose la voie sur la crête même du remblai en lui conservant la pente de 3 millimètres.

Des waggons roulant sur ce chemin de fer provisoire emmènent à l'extrémité du remblai, pour le prolonger, les terres composant les cavaliers, ainsi qu'une partie de celles que l'on abat en prolongeant la cunette, et qui peuvent se charger dans les waggons voisins de l'extrémité fermée.

**Différents modes de déchargement.** — Le déchargement s'opère de deux manières différentes. Chaque waggon, après s'être vidé à l'extrémité du remblai, passe dans une gare d'évitement pour faire place au waggon suivant, ou bien on le pousse en avant sur un pont en charpente *p* (fig. 11, A), que l'on appelle pont de décharge.

**Déchargement à l'anglaise.** — Dans le premier cas, le déchargement s'opère à l'anglaise de la manière suivante : à l'extrémité du remblai, les rails sont inclinés (fig. 12, A), et on y empile un certain nombre de traverses qui barrent le chemin. Quand un train arrive au remblai, il est reçu dans une voie de garage ; on attelle alors un cheval à un des waggons au moyen d'une prolonge terminée par un crochet tel que le représente la figure 12, C, et combiné de manière qu'il se détache du waggon quand on tire la corde *a* (fig. 12, C). On fait partir le cheval au trot, et, arrivé près de l'extrémité du talus, on détache la prolonge en tirant la corde *a* ; le cheval se jette de côté hors de la voie, on lève en même temps le





GRAVÉ PAR EWINGMEYER.

*Terrassement de la tranchée de Clamart  
Chemin de fer de Paris à Versailles (Riv. Gauche)*

crochet qui fixe la caisse au train, et le waggon, brusquement arrêté par les traverses empilées, se porte en avant en vertu de la vitesse acquise ; la caisse bascule et prend une inclinaison égale à celle que comporte la construction du véhicule, augmentée de l'inclinaison de la voie ; les terres glissent et le déchargement se fait tout seul.

Quelquefois, afin d'augmenter l'inclinaison de la caisse au versement, on dispose à l'extrémité de la voie un gradin, comme l'indique la seconde figure 12, B.

Le déchargement se fait ainsi successivement pour chaque waggon.

En supposant en moyenne une distance de 150 mètres entre le garage et le déchargement, et admettant qu'un cheval au trot parcourt une distance de 5,000 mètres par heure, le temps employé à l'aller et au retour sera de quatre minutes environ, et le déchargement

proprement dit, consistant à relever le waggon et à redresser la caisse, étant d'environ une minute, le déchargement, y compris le transport d'un waggon, se fera en cinq minutes.

On est arrivé à décharger par cette méthode et avec une seule voie cent cinquante waggons par jour, mais c'est une exception. Avec un bon matériel et de l'ordre dans le chantier, on peut faire cent vingt waggons. En général, on ne doit compter que sur cent waggons par jour<sup>1</sup>.

Quand les voies de déchargement sont multipliées, elles se gênent un peu réciproquement. Avec deux voies, on peut compter sur

<sup>1</sup> Les baleines employées sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive gauche) ont coûté 4,500 fr. pièce. D'autres baleines à deux voies, dont on s'est servi sur le chemin d'Orléans à Vierzon, ont été payées 5,000 fr. Les petites baleines du chemin de Lille à la frontière belge étaient fort économiques. Elles ne sont pas revenues à plus de 300 fr., mais elles n'avaient que 6 mètres de hauteur. Ce n'est pas seulement l'installation de la baleine qui est coûteuse, c'est aussi l'entretien et surtout la manœuvre.

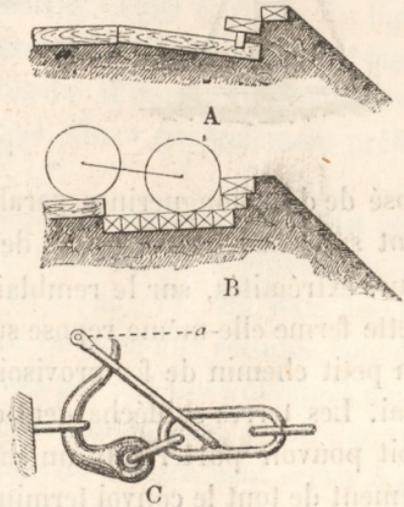


Fig. 12.

cent quatre-vingts waggons; avec trois voies, sur deux cent quarante waggons par jour.

**Pont de décharge.** — Le pont de décharge (fig. 15) est com-

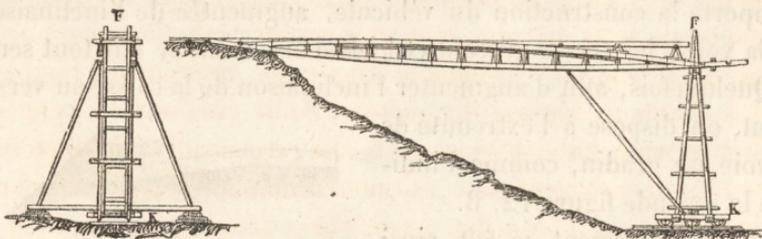


Fig. 15.

posé de deux longuerines parallèles garnies de bandes de fer, qui font suite aux files de rails de la voie, et reposent, par une de leurs extrémités, sur le remblai, et, par l'autre, sur une ferme F. Cette ferme elle-même repose sur un chariot K, pouvant rouler sur un petit chemin de fer provisoire posé sur le sol au bas du remblai. Les terres se déchargent entre les deux longuerines. Le pont doit pouvoir porter tout un convoi de waggons vides. Le déchargement de tout le convoi terminé, on ramène les waggons tous ensemble au point de chargement.

A mesure que le remblai se prolonge, on pousse le pont de décharge en avant en faisant rouler le chariot K, et on prolonge le petit chemin de fer qui porte ce chariot en détruisant la partie postérieure qui est recouverte de terre. On déplace également, de temps en temps, les changements de voie, afin de faciliter les manœuvres.

Avec les ponts de décharge, nous avons déchargé, à la tranchée de Clamart, trois cents waggons en dix heures sur une voie, ce qui est le triple de la quantité déchargée moyennement en pareille circonstance par la méthode anglaise. Au chemin de Saint-Germain, on est également parvenu à décharger trois cents waggons en dix heures sur chaque pont. Sur les petites baleines employées au chemin de Lille à la frontière belge, on déchargeait vingt waggons par heure, soit deux cents waggons en dix heures sur une seule voie. *Le déchargement au moyen des ponts s'opère donc beaucoup plus rapidement que par la méthode anglaise, et il semble qu'il peut*

être employé avec avantage quand les terrassements doivent être exécutés dans un très-bref délai. Toutefois la grande dépense qu'il exige l'ont fait presque généralement abandonner. On ne peut pas d'ailleurs faire usage de ces ponts de décharge pour des remblais de moins de trois mètres, surtout sur un terrain fortement accidenté, où il faudrait les déplacer sans cesse, ni pour des remblais dont la hauteur dépasse dix mètres. Nulle part sur la ligne de Mulhouse, où le cube des terrassements est considérable, bien que les entrepreneurs aient eu à exécuter d'immenses tranchées dans un bref délai, on n'en a fait usage. On a généralement préféré le déchargement à l'anglaise.

**Suite du creusement.** — Une partie des cavaliers étant enlevée et portée en remblai, on attaque à droite ou à gauche de la cunette une nouvelle tranche  $abmn$  (fig. 11, B), dont les terres sont versées dans les waggons, et on pose une seconde voie provisoire. Ces deux voies étant réunies par des voies obliques dans les deux directions, fig. 11 C, le déchargement peut se faire en même temps aux deux extrémités, et l'une ou l'autre peut servir à garer les waggons vides. Deux convois sont placés en même temps devant les fronts de chargement. On les envoie successivement à la décharge, et les ouvriers chargeurs, afin de ne pas rester désœuvrés au moment du départ de l'un des convois, passent sur des planches d'un côté à l'autre du goulet pour charger l'autre convoi.

Quand la tranche  $abmn$  est enlevée sur une certaine longueur, on abat les massifs trapézoïdaux  $gomn$  et  $dcst$  de manière à compléter le percement de la tranchée sur toute sa largeur, et les terres provenant de ces massifs sont chargées dans les waggons circulant sur les deux voies provisoires posées dès l'origine, au moyen de brouettes, ou dans des waggons roulant sur de nouvelles voies auxiliaires posées latéralement. On trouve ordinairement plus économique d'employer les brouettes.

Un certain nombre de waggons versent leur contenu *par bout* et servent à former le *noyau* du remblai ; les autres versent *de côté* et sont employés à élargir ce noyau.

La reprise des cavaliers étant toujours une opération coûteuse, et le dépôt des terres en dehors de la crête des talus donnant lieu

aussi, dans certains cas, à des dépenses considérables, on n'a recours au retroussement des terres, pour la totalité ou pour une partie de la cunette, que si l'on est très-pressé. Dans le cas contraire, on perce la cunette en l'attaquant seulement à l'extrémité. On établit alors des gradins à cette extrémité, et les terres sont chargées directement dans les waggons ou dans des waggonnets, soit *par bout*, soit sur le côté. Quelquefois aussi on retrouse une partie seulement des terres de la cunette, et on charge l'autre partie directement dans les waggons ou dans les waggonnets.

Les parois des cunettes dans le roc vif et dans certains terrains résistants se maintiennent pendant plusieurs mois sous un angle droit ou au moins sous un angle qui se rapproche beaucoup de l'angle droit. Dans d'autres terrains, elles tendent à prendre une inclinaison plus prononcée, mais cette inclinaison, sous laquelle les terres ne doivent se soutenir que pendant un espace de temps assez limité, est toujours inférieure à celle que l'on donne aux talus de la tranchée et qu'ils doivent conserver indéfiniment.

Dans les tranchées glaiseuses, il ne faut pas attendre que la cunette ait été ouverte sur une grande longueur pour abattre les massifs latéraux et découvrir les talus définitifs, qui doivent toujours, dans ce cas, être asséchés. L'*assainissement* des talus doit suivre de près le percement de la cunette.

Quelquefois même au chemin de Mulhouse, en pareille circonstance (tranchées de la Chaume, du Chiffard et de Montesson), M. l'ingénieur Masson a supprimé la cunette, et procédé par voie de *décapage*, c'est-à-dire en découpant le déblai par tranches variables à partir du sol naturel, de façon à atteindre successivement les divers bancs argileux et dressant le talus suivant l'approfondissement du déblai. Les assainissements se font ainsi graduellement, et l'on arrive à fond de tranchée avec des drainages complets et des talus à peu près définitifs<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> L'opération du décapage n'exclut pas les cunettes d'une manière absolue. Il est même essentiel qu'il y ait deux étages pour le chargement des waggons au moyen des brouettes, mais le niveau des voies de l'étage inférieur doit rester subordonné à la position des bancs à assainir comme à la profondeur de la première tranche attaquée. La plate-forme de celle-ci doit rester un peu au-dessus des bancs argileux, et être assainie provisoirement par quelques rigoles couvertes, afin qu'aucun glissement ne s'opère dans la cunette des waggons. (Note de M. Masson.)

Si la tranchée est très-profonde et que le remblai ait une grande hauteur, on ne donne à la cunette  $abde$  (fig. 14, A) qu'une partie de la hauteur de la tranchée. On descend les terres de la hauteur du goulet jusqu'à la crête du remblai sur une voie inclinée reposant sur un massif le long de l'un des talus  $vv'$  (fig. 14, B). (Comme le remblai a souvent une grande hauteur, on le monte en

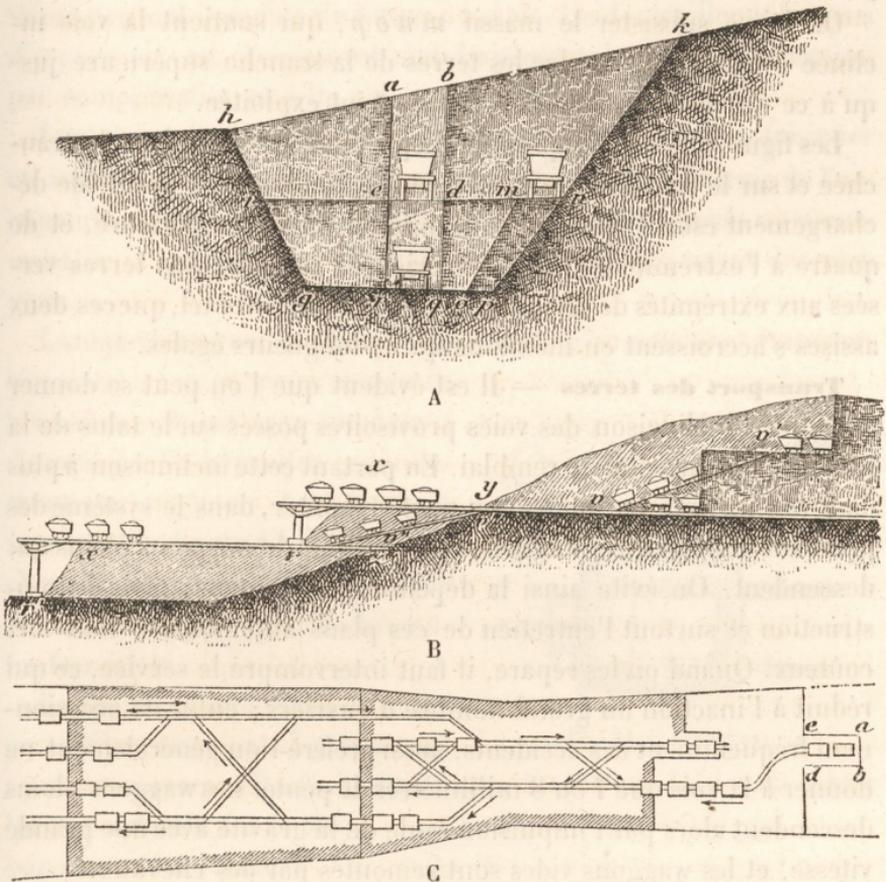


Fig. 14.

deux assises. Une partie des terres servant à composer l'assise supérieure  $xyrz$  est portée à l'extrémité de cette assise sur une voie établie à la crête, et une autre partie servant à composer l'assise inférieure  $x'r'z$  par une voie inclinée  $v''$  descendant le long du talus de l'assise supérieure.

La cunette  $abde$  (fig. A) étant parvenue à une certaine distance

de son extrémité ouverte, et une partie des massifs latéraux étant enlevée de manière que la tranche inférieure de la tranchée *n i g p*... soit découverte dans toute sa largeur sur une certaine longueur, on ouvre dans la tranche inférieure une seconde cunette en arrière de la première jusqu'au fond de la tranchée. Cette seconde cunette sert à exploiter la tranche inférieure *n i g p*, comme la cunette supérieure à exploiter la tranche supérieure *h i n k*.

On laisse subsister le massif *m n o p*, qui soutient la voie inclinée servant à descendre les terres de la tranche supérieure jusqu'à ce que cette tranche soit entièrement exploitée.

Les figures B et C indiquent la disposition des voies dans la tranchée et sur le remblai. On y voit que le nombre des points de déchargement est de deux à l'extrémité de l'assise supérieure, et de quatre à l'extrémité de l'assise inférieure. Le cube des terres versées aux extrémités de chacune des assises doit être tel, que ces deux assises s'accroissent en même temps de longueurs égales.

**Transport des terres.** — Il est évident que l'on peut se donner à volonté l'inclinaison des voies provisoires posées sur le talus de la tranchée ou sur celui du remblai. En portant cette inclinaison à plus de 2 centimètres par mètre, on peut remonter, dans le système des plans automoteurs, les waggons vidés à l'aide des waggons pleins qui descendent. On évite ainsi la dépense d'un moteur; mais la construction et surtout l'entretien de ces plans automoteurs sont fort coûteux. Quand on les répare, il faut interrompre le service, ce qui réduit à l'inaction un grand nombre d'ouvriers; enfin ils occasionnent fréquemment des accidents; aussi préfère-t-on généralement ne donner à la voie que 7 ou 8 millimètres de pente. Les waggons pleins descendent alors par l'impulsion seule de la gravité avec une grande vitesse, et les waggons vides sont remontés par des chevaux.

Sur le chemin de Strasbourg, on a percé un grand nombre de tranchées à l'aide des waggons, et le service s'est toujours fait avec des chevaux, même sur des pentes dépassant 2 centimètres.

Dans la tranchée de Chamarande, près Chaumont, sur le chemin de Blesmes à Gray, la fouille ayant lieu dans un roc très-dur entièrement abattu à la poudre, on a recouru, pour l'extraction à une certaine profondeur de déblais que l'on se proposait de retrousser, à

l'emploi de plans inclinés sur lesquels le transport s'opérait au moyen de machines fixes.

Les machines fixes ont été également employées en Angleterre au chemin de Bristol, pour monter les terres sur la crête d'un remblai.

La principale difficulté à vaincre dans les travaux de terrassement au waggon consiste à établir l'harmonie entre la fouille des terres, leur chargement et leur déchargement, de telle manière que les ouvriers perdent le moins de temps possible. Un des meilleurs moyens d'y parvenir est d'employer simultanément le mode d'exécution par compensation et celui par voie de dépôt et d'emprunt.

Les travaux par voie de dépôt et d'emprunt, dont on peut diminuer ou augmenter l'activité sans inconvénient, servent à fournir de l'occupation aux ouvriers lorsqu'ils ne peuvent être employés au percement de la tranchée, au chargement ou au déchargement des waggons.

Lorsque les terres des massifs latéraux à la cunette sont transportées dans les waggons au moyen de brouettes, il est très-important d'employer les brouettes généralement en usage en Angleterre et représentées figure 15. Elles se déchargent beaucoup plus facilement dans les waggons que les brouettes françaises.

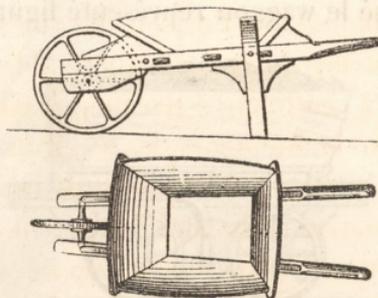


Fig. 15. — Brouettes.

La figure 16 représente un waggon de terrassement. La caisse se renverse comme celle d'un tombereau, tantôt sur le devant entre les roues, tantôt sur le côté par-dessus les roues.

Les principales conditions à remplir dans la construction des waggons de terrassement peuvent se résumer de la manière suivante :

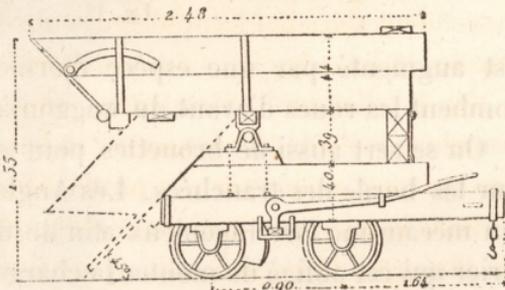


Fig. 16. — Waggon de terrassement.

1° Éviter que le bord supérieur de la caisse se trouve à plus de

1<sup>m</sup>,60 au-dessus des rails, afin que les ouvriers puissent le charger à la pelle sans trop d'efforts ;

2<sup>o</sup> Faire en sorte que les caisses versent sous un angle assez grand pour que les terres glaises humides puissent couler facilement sur le fond lorsque la caisse est renversée ;

3<sup>o</sup> Répartir autant que possible le poids également sur les quatre roues ;

4<sup>o</sup> Répartir le poids de la caisse chargée à droite et à gauche de l'axe de bascule, de manière qu'il soit un peu moins considérable du côté de la porte que de l'autre ;

5<sup>o</sup> Conserver aux roues un diamètre assez grand pour qu'elles puissent passer facilement par-dessus les pierrailles et les autres obstacles qui souvent obstruent la voie, et qu'il ne soit pas trop difficile de les mettre en mouvement ;

6<sup>o</sup> Faire en sorte que la terre soit lancée, au moment du renversement de la caisse, à une certaine distance du waggon.

C'est afin de remplir cet ensemble de conditions que l'on a imaginé le waggon représenté figure 17, dans lequel l'angle de chute

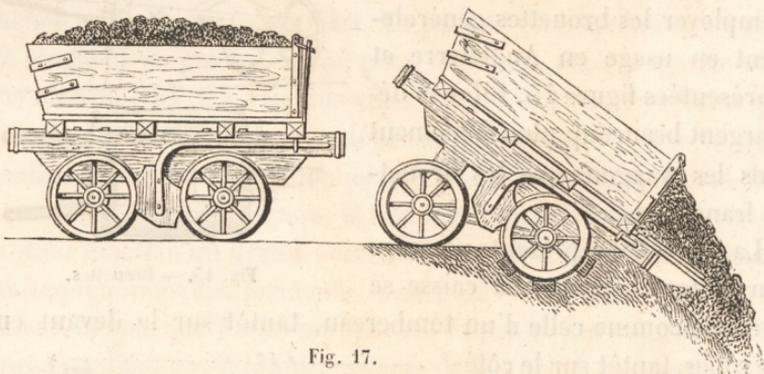


Fig. 17.

est augmenté par une espèce d'ornière artificielle dans laquelle tombent les roues d'avant du waggon à décharger.

On se sert aussi de brouettes pour charrier les terres déposées sur les bords des tranchées. Les Anglais emploient en pareil cas un mécanisme fort ingénieux afin de diminuer la fatigue de l'ouvrier qui est obligé de monter la charge sur la rampe souvent très-inclinée des talus.

Ce mécanisme est représenté figure 18.

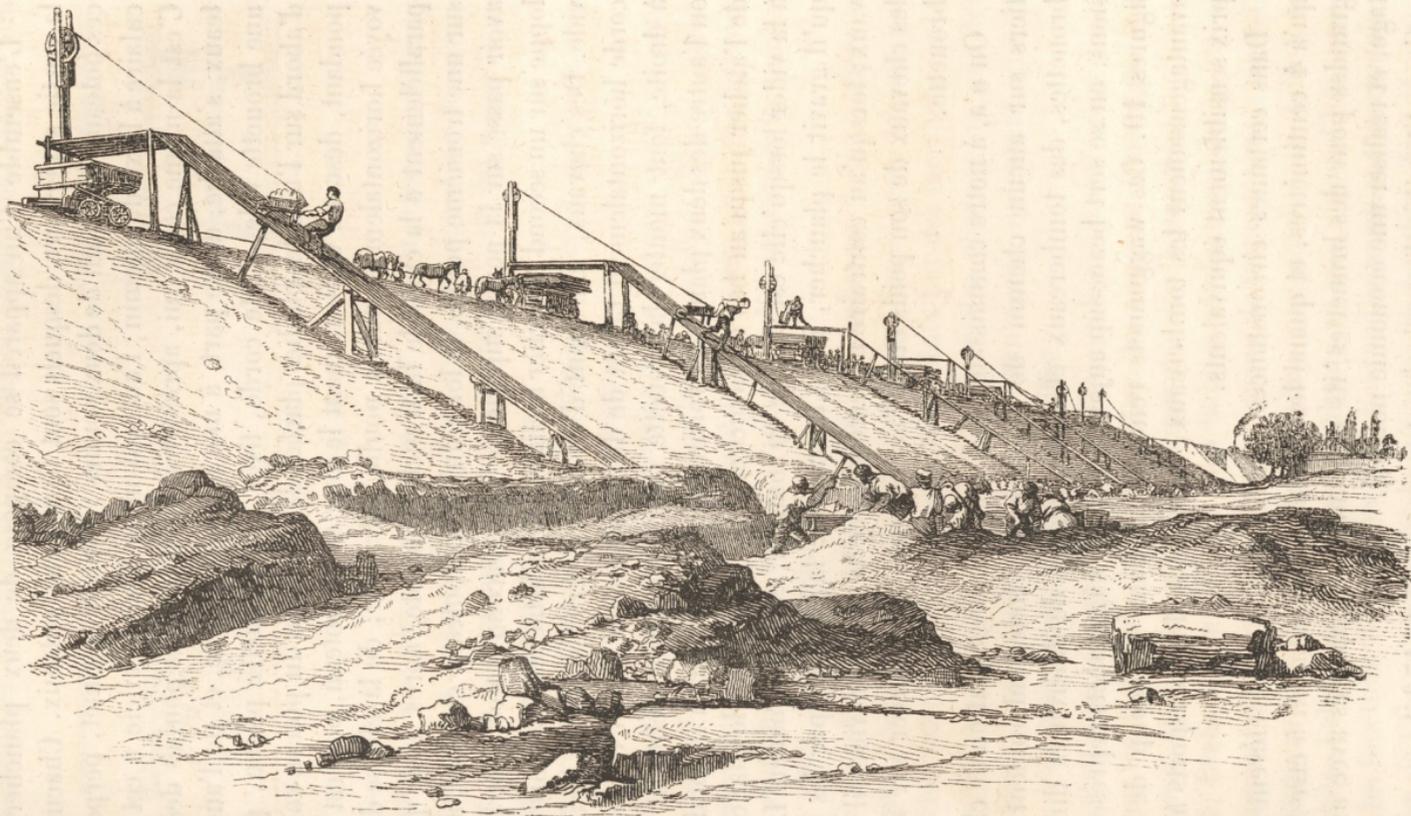


Fig. 18. — Chantiers de terrassements anglais.

L'ensemble d'un appareil se compose de deux planchers, à la partie supérieure desquels sont fixés deux poteaux. Chacun de ces poteaux est muni de deux poulies : l'une au sommet, perpendiculaire à l'axe du chemin ; l'autre dans le bas, parallèle à cet axe. C'est la même corde qui, après avoir passé par les poulies des poteaux, s'attache, d'une part, à une brouette pleine, et de l'autre à une brouette vide. Cette corde, fixée à la brouette pleine, passe d'abord sur l'une des poulies placées dans le haut du poteau correspondant, descend verticalement le long de ce poteau, puis est renvoyée horizontalement par la poulie inférieure ; de là elle se dirige parallèlement à la crête de la tranchée, monte, après avoir passé sur une troisième poulie, le long du second poteau, et enfin, après avoir passé sur la poulie supérieure de ce second poteau, se développe sur un second plancher incliné, et va s'attacher à une brouette vide. Des chevaux, marchant d'un poteau vers l'autre en tirant la corde horizontalement tantôt de droite à gauche, tantôt de gauche à droite, font monter la brouette pleine successivement sur l'un ou l'autre des deux planchers voisins. Un homme sert à la conduire de l'atelier jusqu'au bas du plancher, à la guider sur le plancher, à la vider lorsqu'elle est arrivée au sommet, et à la ramener. Lorsqu'il gravit le plancher, il est trainé avec la brouette par les chevaux ; lorsqu'au contraire il descend avec la brouette vide, il aide les chevaux de son poids et de l'action qu'il peut exercer sur cette brouette.

On n'a, à notre connaissance, adopté cette organisation de chantiers sur aucun chemin de fer français. Indépendamment des brouettes, des tombereaux et des waggons de différentes dimensions, on se sert beaucoup aujourd'hui des waggonnets représentés figures 19. Ces waggonnets remplacent, dans beaucoup de cas, avantagement les tombereaux, et opèrent des transports à des prix sensiblement équivalents.

Dans certaines circonstances, sur des pentes qui s'élèvent jusqu'à 4 centimètres, et quand les distances commencent à être trop grandes pour des brouettes, ils peuvent être employés avec avantage, et réaliser une économie notable.

Ces petits véhicules, qui pèsent moyennement 115 kilogrammes,

sont composés d'une caisse, d'un châssis auquel est adaptée une

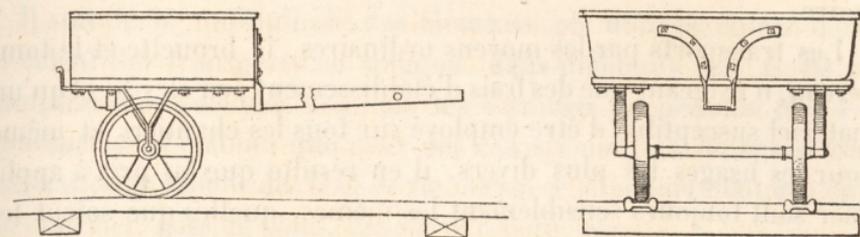


Fig. 19.

flèche et d'une paire de roues en fonte. La contenance de ces waggonnets est d'environ  $0^m,28$  cubes ; mais, eu égard au foisonnement, ils ne contiennent guère que de  $0^m,16$  à  $0^m,22$  mesurés au déblai suivant la nature du terrain.

On trouvera plus loin, au chapitre du matériel, quelques nouveaux détails sur les waggons de terrassement.

On sait que la nature des véhicules et des moteurs employés pour le transport des terres varie suivant les circonstances. Pour de faibles distances, on se sert exclusivement de brouettes ; pour une distance plus considérable, on trouve avantageux d'y substituer le tombereau attelé d'un seul cheval.

Si la distance augmente encore, le tombereau à deux chevaux remplace celui à un cheval ; puis viennent les waggons traînés par des chevaux ; puis enfin les waggons traînés par des locomotives. Le transport au waggon, qu'il soit fait par des chevaux ou par des machines locomotives, ne devient avantageux qu'autant que le cube à enlever atteint un certain chiffre.

Il était donc curieux de savoir dans quels cas il convenait d'employer les brouettes, les tombereaux, les waggons traînés par des chevaux, et enfin les waggons traînés par des locomotives.

M. Brabant, l'un de nos plus habiles conducteurs des ponts et chaussées, qui a dirigé de grands travaux de terrassement, successivement, au chemin de fer de Versailles (rive gauche), de Lille à la frontière belge, et d'Orléans à Bordeaux, et qui, aujourd'hui, remplit les fonctions d'ingénieur chef d'arrondissement sur les chemins de fer de l'Est, s'est livré à de curieuses recherches, dont il a ex-

posé les résultats dans un Mémoire inédit qu'il a bien voulu nous communiquer. Les paragraphes suivants sont extraits de ce Mémoire.

Les transports par les moyens ordinaires, la brouette et le tombeau, n'exigeant que des frais d'établissement peu élevés, et qu'un matériel susceptible d'être employé sur tous les chantiers et même pour les usages les plus divers, il en résulte que les prix à appliquer sont toujours sensiblement les mêmes, quelles que soient les quantités à transporter.

Il n'en est pas de même pour les transports en waggon sur voies provisoires, parce qu'ils exigent des frais d'établissement considérables, qui sont bien loin de croître dans le rapport du volume transporté, et dans lesquels on ne peut rentrer qu'avec des cubes d'une certaine importance.

Il suit de là que, plus les volumes à transporter sont faibles, plus les prix de transport sont élevés, et que, par suite, à moins d'avoir un matériel sur place, les transports par voies provisoires cessent d'être praticables pour des cubes qui n'atteignent pas au moins 25,000 mètres.

D'un autre côté, il y a, avec les transports au waggon, à la charge et à la décharge, des frais de remaniement et diverses mains-d'œuvre qui n'existent pas pour les autres modes de transport, et qui s'élèvent de 20 à 25 centimes par mètre cube. A cette dépense il faut ajouter celle des waggons, des changements de voies et quelquefois d'autres appareils dont on a besoin sur les points de chargement et de déchargement. Tous ces frais étant indépendants des distances parcourues, il s'ensuit que, pour de faibles distances, les transports au waggon coûtent plus que ceux au tombeau.

Les distances minima, variables suivant les volumes à transporter, peuvent descendre pour des cubes de 25,000 mètres à 500 mètres, et pour des cubes de 100,000 mètres à 500 mètres.

Quoi qu'il en soit, il arrive souvent que les transports au tombeau étant impraticables, soit à cause de la nature ou de la position du sol, soit à cause de la saison, on est conduit à avoir recours au transport au waggon pour des volumes et pour des distances fort

au-dessous de celles qui sont indiquées ci-dessus comme un minimum.

Il suit de la multiplicité des éléments qui doivent entrer dans le calcul des transports au waggon, dans différents cas, et de la complexité de quelques-uns, que les formules ne peuvent être rigoureusement établies que pour des cas spéciaux et qu'après une estimation préalable des frais de toute espèce, et notamment de ceux de matériel, pose de voies, dépose et repose, etc.

Aussi les formules employées par plusieurs ingénieurs placés dans des conditions diverses ne sont-elles pas exactement semblables. Néanmoins les différences ne sont pas tellement grandes, que M. Brabant n'ait jugé utile de prendre la moyenne des résultats que lui ont fournis trois de ces formules, pour déterminer, au moins par approximation, les cubes et les distances moyennes pour lesquels les différents modes de transport deviennent avantageux.

Le tableau suivant est extrait d'un tableau beaucoup plus complet qu'il a donné.

DÉPENSE POUR LE TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE DE TERRE OU DE BALLAST, PESANT ENVIRON 1,600 KILOGRAMMES.

A UNE DISTANCE DE	A LA BROUETTE.	SUR TERRAIN NATUREL.		SUR VOIES PROVISOIRES.		SUR VOIES DÉFINITIVES.	
		au CAMION	au TOMBERFEU	AU WAGON		CUBE DE 20 000 <sup>m</sup> au wagon trainé par des locomotives.	
		traîné par des hommes.	traîné par des chevaux.	traîné par des chevaux au pas.	traîné par des locomotives, vitesse de 12 kilomètres à l'heure.	Tout compris.	Dépense des voies non comprise.
		m.					
50	0,225	0,225	»	»	»	»	»
100	0,450	0,350	0,420	0,545	0,596	0,460	0,455
140	0,630	0,450	0,468	0,563	0,610	0,464	0,457
160	0,720	0,500	0,492	0,572	0,618	0,466	0,456
200	0,900	0,600	0,540	0,590	0,632	0,471	0,460
300	»	0,850	0,660	0,635	0,668	0,480	0,465
500	»	1,350	0,900	0,725	0,740	0,500	0,475
800	»	2,100	1,260	0,860	0,848	0,530	0,490
1,000	»	2,600	1,500	0,950	0,920	0,550	0,500

Il résulte de ce tableau :

1° Qu'à la distance de 100 mètres, le camion traîné par des hommes est préférable à la brouette, et qu'il commence à le devenir dès qu'on dépasse la distance de 50 mètres.

2° Que les tombereaux traînés par des chevaux deviennent préférables aux camions traînés par des hommes à la distance de 160 mètres seulement. A cette même distance, la locomotive elle-même, sur voies définitives, devient préférable au tombereau, pourvu, toutefois, que le cube à enlever soit de 20,000 mètres au moins.

3° Qu'à une distance de 500 mètres, le cube à enlever étant d'au moins 10,000 mètres, l'usage des waggons traînés par des chevaux sur voies provisoires devient plus économique que celui des tombereaux.

4° Que la locomotive sur voies provisoires ne doit remplacer les chevaux qu'à la distance de 6 à 700 mètres.

Les calculs de M. Brabant ont été faits dans la supposition de waggons portant 2 mètres cubes, et du prix de 12 fr. pour tombereau attelé de deux chevaux. Le temps perdu à la charge et à la décharge étant de quinze minutes, et les deux chevaux pouvant traîner 0,6666... en parcourant 50,000 mètres par jour.

Nous donnons aux documents les formules de M. Brabant, accompagnées de renseignements fort intéressants sur l'usure des rails employés pour les terrassements.

Les limites indiquées plus haut n'ont rien de bien absolu, parce que les circonstances, et notamment les frais d'établissement résultant de l'adoption d'un mode de transport quelconque, obligent à ne faire, sous ce rapport, que le moins de changements possible.

C'est ainsi que, lorsqu'on veut faire usage des locomotives pour des transports à grande distance, on commence souvent à s'en servir à de très-faibles distances, auxquelles leur emploi est onéreux, parce qu'il serait encore plus onéreux de monter un service de chevaux qu'il faudrait faire disparaître très-peu de temps après.

En général, pour obtenir un minimum dans les dépenses, il faut, quand les modes de transport offrent de l'incertitude sous le rapport des dépenses, ne les entreprendre qu'après s'être éclairé au

moyen d'estimations différentes, toutes suivant les modes de transport jugés les plus économiques.

Les plus grandes tranchées connues sont : la tranchée de Tring sur le chemin de Birmingham, cubant 1,400,000 mètres ; celle de Gadelbach sur le chemin d'Ulm à Augsburg, cubant 1,000,000 de mètres ; celle de Tabatsofen, qui a fourni 860,000 mètres cubes de déblai ; la tranchée de Cowran, sur le chemin de Carlisle, dont on a extrait 700,000 mètres cubes ; celle de Blisworth, sur le chemin de Birmingham, cubant 620,000 mètres ; celle de Poincy, au chemin de Strasbourg, cubant 500,000 mètres, celle de Pont-sur-Yonne, au chemin de Lyon, cubant 470,000 mètres ; et la tranchée de Clamart, sur le chemin de Versailles (rive gauche), dont le cube était de 400,000 mètres environ.

**Tranchée de Clamart.** — La figure 20 représente une coupe des travaux de la tranchée de Clamart. Après avoir percé le goulet A en retroussant les terres, on a enlevé les terres en B et C sur une

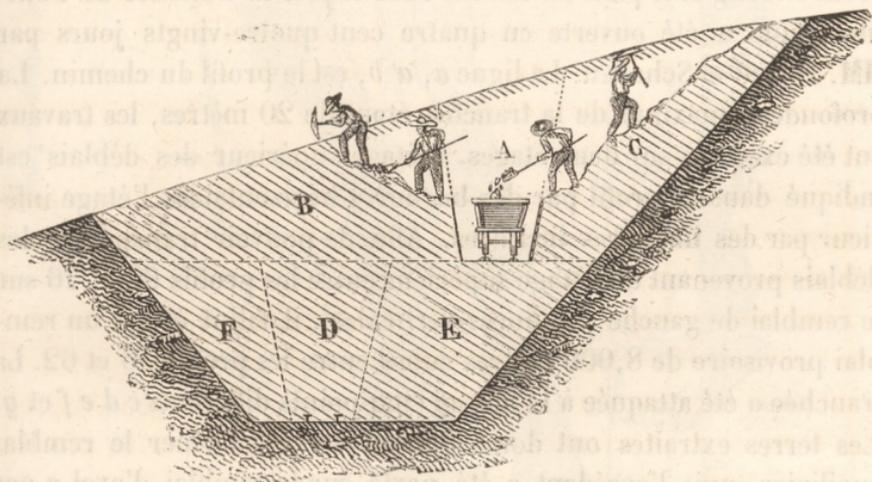


Fig. 20.

certaine longueur, puis on a ouvert le goulet D et enlevé les terres en F et en E. Le remblai a été fait en deux assises ; on a descendu les terres de A, B et C au niveau supérieur du remblai au moyen d'un plan automoteur établi dans la tranchée, et du niveau supérieur du remblai à celui de la tranchée au moyen d'un second plan automoteur placé sur le remblai. On est parvenu à enlever, par une seule

extrémité de cette tranchée, à transporter à près d'une demi-lieue de distance et à décharger en remblai, près de 1,400 mètres cubes pendant les grands jours d'été.

Il est très-rare que l'on extraye un pareil cube par une seule extrémité, et l'on n'a atteint ce chiffre à la tranchée de Clamart qu'en employant des moyens excessivement coûteux; on trouvera dans les documents du *Portefeuille* le cube moyen fait dans les tranchées du chemin de Mulhouse, avec le nombre de points de décharge.

En général, on ne dépasse guère la moyenne de 800 mètres cubes par jour, en sorte qu'une tranchée cubant 400,000 mètres et pouvant être attaquée en même temps aux deux extrémités, n'exigerait pas plus d'une campagne pour son complet achèvement, même sans effectuer de dépôts, tandis que les travaux pour ouvrir la seconde et la troisième des tranchées dont nous venons de parler ont duré plusieurs années.

**Tranchée de Pont-sur-Yonne.** — La figure 21 représente le profil en long et le plan du terrain dans lequel la tranchée de Pont-sur-Yonne a été ouverte en quatre cent quatre-vingts jours par MM. Parent et Schaken. La ligne *a, a' b*, est le profil du chemin. La profondeur maxima de la tranchée étant de 20 mètres, les travaux ont été exécutés sur deux étages. L'étage supérieur des déblais est indiqué dans le profil par des hachures horizontales; l'étage inférieur par des hachures inclinées. Afin de pouvoir transporter les déblais provenant de l'étage supérieur entre les profils 62 et 76 sur le remblai de gauche (hachures verticales), il fallut élever un remblai provisoire de 8,000 mètres cubes entre les profils 56 et 62. La tranchée a été attaquée à la fois en cinq points différents *c d e f* et *g*. Les terres extraites ont donc d'abord servi à former le remblai auxiliaire, puis l'excédant a été porté sur le remblai d'aval *a* par un chemin de fer *d K r* que l'on a établi en grande partie dans les anciens fossés de la ville, qui suivaient cette direction et qu'il a suffi d'agrandir. Les terres extraites en *c* et en *e* ont été directement emmenées sur le remblai *a*; néanmoins une partie des terres provenant du chantier *e* a été retroussée à la brouette en D.

Les terres extraites en *f* et en *g* ont été portées sur le remblai d'amont *b*, celles du chantier *g* en suivant l'axe du chemin, celles

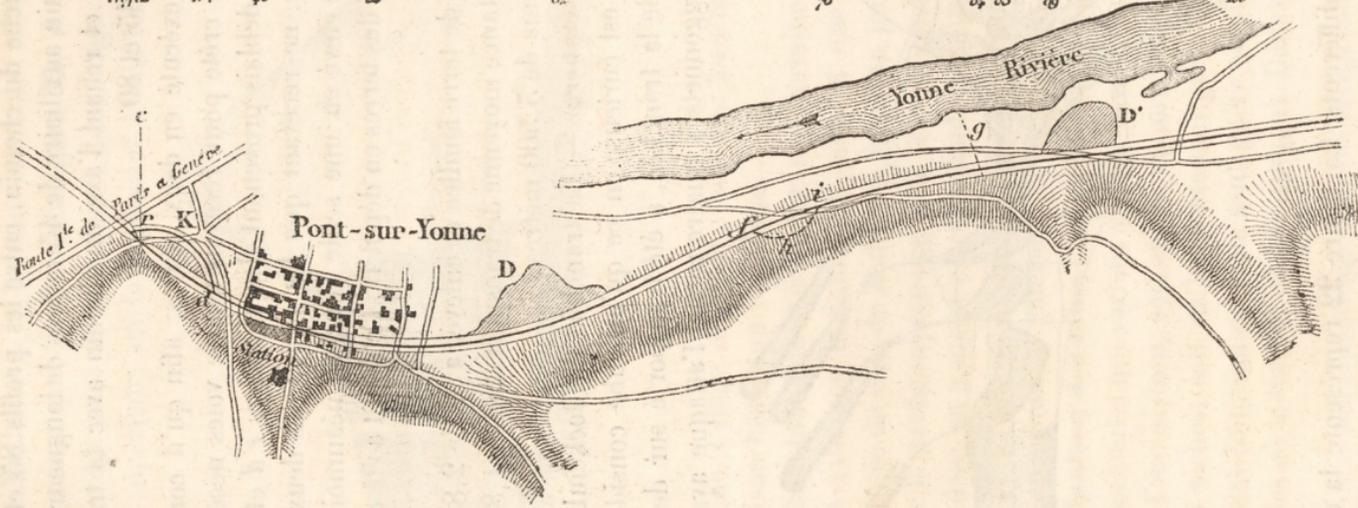
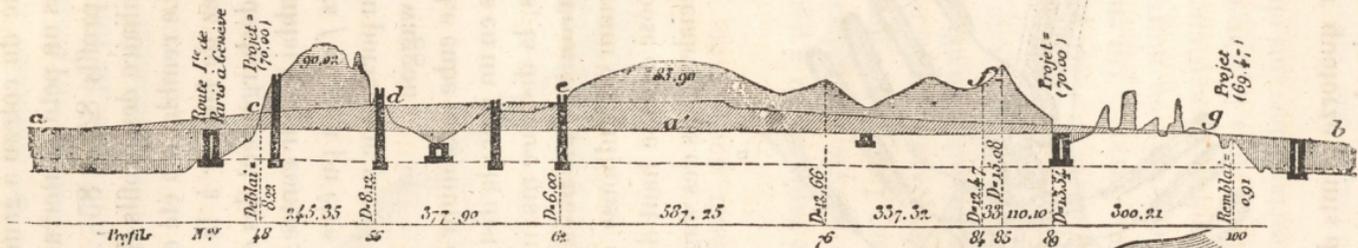


Fig. 21. — Tranchée de Pont-sur-Yonne.

du chantier *f* en passant par un chemin de fer *f h i*, établi sur le flanc du coteau à gauche du chemin, entre les profils 85 et 89 et dans un petit souterrain auxiliaire de 45 mètres de longueur (entre les profils 84 et 85), et reliant l'axe du chemin avec la tranchée auxiliaire des profils 85 et 89.

Le remblai *a* a été exécuté en deux assises, afin qu'il conservât assez de largeur à la crête pour recevoir quatre voies nécessaires au déchargement des déblais provenant des chantiers *c d* et *e*. Le remblai *b*, par contre, ne recevant que les terres des deux chantiers *f* et *g*, a pu être élevé en une seule couche; néanmoins il a fallu porter une partie des terres en dépôt *D'*. Ce dépôt a été exécuté au waggon.

Le cube maximum de terre fouillée et enlevée a été de 2,850 mètres en un jour; la distance moyenne de transport était de 1,800 mètres, la distance maxima de 3,500 mètres.

**Tranchée du Dockemberg.** — La tranchée du Dockemberg au chemin de Mulhouse est curieuse en ce qu'un cube considérable, déposé dans le haut de la tranchée, a été transporté sur des voies spéciales dans des waggonnets à quatre roues, l'attaque ayant lieu

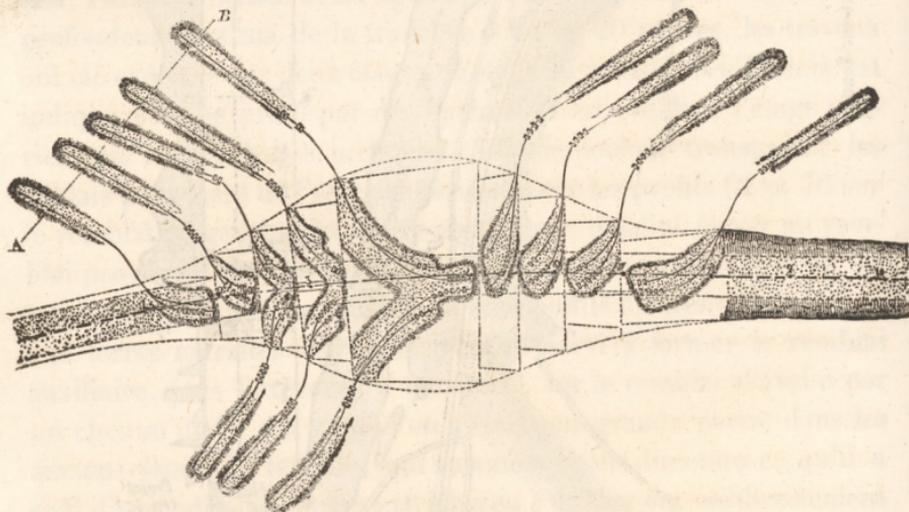


Fig. 22

sur quatorze points différents. La figure 22 représente la disposition du chantier.

**Tranchée de Charmoille.** — A la tranchée de Charmoille (chemin de Mulhouse), le terrain étant du côté de Mulhouse très-abrupt, ainsi que l'indique la figure 23, il n'eût pas été possible d'établir des voies de transport à deux étages différents. La voie de l'étage supérieur, en la supposant à une hauteur raisonnable au-

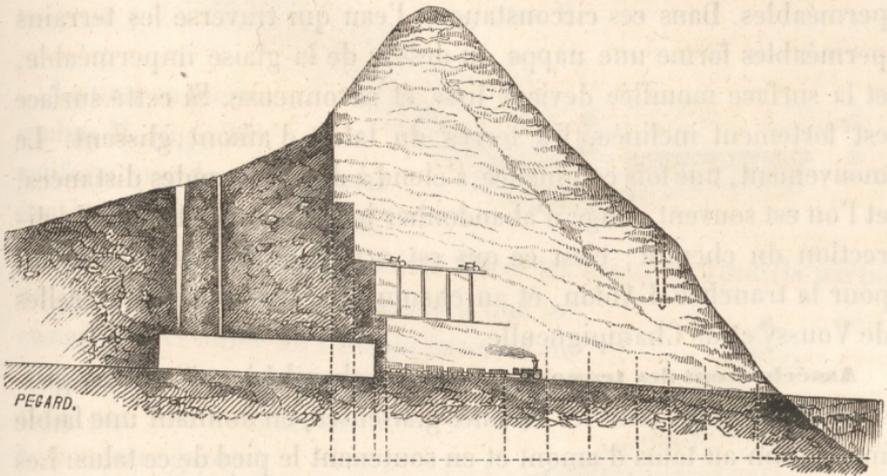


Fig. 25.

dessus de l'étage inférieur, eût été forcément posée avec une inclinaison beaucoup trop forte.

Voulant toutefois opérer avec une certaine rapidité, on a percé, comme l'indique la figure, un puits et une galerie. La galerie a été poussée du côté de Mulhouse jusqu'au jour. Les déblais provenant de la partie supérieure de la tranchée, jetés dans le puits, tombaient dans un waggon placé au fond, ce puits faisant ainsi office de trémie ou d'entonnoir ; les waggons marchaient vers le point de décharge en suivant la galerie.

**Inclinaison des talus.** — Les talus des tranchées se soutiennent sous des angles qui varient suivant la nature du terrain<sup>1</sup>. On en diminue l'inclinaison, soit en les recouvrant de perrés ou murs en pierres sèches, soit en les soutenant par des murs en maçonnerie. Les murs en maçonnerie ne sont guère employés qu'à la traversée des villes où le terrain est très-coûteux. Dans certains terrains ébou-

<sup>1</sup> Les angles pour les différentes natures de terrains sont indiqués dans l'ouvrage de M. Minard, intitulé : *Sur les ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux.*

leux, les talus ne se soutiennent sous aucun angle, et, si on ne prend certaines précautions, ils s'éboulent inopinément et recouvrent les voies. Cet accident est un des plus graves que présente la construction des chemins de fer. Il est à redouter surtout dans les terrains qui renferment des couches glaiseuses intercalées dans des couches perméables. Dans ces circonstances, l'eau qui traverse les terrains perméables forme une nappe au-dessus de la glaise imperméable, et la surface mouillée devient lisse et savonneuse. Si cette surface est fortement inclinée, les terres du talus d'amont glissent. Le mouvement, une fois commencé, s'étend à de très-grandes distances, et l'on est souvent obligé d'abandonner le tracé et de changer la direction du chemin; c'est ce qui est arrivé au chemin d'Orléans pour la tranchée d'Ablon, et au chemin de Strasbourg pour celles de Voussy et de Champigneulle.

**Assèchement des tranchées.** — On a cherché à prévenir les glissements en desséchant les couches glaiseuses, en donnant une faible inclinaison au talus d'amont et en soutenant le pied de ce talus. Les figures 24, 25 et 26 représentent les travaux exécutés sur divers chemins de fer pour parvenir à ce résultat.

**Pierrée en amont.** — La pierrée, ou canal rempli de pierres concassées (fig. 24), retient toutes les eaux venant d'amont qui pour-

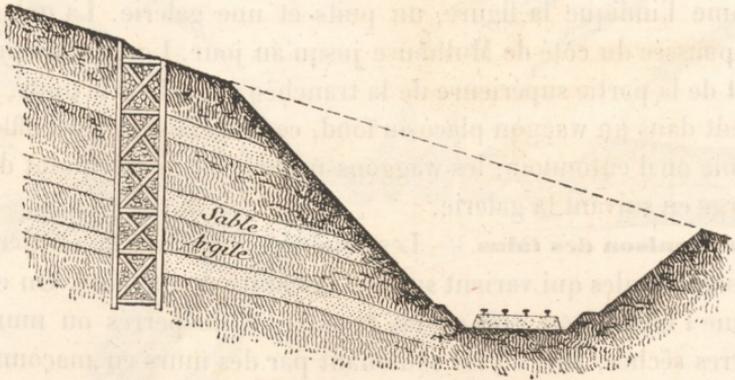


Fig. 24.

raient attaquer le talus. Ces eaux s'écoulent par les extrémités de la pierrée. Nous examinerons plus loin jusqu'à quel point ce procédé est avantageux.

**Mur en pierres sèches.** — Le mur en pierres sèches M (fig. 25) soutient le talus, tout en laissant filtrer les eaux qui descendent vers le fossé. Il s'appuie sur la banquette *b*, et, de distance en distance, le pied du talus est consolidé par de petites voûtes V.

Le mur en pierres sèches M (fig. 26), renforcé par des contre-forts également en pierres sèches,

soutient le pied du talus et laisse filtrer les eaux. — Toute la partie du talus qui se compose de glaise a une inclinaison très-faible de trois de base sur un de hauteur; il est, en outre, protégé par une couche de bonne terre gazonnée avec soin.

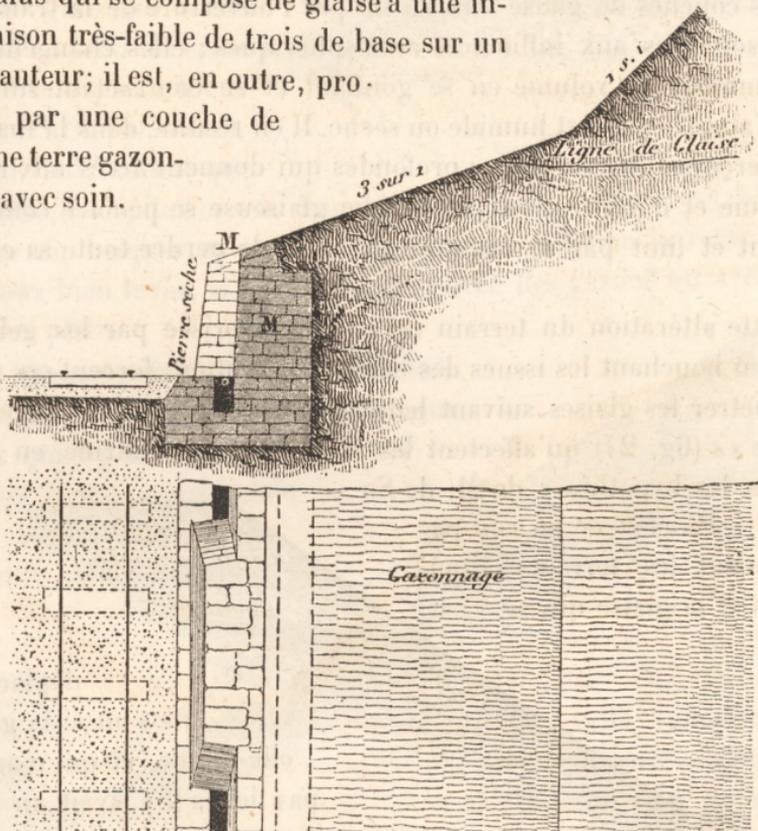


Fig. 26.

Ces différents moyens sont extrêmement coûteux, et leur emploi

ne préserve pas toujours des éboulements qui se manifestent souvent plusieurs années après l'ouverture du chemin.

**Méthode Sazilly.** — En examinant attentivement ces éboulements, et en remarquant que souvent ils avaient lieu sur le talus d'aval de la tranchée, M. de Sazilly, ingénieur des ponts et chaussées, fut conduit à les attribuer, dans le plus grand nombre de cas, à d'autres causes qu'à de simples glissements; en conséquence, il proposa et appliqua sur les chemins du Centre et de Strasbourg une nouvelle méthode de consolidation des talus. Nous allons indiquer en quelques mots les procédés que cet ingénieur a décrits avec beaucoup de détails dans un mémoire inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1854.

Les couches de glaise mises à nu par l'ouverture de la tranchée sont soumises aux influences atmosphériques; elles changent incessamment de volume en se gonflant et se contractant suivant que l'atmosphère est humide ou sèche. Il en résulte, dans la masse, des gerçures plus ou moins profondes qui donnent accès aux eaux de pluie et d'infiltration; la couche glaiseuse se pénètre complètement et finit par se ramollir au point de perdre toute sa cohésion.

Cette altération du terrain est encore favorisée par les gelées, qui, en bouchant les issues des eaux d'infiltration, forcent ces eaux à pénétrer les glaises suivant leurs fissures et plans de clivage. La forme *ss* (fig. 27) qu'affectent les éboulements confirme en tous points les hypothèses de M. de Sazilly. — En effet, ce ne sont pas seulement les terrains supérieurs à la glaise qui se

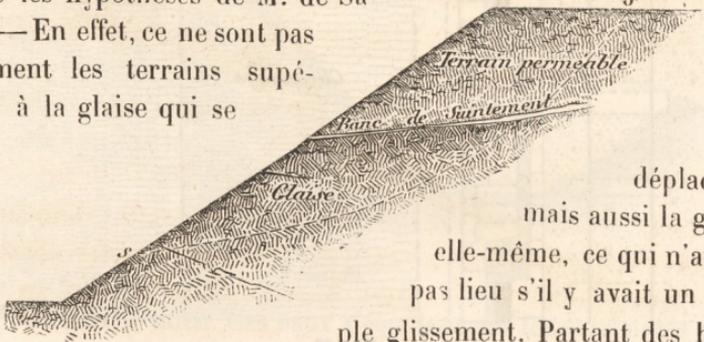


Fig. 27.

déplacent, mais aussi la glaise elle-même, ce qui n'aurait pas lieu s'il y avait un simple glissement. Partant des bases que nous venons d'indiquer, M. de Sazilly a recouvert les talus glaiseux des tranchées d'une che-

mise assez épaisse pour les soustraire aux influences atmosphériques; il a également détourné les nappes souterraines en leur assurant vers les fossés un écoulement prompt et constamment libre, quelle que soit la température extérieure.

A cet effet, soit  $n n'$  (fig. 28) une nappe d'eau (banc de suintement) qui se fait jour dans le talus  $A B$ ; on ouvre dans ce talus et dans le sens longitudinal de la tranchée une petite rigole  $a b c d$  qui pénètre jusque dans la masse glaiseuse. On donne au fond de cette rigole une pente d'environ  $0^m,01$  par mètre, en suivant, autant que

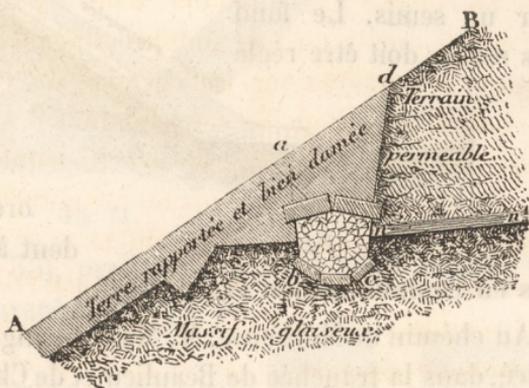


Fig. 28.

possible, les inflexions du banc de suintement, et l'on y établit un radier en briques et mortier hydraulique; puis on la remplit de cailloux bien lavés, et on la recouvre avec des gazons ou avec des pierres plates.

A chaque point bas de la rigole longitudinale, on donne écoulement aux eaux qui s'y accumulent au moyen d'une rigole transversale  $K g$  (figure 29), qui aboutit dans une cu-

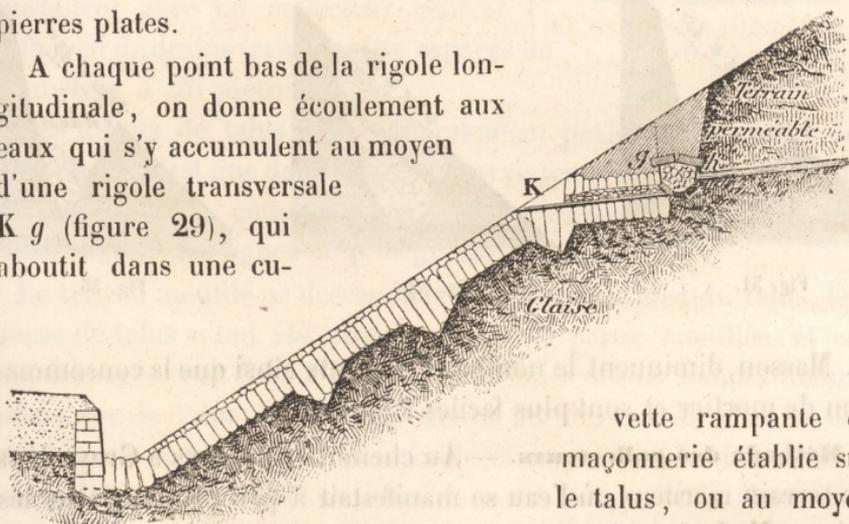


Fig. 29.

vette rampante en maçonnerie établie sur le talus, ou au moyen d'une pierrée établie sur la pente même du talus et débouchant dans le fossé. S'il existe plusieurs bancs de suintement

ment, on établit une pierrée pour chacun d'eux (figure 30).

Le fossé et le pied du talus sont revêtus en moellons; au-dessus, ce talus est taillé par redans, et recouvert d'une couche de terre bien damée et protégée par un semis. Le fond des redans doit être réglé

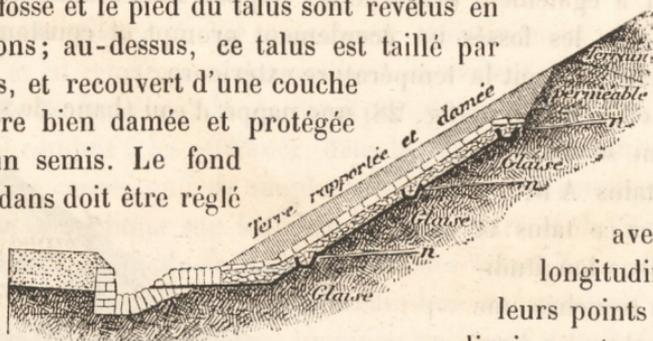


Fig. 50.

avec pentes longitudinales, et leurs points bas, qui ordinairement correspondent à ceux des pierrées, sont

mis en communication avec le fossé.

Au chemin de Mulhouse, M. Masson, ingénieur ordinaire, a remplacé, dans la tranchée de Beaulieu et de Chiffard, près de Rosoy et Faye-Billot, les briques formant le radier des rigoles ou caniveaux de M. Sazilly par des tuiles creuses (fig. 31 et 32); quelquefois par des tuyaux de drainage (fig. 33). Les tuiles creuses, suivant

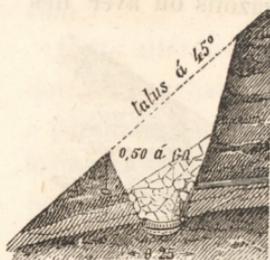


Fig. 31.

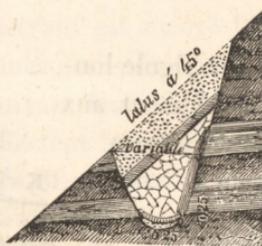


Fig. 32.

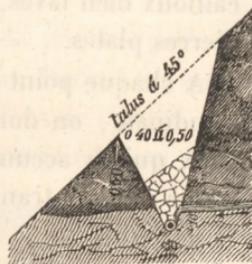


Fig. 33.

M. Masson, diminuent le nombre des joints ainsi que la consommation de mortier et sont plus faciles à placer.

**Méthode des collecteurs.** — Au chemin de Blesmes à Gray, dans un terrain marneux où l'eau se manifestait à peu près sur tous les points, M. Ledru, ingénieur principal, a desséché les talus et la chaussée à l'aide d'un ensemble de tubes de drainage dont la disposition est indiquée figure 54.

Les tuyaux T sont logés dans les fossés de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,20 de

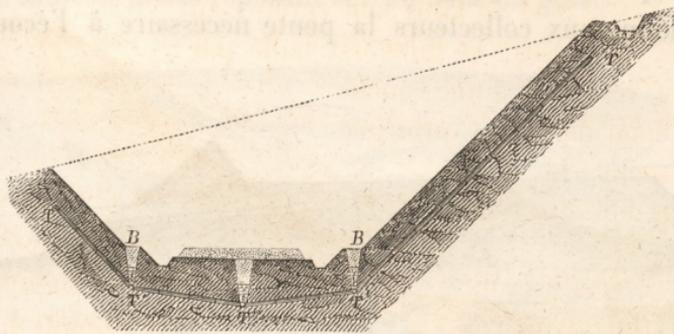


Fig. 54.

profondeur environ (fig. 55), pratiqués sur le talus et espacés de 5 mètres à 6 mètres, suivant la nature du terrain.

Ces tuyaux, que M. Ledru appelle *collecteurs de talus*, se dégorgent dans des collecteurs T', dits *collecteurs latéraux*, placés sous les petites banquettes B, dont la surface est au niveau du rail, et qui communiquent avec un collecteur central T'' au moyen de drains transversaux espacés de 10 mètres à 20 mètres.

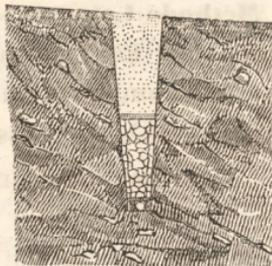


Fig. 55.

Les drains de talus sont généralement posés sur ce talus en écharpe. Ce n'est que dans de très-mauvais terrains et dans ceux qui avaient subi des commencements de glissement qu'ils ont été placés suivant les lignes de plus grande pente.

Le terrain mouillé ne descendant pas jusqu'au pied du talus, les drains de talus n'ont été posés que sur la partie mouillée, et se sont dégorgés, soit à l'air libre, soit dans des drains longitudinaux établis sur le talus à 0<sup>m</sup>,50 au moins au-dessous du plan de séparation de deux terrains perméable et imperméable. Les drains longitudinaux versent leurs eaux dans les fossés de la chaussée.

Le terrain perméable enfin se trouvant dans la partie inférieure du talus, tandis que la partie supérieure est composée de couches imperméables, on le dessèche à l'aide de collecteurs de talus se

dégageant, comme dans le premier cas, dans des collecteurs latéraux qui versent les eaux dans un collecteur central.

On donne aux collecteurs la pente nécessaire à l'écoulement

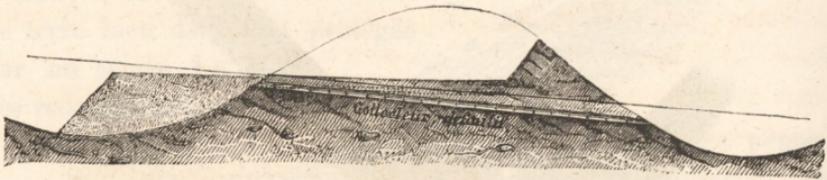


Fig. 56.

des eaux. La figure 56 indique la coupe longitudinale d'un collecteur central définitif.

**Méthode Lalanne.** — Au même chemin de Blesmes à Gray, on a appliqué un nouveau système de drainage qui avait été indiqué par M. Lalanne, ingénieur en chef, directeur des travaux au chemin de fer de l'Ouest (Suisse).

Ce système de drainage consiste à percer les talus de trous faits avec une tarière, et à y enfoncer une file de drains de 0<sup>m</sup>,5 à 0<sup>m</sup>,5 enfilés sur une perche en bois, que l'on retire ensuite avec précaution en laissant la file de drains dans le trou. Pour que ce chapelet de drains ne se disloque pas, les manchons qui garnissent les joints sont reliés entre eux par un fil de fer fixé (fig. 57) aux drains et

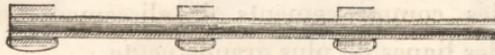


Fig. 57.

aux manchons extrêmes et simplement enroulé, sur les manchons intermédiaires.

**Consolidation du Steinberg.** — Nous croyons enfin utile de donner ici la description d'un travail assez intéressant exécuté sur le chemin de Metz à Forbach, pour maintenir la paroi d'amont d'une grande tranchée.

Ce chemin coupe entre Saint-Avold et Hombourg un mamelon

dit *Steinberg* (fig. 58), composé principalement de couches inclinées de sable et glaise reposant sur un banc de grès.

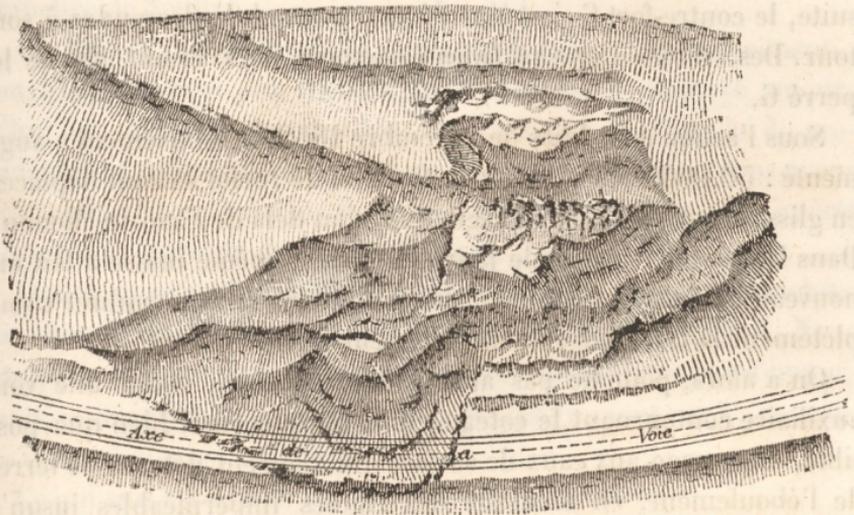
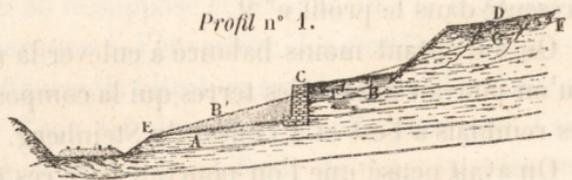


Fig. 58.

Le profil ci-contre (fig. 59) indique à peu près l'état de cette tranchée avant les derniers éboulements de novembre 1852.

Jusqu'à l'époque où ces éboulements ont commencé, le banc A n'avait jamais cédé et avait toujours été considéré comme une base solide. Le revêtement en partie maçonné du fossé avait été exécuté non pour retenir ce banc,



Profil n° 2.



Fig. 59.

mais simplement pour le garantir de l'érosion. La partie B' du banc B avait descendu pendant la construction en glissant sur le banc A, et la partie restante avait été arrêtée par le contre-fort C. Enfin, les couches C avaient été revêtues d'un perré encaissé dans les bancs B.

Tous ces travaux avaient été exécutés dans la supposition que le banc A, qui n'avait jamais bougé, resterait en repos.

Mais cependant ce banc a glissé; le radier s'est soulevé. Par suite, le contre-fort C s'est lézardé et a menacé de descendre à son tour. Des crevasses se sont faites également en D et ont poussé le perré G.

Sous l'action des pluies de novembre 1852, le mouvement a augmenté : 50,000 mètres cubes de terre ou de roche se sont déplacés en glissant sur une veine d'argile jusqu'au delà de l'axe du chemin. Dans les premiers jours de janvier 1853, la même masse a fait un nouveau mouvement et s'est avancée de manière à encombrer complètement la tranchée sur une longueur de 55 mètres.

On a alors, pour ne pas arrêter la circulation, établi une voie auxiliaire contournant le coteau; interrompu, aussi bien que possible, le passage aux eaux de surface qui venaient délayer les terres de l'éboulement, en creusant des rigoles imperméables jusqu'à 200 mètres de la tranchée parallèlement à l'axe; retiré une partie des terres de l'éboulement, décapé sur une grande profondeur les bancs supérieurs qui pesaient sur le banc A, et soutenu ce banc par un gros mur en pierres sèches M percé d'un aqueduc, et représenté dans le profil n° 2.

On a d'autant moins balancé à enlever la masse en mouvement, qu'on pouvait utiliser les terres qui la composaient pour consolider les remblais à l'est et à l'ouest du Steinberg.

On avait pensé que l'on pourrait faire ces déblais conformément à la ligne EF du profil n° 1; mais, en cours d'exécution, on enleva les terres conformément au n° 2, qui indique la situation actuelle.

*Dans un petit nombre de cas, les travaux d'assainissement ou de soutènement des talus devenant par trop dispendieux et même quelquefois impossibles, il vaut mieux modifier la voie. C'est ce qui est arrivé pour la tranchée de Champigneulle, sur le chemin de Strasbourg, près Nancy.*

Nous avons passé sommairement en revue les différents procédés pour l'assainissement des talus. Avant d'apprécier leurs avantages et leurs inconvénients respectifs, avant de faire connaître dans quels

cas chacun de ces procédés doit être plus particulièrement appliqué, nous entrerons dans de nouveaux détails sur le procédé Sazilly, et sur celui que M. de Regel a employé pour consolider les talus de la tranchée de Soultz.

M. Bruère, conducteur des ponts et chaussées très-expérimenté, longtemps associé aux travaux de M. Sazilly, et employé aujourd'hui par la Compagnie de l'Est, nous a fourni sur l'emploi du procédé de cet ingénieur de nombreux renseignements que nous avons reproduits en entier dans le *Portefeuille*. On en lira avec intérêt l'extrait que nous en donnons plus loin.

Quant au second procédé, il a été appliqué à plusieurs tranchées du chemin de Mulhouse par MM. Daigremont et Marsillon. Nous compléterons la description que nous en avons donnée par d'importants emprunts faits à un rapport de M. Daigremont sur les travaux qu'il a exécutés.

Ce qui suit est extrait du mémoire de M. Bruère :

**Détermination des bancs de suintement.** — « Avant de commencer les travaux d'assainissement d'une tranchée, il est très-important de connaître d'avance tous les bancs de suintement.

« Les recherches auxquelles on doit se livrer pour cet objet sont bien moins difficiles qu'on le suppose généralement : il suffit pour cela de faire des remarques à l'ouverture des cunettes ; car c'est alors que les eaux intérieures de filtration sont les plus abondantes ; et, comme la quantité d'eau est alors trop grande pour que l'air l'absorbe tout entière à sa sortie, il est facile de noter tous les endroits où l'on voit l'eau apparaître. En agissant de cette manière, on sera certain de savoir plus tard, après le règlement des talus, où se trouvent les bancs de suintement lorsqu'il s'agira de recueillir les eaux intérieures de filtration. Il n'est pas nécessaire de suivre alors les suintements dans tout leur développement lorsqu'on fait des recherches ; quand on a reconnu un endroit où l'eau sort, on doit être à peu près certain que toute la couche de terrain de même nature et de même nuance, qui a la même disposition, est elle-même un banc de suintement.

« Quand on n'a pas pu étudier la position des bancs de suintement à l'ouverture des cunettes, ou généralement pendant le dé-

blai des tranchées, on doit observer les talus le matin au lever du soleil ; l'air calme et froid de la nuit a absorbé peu d'eau et les bancs de suintement sont alors très-faciles à reconnaître. Dans les cas douteux, on fait bien de répandre du sable ou mieux de la cendre sur les talus ; la nuance plus foncée que prennent ces deux matières au contact de l'humidité décèle toujours un banc de suintement.

« Ici se présente l'occasion de faire une remarque très-importante : il arrive quelquefois à ceux qui n'ont pas l'habitude de faire des recherches de suintement de se méprendre sur l'endroit exact où les eaux souterraines sortent à la surface des talus ; ces eaux, avant d'en atteindre tout à fait la surface extérieure, peuvent descendre dans les fentes nombreuses que la sécheresse a produites dans la couche inférieure argileuse, de sorte que l'eau se montre beaucoup plus bas que le banc de suintement par où elle se dirige (fig. 40).

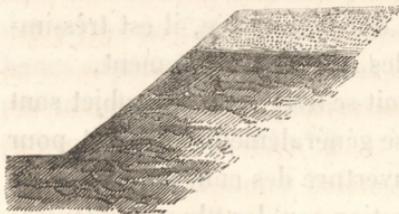


Fig. 40.

« Pour éviter aux autres cette cause d'erreur, je conseillerai ce que je fais toujours moi-même : il faut enlever sur la surface du talus où on soupçonne un suintement toutes les terres désagrégées par l'humidité et par la sécheresse. On sera certain de sa-

voir ensuite exactement quelle est la couche de terrain qui donne passage à l'eau.

« Quand les eaux paraissent à la surface du talus en assez grande quantité, on reconnaît aisément quel est le terrain qui leur donne passage lorsqu'on observe ces talus pendant le jour quand le soleil donne le plus de chaleur. Il arrive alors que la surface du talus devient tout à fait sèche à l'exception des endroits où l'eau sort naturellement. Il est un fait assez curieux que j'ai eu très-souvent l'occasion de remarquer : des surfaces de talus argileux réglés depuis longtemps n'offraient à la température ordinaire aucun symptôme d'humidité. Or il arrivait que, par les grandes chaleurs, lorsque le soleil échauffait le plus fortement la terre, il se dessinait

des zones distinctes où se manifestait une humidité assez abondante. Ces traces d'humidité décèlent toujours des bancs de suintement.

« Les suintements sont encore très-faciles à reconnaître dans les petites tranchées de 0<sup>m</sup>,80 environ de largeur ouvertes perpendiculairement à l'axe pour le règlement des talus; l'air, y circulant difficilement, ne peut absorber que peu d'humidité par les eaux intérieures.

« J'ai parlé d'une espèce de bancs de suintement entre deux couches argileuses homogènes; ils ont généralement une faible épaisseur de 1 à 2 centimètres, et se reconnaissent à la main. Quand une fois on a trouvé un point de leur direction, on peut facilement glisser le doigt sur toute leur longueur entre les deux couches argileuses qui sont généralement très-compactes; on en retire une matière bourbeuse très-molle, qui a souvent beaucoup d'analogie avec les terrains des couches supérieures. Des suintements de cette espèce se voient aujourd'hui à la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse); j'en ai vu un assez grand nombre aux tranchées de Soultz et de Sourbourg (ligne de Wissembourg); mais les plus remarquables que j'aie vus jusqu'à ce jour existent à la tranchée du versant méridional de l'Indre, près de Tours (chemin de Tours à Bordeaux). Lorsque j'ai été chargé de la consolidation des talus de cette tranchée, ces suintements avaient déjà produit des éboulements considérables.

« A l'époque des dégels, les eaux provenant de la fonte des neiges et des pluies ne peuvent pénétrer sur la première couche de terrain imperméable que lorsque le sol est complètement dégelé, de sorte que ces eaux, trouvant naturellement une issue dans les tranchées, paraissent à la surface des talus souvent bien au-dessus du premier banc de suintement ordinaire; elles se montrent le plus abondamment de 0<sup>m</sup>,40 à 0<sup>m</sup>,50 au-dessous de la partie supérieure du sol (fig. 41).

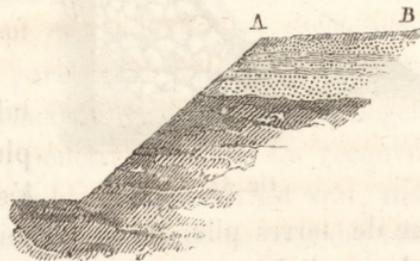


Fig. 41.

« Quand une tranchée est ouverte dans l'emplacement d'une forêt, les racines des arbres abattus de chaque côté de la tranchée produisent à leurs extrémités une grande quantité d'eau qui, sans elles, se serait écoulée à la surface du sol. Cette remarque est d'autant plus importante, que la quantité d'eau qu'elles introduisent dans les terres est très-considérable à l'époque des dégels et des fortes pluies. C'est à la présence de ces racines qu'il faudra attribuer l'abondance des eaux dans la partie supérieure des talus de la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse). La plus grande partie des éboulements qui se sont produits à la tranchée de Strohubel (ligne de Wissembourg) n'a pas eu d'autre cause que la présence des racines.

« La conservation des talus sera assurée quand on aura pris les dispositions nécessaires pour les préserver des eaux intérieures et des influences atmosphériques.

**Caniveaux d'assainissement.** — « Pour prévenir les effets des eaux intérieures, il suffit de les recueillir de manière qu'elles ne soient jamais soumises à l'action des gelées, et qu'elles ne s'écoulent que le moins possible à la surface des terres argileuses.

« Les caniveaux d'assainissement remplissent complètement ce but ; le principe sur lequel on s'appuie pour leur construction est excessivement simple : les caniveaux consistent dans une certaine quantité de matières perméables appliquées contre les couches perméables naturelles qui donnent passage aux eaux de filtration, et en une rigole en maçonnerie de briques établie au-dessous pour recueillir les eaux et les diriger dans les contre-fossés du chemin de fer (fig. 42).

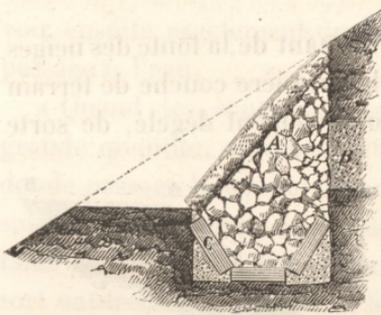


Fig. 42.

« Afin de préserver la surface des talus des effets de la sécheresse et des pluies, et particulièrement des gelées, il faut les recouvrir d'une couche de terres pilonnées de manière qu'elles ne soient soumises qu'au moindre tassement possible ; les terres servant aux recouvrements doivent être choisies parmi celles qui ne sont point sujettes

à devenir fluentes au contact de l'eau ; elles doivent être pilonnées partout avec le même soin et avec la même force, de sorte que ces recouvrements deviennent aussi compactes que possible au point de devenir imperméables eux-mêmes.

« Les eaux de pluie, en descendant sur des talus d'une hauteur un peu considérable, ravinent ces talus vers leur base et seraient la cause de dégradations plus ou moins importantes si on ne prenait pas la précaution de diminuer le volume et la vitesse des eaux pluviales. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'établir de distance en distance des banquettes étagées destinées à recevoir les eaux qui descendent à la surface des talus.

« Pour le prompt écoulement des eaux de pluie sur les banquettes, il devient indispensable de les disposer de manière qu'elles aient une pente transversale qui soit autant que possible opposée à celle des talus, et une pente longitudinale suffisante pour que les eaux soient concentrées dans un assez petit espace et qu'elles puissent s'écouler promptement vers les points les plus bas donnés par les pentes longitudinales.

« A la jonction inférieure de deux pentes opposées, on est alors obligé de construire des cuvettes en maçonnerie par lesquelles les eaux reçues par les banquettes s'écoulent directement dans les contre-fossés du chemin de fer.

« Pour que les eaux qui s'écoulent dans les fossés des tranchées argileuses ou sablonneuses ne dégradent pas la base du talus, il est nécessaire de perreyer ces fossés. Dans les tranchées argileuses, il suffit de perreyer le fond du fossé et le talus opposé à la voie ; l'autre talus peut être simplement gazonné à plat.

« Malgré tout le soin avec lequel on aura fait choix des terres destinées aux revêtements du talus, et quoique ces revêtements soient très-bien pilonnés, on ne parviendra jamais à le rendre complètement imperméable ; les eaux qu'il contiendra aux dégels, celles provenant des fortes pluies, pénétreront donc les recouvrements sur toute leur épaisseur, en faible quantité il est vrai, mais assez cependant pour que celles qui parviendront au pied des talus ramollissent les terres rapportées et fassent perdre aux revêtements toute leur solidité. C'est pour cette raison que, depuis quelques an-

nées, j'ai l'habitude d'établir au pied des talus un caniveau destiné à recueillir les eaux qui s'écoulent entre le terrain naturel et les terres du revêtement (fig. 45).

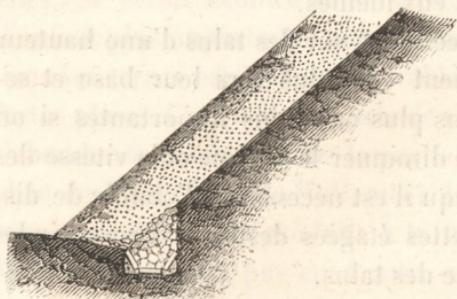


Fig. 45.

**Assèchement d'un terrain sablonneux.** — « Les dispositions décrites ci-dessus doivent être modifiées quand il s'agit d'assainir un terrain sablonneux où il y a beaucoup d'eau, par conséquent où le sable est très-mouvant, ou quand la hauteur du suintement est très-considérable;

c'est ce qu'on appelle un suintement général.

« On doit ici, comme je l'ai déjà dit, établir le caniveau sur un terrain solide. Comme le gravier que l'on poserait sur le sable ne tarderait pas à devenir inutile par son introduction dans une masse trop mouvante, il est nécessaire de l'envelopper dans des branches fines et serrées alentour. Les fascines (fig. 44), liées très-solide-ment, sont ensuite placées sur le talus, comme je le dirai tout à l'heure.



Fig. 44.

« Les branches de genêt et de bouleau sont d'un bon usage pour la fabrication des fascines de gravier (fig. 45).

« L'établissement d'un filtre en fascines est sans contredit le travail le plus délicat et le plus difficile qui se puisse rencontrer dans l'assainissement du talus.

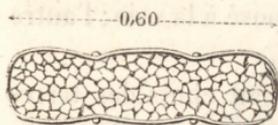


Fig. 45.

« Aussitôt après le règlement des talus, après avoir préparé tous les matériaux né-

cessaires, on place les fascines en commençant par le haut, de manière qu'on ne soit jamais incommodé par le sable, qui est toujours entraîné par les eaux.

« On commence donc par pratiquer un redan A, et l'on pose immédiatement, comme il est indiqué au croquis figure 46, la fascine A'. Ensuite un ouvrier ouvre un deuxième redan, B où la fas-

cine B' est aussitôt placée. Le travail étant continué ainsi jusqu'au bas du suintement, les fascines sont ensuite recouvertes de 0<sup>m</sup>,40 de gravier, et le talus représenté en profil la forme indiquée à la figure 46.

« Il ne reste plus qu'à faire sur le tout un gazonnement à plat de 0<sup>m</sup>,40 d'épaisseur ; et, pourvu que les fascines soient bien serrées les unes

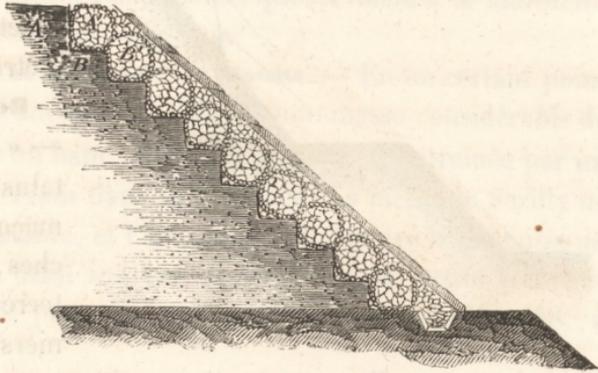


Fig. 46.

contre les autres, qu'elles soient placées à joints recouverts, il n'est plus à craindre qu'il survienne des éboulements. On sera peut-être obligé de temps en temps de nettoyer le caniveau obstrué par le sable qui sera entraîné par les eaux pendant les premiers jours ; mais ce sera un travail facile si on a pris la précaution de ne remplir le caniveau avec le caillou et de ne recouvrir le talus que plusieurs jours après l'établissement du filtre en fascines.

« Un recouvrement en terre végétale, fait comme il sera dit plus tard, serait très-convenable, mais le plus souvent un simple répannage de 0<sup>m</sup>,45 de terre végétale est bien suffisant.

« Il arrive quelquefois que des suintements de cette nature ont une étendue moins considérable, et qu'il n'en faut cependant pas moins de précautions pour les consolider.

« A la tranchée de Sourbourg (ligne de Wissembourg), la partie supérieure de la première couche argileuse présentait dans quelques endroits une dépression considérable. Une grande quantité d'eau suintait du talus après avoir traversé un banc de sable pur de 0<sup>m</sup>,80 de hauteur environ. Malgré toute la promptitude avec laquelle on avait réglé le talus pour le consolider immédiatement, on n'a cependant pas pu empêcher la production de petits éboulements. L'eau entraînait le sable avec une telle abondance, qu'il a

été nécessaire de faire usage de fascines pour l'assainissement du talus. La figure 47 peut donner une idée assez exacte du travail qui vient d'être expliqué.

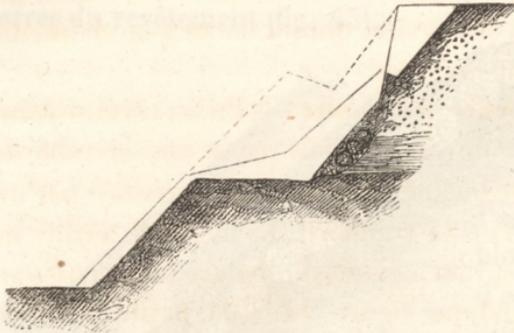


Fig. 47.

#### Revêtement des talus.

— « Les revêtements de talus peuvent être faits en maçonnerie de pierres sèches, en gazon ou en terre végétale : les derniers sont bien préférables

aux autres. Ils sont plus économiques, et, quand ils sont bien faits, ils garantissent mieux les talus contre les effets de la pluie et du dégel.

**Banquettes.** — « Les banquettes doivent être étagées et de 3 à 4 mètres de distance verticale les unes des autres, suivant que l'inclinaison des talus est plus ou moins considérable.

« Pour que les banquettes ne puissent pas se dégrader par le passage des eaux, on doit autant que possible les recouvrir de gazon.

**Cuvettes.** — « Les cuvettes se font en gazon par assises, ou en maçonnerie.

« Les cuvettes en maçonnerie sont bien préférables aux cuvettes en gazon, elles coûtent beaucoup plus cher, mais elles sont beaucoup plus solides et n'exigent pas d'entretien.

« Elles doivent être maçonnées avec du mortier de chaux hydraulique et jointoyées avec du ciment de tuileaux. »

Dans certaines tranchées du chemin de Mulhouse, les cuvettes en maçonnerie ont été remplacées par des cuvettes en tuiles maçonnées qui sont moins coûteuses.

Au chemin de Strasbourg à Wissembourg, qui fait partie du réseau de l'Est, M. de Regel, ingénieur en chef, a appliqué avec un grand succès la méthode Sazilly au dessèchement des talus de plusieurs tranchées ; mais il a été conduit, dans la plupart des cas où les eaux entraînaient la couche de sable et produisaient de grands

éboulements avant qu'on ait pu établir les pierrées, à modifier le procédé en ce sens qu'il soutenait provisoirement le terrain au moyen de fascines remplies de gravier, qui servaient à le maintenir tout en donnant écoulement aux eaux.

**Assèchement de la tranchée de Sultz.** — En un certain point de ce chemin, à la tranchée de Sultz, une masse considérable de terrain reposant sur un banc incliné de glaise était entraînée par un grand courant souterrain dans la tranchée. La méthode Sazilly ne paraissait plus applicable, et l'on a employé, malgré la dépense, un procédé analogue à celui indiqué figure 24. Une petite tranchée auxiliaire fut ouverte parallèlement à l'axe du chemin (fig. 48), à

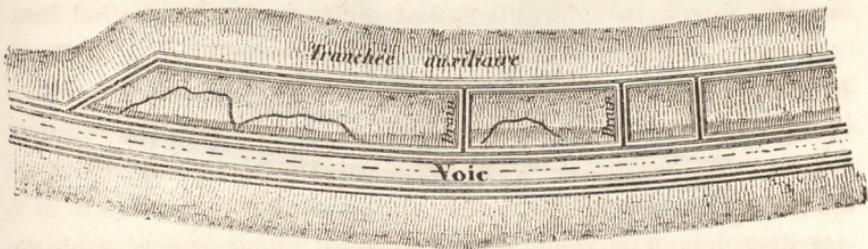


Fig. 48.

37 mètres de distance de celui-ci, et à 5 mètres au delà des fissures qui s'étaient manifestées dans le terrain. Cette tranchée fut poussée jusqu'à la couche imperméable, après avoir traversé plusieurs alternances de terres ordinaires et de glaises qui présentaient des bancs de suintement superposés. La coupe en long (fig. 49) représente la

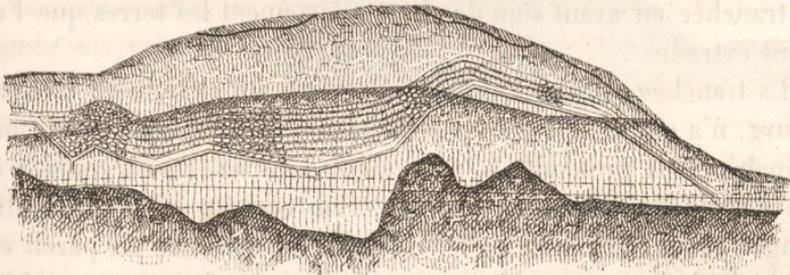


Fig. 49.

projection verticale de cette tranchée. Comme il s'agissait de donner

aux eaux un écoulement facile et constant, on suivit, pour le profil en long du fond de la tranchée, les ondulations générales de la couche de glaise, et l'on établit, à chacun des points bas les plus prononcés, un caniveau transversal ou drain qui devait amener dans le fossé du chemin de fer les eaux recueillies par la tranchée latérale.

Le fond de cette tranchée, dont la section (fig. 50) représente celle d'un prisme triangulaire, fut d'abord garni d'une couche de

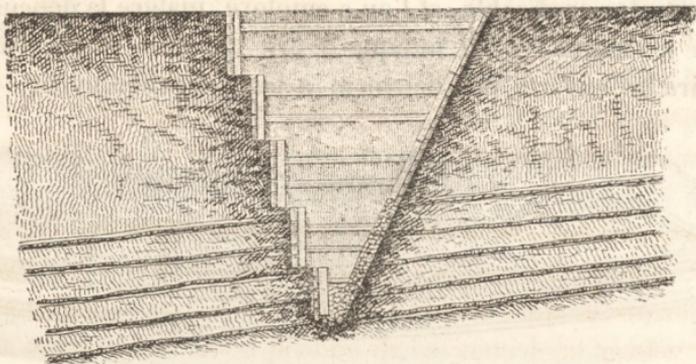


Fig. 50.

béton de 0<sup>m</sup>,15 d'épaisseur, sur lequel on plaça trois briques à plat formant caniveau, puis on remplit le vide avec des moellons bruts et de petites pierres jusqu'à 1 mètre de hauteur ; au-dessus de ce prisme, on éleva une sorte de mur en pierres sèches, tout le long des bancs de sumentement que l'on avait traversés, en garnissant le tout d'une couche de mousse pour empêcher la terre de s'introduire dans le perré. Ce perré une fois terminé, on combla le vide de la tranchée en ayant soin de pilonner fortement les terres que l'on avait extraites.

La tranchée auxiliaire de dessèchement, au chemin de Wissembourg, n'a que 10 mètres de profondeur. S'il eût fallu ouvrir une tranchée plus profonde, le percement dans un terrain coulant en fût devenu excessivement coûteux. Sur certains chemins d'Allemagne et sur le chemin de fer de Lyon, on a ouvert en pareil cas des puits jusqu'au banc glaiseux, et relié ces puits par une galerie dans laquelle les eaux se réunissent et d'où elles s'écoulent par des galeries transversales.

En général, dans des circonstances de ce genre, il est bon de diminuer la profondeur de la tranchée en relevant le profil du chemin ; on évite ainsi d'attaquer plus profondément la couche de glaise et de déchausser le pied de la couche dont on avait à redouter les mouvements. C'est ce qu'on a fait au chemin de Wissembourg et en plusieurs points du chemin de Strasbourg.

M. Daigremont, ingénieur des ponts et chaussées, et M. Marsillon, ingénieur civil, ont employé, pour l'assainissement des talus de plusieurs tranchées du chemin de Mulhouse, des moyens qui se rapprochent beaucoup de ceux dont M. de Regel a fait usage à Soultz.

Nous empruntons le passage suivant à un rapport fort intéressant fait sur ces moyens à la Compagnie de l'Est, par M. Daigremont :

**Description du système de consolidation adopté.**— « Nous nous sommes arrêté, dit cet ingénieur, à un système déjà employé en Allemagne, et qui consiste à ouvrir une saignée étroite parallèle à la tranchée, et seulement du côté où les éboulements sont à craindre, et à recueillir les eaux de suintement au fond de cette saignée : nous allons indiquer comment on a réussi à rendre ce travail économique.

« Nous ferons d'abord remarquer que, si le terrain perméable s'arrête à la ligne C D, (fig. 51) on se contente de faire descendre la saignée un peu plus bas que cette ligne, et l'on peut alors considérer le prisme de terre

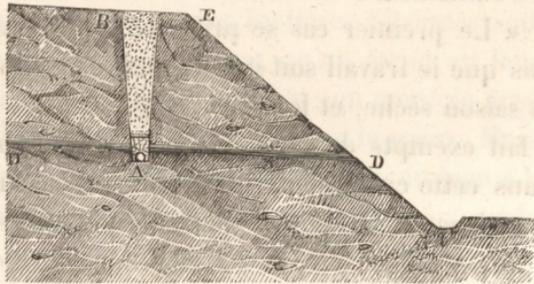


Fig. 51.

asséchée A B D E comme formant un mur de soutènement assis sur une base solide C D ; si la tranchée se compose de terrains perméables dans toute sa hauteur, il faut descendre un peu plus le fond de la saignée : nous verrons tout à l'heure comment nous avons été conduit à placer dans tous les cas des drains sous la plate-forme du

chemin de fer, comme le représente le croquis ci-contre, de sorte qu'en supposant la tranchée composée dans toute sa hauteur d'une argile perméable (il y a de ces argiles qui s'éboulent très-facile-

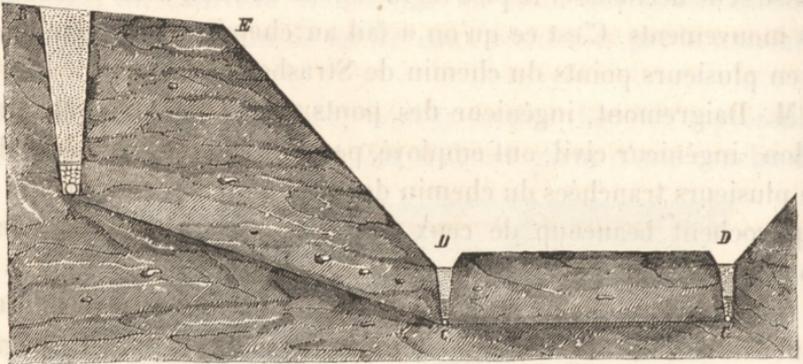


Fig. 52.

ment), le point A doit être descendu assez bas pour que le massif asséché A B C D E, reposant sur le plan incliné A C, et s'appuyant contre la partie solide C D C' D' puisse résister à la poussée des terres situées à gauche de A B (fig. 52).

**Creusement des tranchées de drainage.** — « Il peut se présenter deux cas dans le creusement des saignées parallèles aux tranchées : ou bien l'on y rencontre peu ou point d'eau, ou bien l'on y trouve des suintements abondants.

« Le premier cas se présente assez fréquemment et ne prouve pas que le travail soit inutile ; car on opère généralement pendant la saison sèche, et les terrains perméables peuvent alors être tout à fait exempts de l'eau qui les sature en hiver. Nous avons réussi dans cette circonstance à supprimer entièrement les blindages en remplaçant les saignées continues par une série de fosses oblongues A, A', A'', séparées par des massifs B, B', etc., d'environ 4<sup>m</sup>,50 d'épaisseur : on perce ensuite ces massifs par-dessous sur une longueur de 0<sup>m</sup>,75 de chaque côté, opération que tout ouvrier terrassier peut faire aisément (fig. 55).

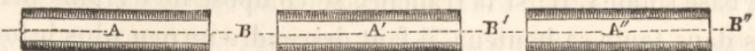


Fig. 55.

« Dans le deuxième cas, c'est-à-dire si l'on rencontre dans la

saignée une quantité d'eau notable, le procédé de blindage naturel cesse d'être applicable; il faut alors attaquer le travail par l'aval, en le blindant avec plus ou moins de soin, suivant la nature du sol; mais, dans cette hypothèse, et en admettant que la saignée ait quelque profondeur, on se dispense de retirer toutes les terres de la fouille, et, en disposant l'atelier convenablement<sup>1</sup>, on économise 60 pour 100 sur la dépense. Ajoutons qu'en tous cas la saignée a juste la largeur nécessaire pour permettre aux ouvriers de travailler; il ne faut pas dépasser 0<sup>m</sup>,50 dans le fond.

**Pose des tuyaux de drainage.** — « A mesure qu'une portion de tranchée auxiliaire se trouve à profondeur, on y pose des tuyaux de drainage, qui doivent présenter une pente bien uniforme; nous n'avons admis aucune inclinaison inférieure à 0<sup>m</sup>,005 par mètre, bien qu'on descende souvent à 0<sup>m</sup>,005 dans le drainage agricole; mais nous avons pensé qu'en raison de l'importance du travail il valait mieux nous tenir au-dessous de la pente-limite adoptée par les draineurs, afin d'être bien assuré d'éviter tout engorgement dans les tuyaux. Par le même motif, nous n'avons employé pour les drains longitudinaux que des tuyaux d'au moins 0<sup>m</sup>,065 de diamètre, quand même ces tuyaux n'avaient à débiter que quelques litres d'eau par jour<sup>2</sup>.

« Le drain longitudinal est toujours entouré de matière filtrante; quand les eaux sont peu abondantes, ces matières filtrantes sont simplement de la terre végétale ou du gazon, qu'on étend au fond de la fouille sur une épaisseur de 0<sup>m</sup>,30 environ; on emploie aussi le sable ou la terre sableuse, quand on en a sous la main. Mais, dans les cas les plus difficiles, on a recours au gravier, ou bien à la pierre et à la brique cassée; on n'en met jamais qu'une couche assez épaisse pour être sûr que le tuyau ne sera pas envasé.

« On a également soin de mettre de la mousse, des roseaux ou du gazon à chaque joint de tuyaux, afin d'empêcher l'introduction de l'eau trouble dans le drain.

<sup>1</sup> Voir pour l'organisation du chantier les documents du *Portefeuille*.

<sup>2</sup> Tous les tuyaux (à l'exception de quelques tuyaux d'un grand diamètre, faisant office de conduite) ont été posés sans manchons; l'emploi des manchons paraît dangereux quand on pousse fortement les terres

« On pratique ensuite dans la paroi de la tranchée de drainage opposée au chemin de fer une série de rainures verticales, dans lesquelles on place des tuyaux de drainage ; ceux-ci sont garnis de roseau à leur joint ; on les arrête à quelque distance ( $0^m,50$  à  $1$  mètre) du sol, et l'on bouche le dernier tuyau avec un tampon de roseaux ; à la partie inférieure, ces drains communiquent avec le drain longitudinal ; on les espace de  $2$  en  $2$  mètres, et on leur donne un faible diamètre ; nous avons adopté celui de  $0^m,037$ .

**Comblement de la tranchée de drainage.** — « Cette opération terminée, on remplit la fouille avec les terres qui en ont été prinitivement extraites, en les pilonnant avec le plus grand soin ; on arrive ainsi à couper toutes les veinules perméables existant dans le terrain naturel, et à former une sorte de batardeau qui arrête les eaux de filtration et les fait descendre dans les tuyaux de drainage.

« Si l'on néglige de pilonner fortement les terres, elles se tassent bientôt, se gercent, et, à la première pluie qui survient, les eaux remplissent la saignée, se troublent en traversant ce sol fraîchement remué, bouchent les tuyaux de drainage, et donnent lieu à des éboulements beaucoup plus considérables que si l'on avait laissé les choses à l'état naturel ; c'est ce qui nous est arrivé par la faute d'un chef d'atelier dans une tranchée.

« Pour se mettre complètement à l'abri de pareils accidents, il est bon de faire visiter, après chaque pluie, les tranchées de drainage déjà remblayées, et de faire recharger en terre pilonnée toutes les parties qui se sont fendues et ont éprouvé des tassements.

**Des fossés supérieurs.** — « On sait que les fossés supérieurs placés sur la crête des tranchées pour arrêter les eaux pluviales et empêcher le ravinement des talus constituent pour les tranchées un danger permanent, et donnent lieu à des éboulements considérables, en raison de la stagnation des eaux, quand on n'a pas le soin de leur donner une grande pente, chose souvent difficile, et de les entretenir en très-bon état. Rien de pareil n'est à craindre avec le système d'assainissement que nous venons de décrire, pourvu que l'on place les fossés supérieurs un peu au delà



obstrué, mais on ne pourrait pas savoir en quel point, et l'on se-

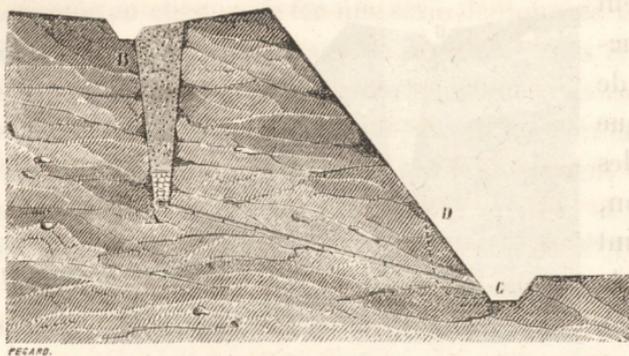


Fig. 56.

rait exposé à recommencer entièrement un travail coûteux. Il faut donc nécessairement établir de distance en distance des drains transversaux A C, ayant pour objet de mettre en communication le tuyau longitudinal A avec la tranchée du chemin de fer (fig. 56).

**Drainage de la plate-forme.** — « Mais il se présente alors un autre inconvénient : les eaux de filtration, très-abondantes dans quelques tranchées, et coulant, été comme hiver, dans les fossés, ramollissent peu à peu la plate-forme, rendent la voie mauvaise, et provoquent au pied des talus des éboulements fréquents, tels que CD : ces éboulements comblent le fossé, arrêtent les eaux, et le mal se propage avec rapidité ; on se trouve dès lors conduit à perreyer le pied des fossés, solution coûteuse et insuffisante.

« En admettant même qu'il n'y ait pas d'eaux de filtration reçues dans les fossés d'une tranchée, il arrive souvent, si cette tranchée a peu de pente, que les eaux pluviales y séjournent et produisent les effets ci-dessus décrits : en outre, l'inclinaison transversale de la plate-forme étant et ne pouvant être que très-faible, le dessous des traverses reste toujours humide, et, comme ces traverses fléchissent au passage de chaque train, elles pétrissent peu à peu la glaise de la plate-forme, et la voie finit par être détestable.

« Ces différentes considérations nous ont engagé à drainer la plate-forme de toutes les tranchées glaiseuses, opération qu'on a déjà pratiquée en Allemagne avec le plus grand succès ; nous avons placé un drain sous chaque fossé du chemin de fer ; cette disposition nous a paru plus efficace que celle qui consiste à poser un seul drain dans l'axe de la voie. On nous a, il est vrai, objecté qu'en

faisant ainsi une coupure au pied du talus nous risquions de provoquer des éboulements ; mais, jusqu'à présent, cela ne nous est point arrivé, et, en ayant soin de bien pilonner les remblais au-dessus des tuyaux, ils deviennent en quelques jours, et comme tout le reste de la plate-forme, aussi durs que l'aire d'une grange.

« Les tuyaux de la plate-forme se posent comme les autres, avec plus ou moins de matières filtrantes suivant les cas : ils reçoivent, au moyen de drains transversaux dont il a été question plus haut, les eaux de filtration venant des drains supérieurs ; enfin, tous les 100 mètres, on placera un petit regard maçonné au-dessus des drains de la plate-forme (fig. 57), afin de recueillir les dépôts qui pourraient se former, et de s'assurer si tout le système fonctionne bien. Ajoutons que ces regards ne devront guère être visités que pendant un certain nombre de mois après l'achèvement des travaux ; car un drain bien établi ne s'engorge jamais, et, quand on aura réparé les malfaçons qui auraient pu se produire, la surveillance deviendra presque entièrement inutile.

« Nous avons fixé à 1<sup>m</sup>,20 la profondeur moyenne des drains en contre-bas de la plate-forme, et nous n'avons fait en cela qu'imiter ce que l'on a exécuté sur les chemins allemands, et ce que l'on a adopté en Angleterre pour le drainage agricole.

*fond du fossé*

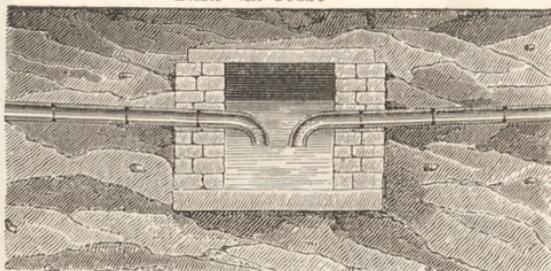


Fig. 57.

« Il est du reste reconnu en France, par tous les auteurs qui ont écrit sur le drainage, que, dans les terres fortes, on ne doit pas poser les tuyaux à moins de 1<sup>m</sup>,20 ; or il est bien évident qu'une plate-forme de chemin de fer doit être asséchée au moins aussi bien qu'un champ, qui doit toujours conserver une certaine humidité favorable à la végétation ; aussi pensons-nous avoir fait le strict nécessaire en adoptant la profondeur de 1<sup>m</sup>,20. Ajoutons que les drains de la plate-forme sont distants d'environ 10 mètres, ce qui

correspond à peu près à l'espacement adopté en agriculture.

**Cas où il existe une couche aquifère sous la plate-forme.** — « Nous avons parlé au commencement de cette note d'un cas qui se présente fréquemment, celui où il existe une nappe d'eau qui n'est pas coupée par la tranchée, et qui est douée d'une pression assez forte pour soulever la plate-forme si elle est imperméable, et pour la transformer en bouillie si elle est perméable. Il faut toujours faire quelques sondages pour examiner si l'on n'a pas cette difficulté à combattre, et, si l'on reconnaît l'existence d'une couche aquifère, il faut tâcher de savoir ce qu'elle peut débiter de litres d'eau par minute. Ce point difficile une fois fixé, on assainit la plate-forme en descendant le drain A (fig. 58) au milieu de la couche aquifère; il est bon en ce cas de ne pas économiser les blindages et les matières filtrantes. Il faut toujours mettre le drain A du côté du drain supé.

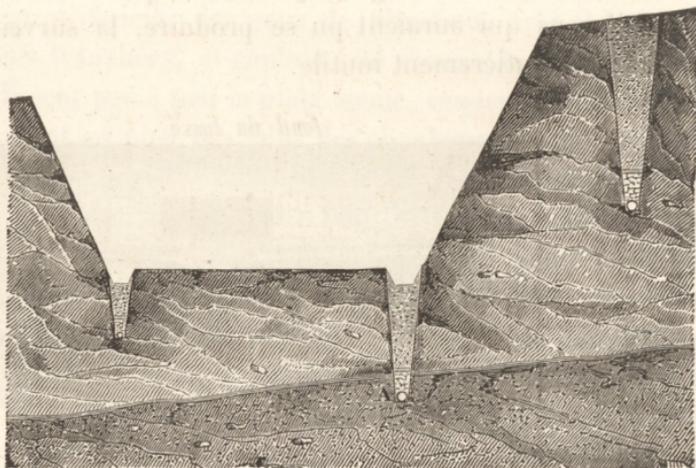


Fig. 58.

rieur, c'est-à-dire du côté où le sol est le plus élevé : tout le succès de l'opération dépend d'ailleurs du diamètre du tuyau A ; si ce diamètre se trouvait insuffisant, la sous-pression de la couche aquifère ne serait pas détruite, et le travail serait à recommencer.

**Inclinaison des talus des tranchées.** — « En terminant ces généralités relatives aux assainissements, nous dirons que, dans notre opinion, on peut toujours ou presque toujours donner aux talus de déblai l'inclinaison de  $45^{\circ}$ , si on les assainit par les moyens que

nous avons développés ; si nous avons donné à un certain nombre de talus de tranchées l'inclinaison de 1<sup>m</sup>,50 de base sur 1 mètre de hauteur, c'est que nous avons besoin de terre pour les remblais ; mais, lorsque cette circonstance ne s'est pas présentée, nous avons adopté l'inclinaison de 45°. Pour un déblai de 6 mètres de profondeur, en augmentant ainsi la roideur de la pente de 0<sup>m</sup>,50 par mètre, on économise 18 mètres cubes, c'est-à-dire 27 francs par mètre courant de tranchée, en appliquant le prix payé à MM. Parent et Schaken : c'est plus que ne coûtent l'assainissement et le revêtement des talus, même dans des cas difficiles. »

L'assainissement de la plate-forme, si important, comme l'indique M. Daigremont, a présenté au chemin de Wissembourg de grandes difficultés qui ont été heureusement surmontées par M. Goschler. Nous reviendrons plus loin sur le travail exécuté par cet ingénieur.

Mais, auparavant, nous comparerons les différents procédés employés pour l'assainissement des talus.

**Comparaison des différents procédés.** — M. Chaperon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur du chemin de Lyon, ne partage pas l'opinion de M. Sazilly sur les causes des éboulements. Voici dans quels termes il s'exprimait dans les *Annales des ponts et chaussées*<sup>1</sup> :

« Si l'on examine attentivement la forme du terrain dans les coteaux argileux, on reconnaît que le relief actuel du sol ne s'est établi qu'à la suite d'une série séculaire de mouvements dans les couches supérieures, et que la masse tout entière ne présente même qu'un équilibre instable, fréquemment troublé à la suite des dégels et des longues pluies. Cet équilibre momentané ne se maintient qu'à la condition que les parties supérieures trouvent leur appui sur les parties inférieures du terrain, en sorte qu'il est détruit par la moindre modification apportée dans le relief du sol.

« Si, dans un semblable terrain, on vient à ouvrir une tranchée, quelque peu profonde qu'elle soit, les conditions d'équilibre se trouveront brusquement rompues, et des mouvements auront lieu,

<sup>1</sup> Année 1853, 2<sup>e</sup> cahier

sinon au moment même de l'opération, du moins à une époque ultérieure plus ou moins éloignée, lorsque les pluies ou le dégel auront pu ramollir la glaise et en diminuer la cohésion. L'eau qui tombe à la superficie du sol trouve toujours en effet des fissures ou des couches perméables par lesquelles elle s'introduit au sein même des masses argileuses, dont la solidité se trouve ainsi considérablement diminuée à certaines époques.

« La rupture d'équilibre des masses glaiseuses, telle est, à notre avis, la cause prépondérante des grands éboulements et des glissements à grande distance qui sont si fréquemment la suite de l'ouverture des tranchées dans les coteaux en pente douce des terrains argileux. Pour arrêter de pareils mouvements ou pour les prévenir, nous ne croyons pas qu'il y ait d'autre moyen d'étayer le massif dont on affaiblit le pied en y creusant une tranchée que de suppléer par un contre-fort artificiel à la poussée naturelle des terres que l'on a enlevées. Aussi d'habiles ingénieurs n'ont-ils pas hésité à construire au pied des talus de déblai ouverts dans les terrains glaiseux des murs de soutènement à pierres sèches fort épais, qui, tout en assainissant le terrain supérieur, pussent rétablir par leur masse l'équilibre dont les conditions avaient été profondément modifiées par l'ouverture de la tranchée. Ces murs de soutènement n'ont du reste pas besoin de s'élever au niveau du sol naturel; il suffit que leur hauteur permette d'adoucir convenablement les talus, eu égard à la nature des terrains dans lesquels la tranchée est ouverte. »

Nous ne sommes pas entièrement de l'avis de M. Chaperon; nous pensons bien comme lui que la rupture d'équilibre des masses produite par l'ouverture des grandes tranchées tend à produire les éboulements; mais nous reconnaissons aussi la grande influence des causes signalées par M. Sazilly. Les faits prouvent assez cette influence. Le procédé Sazilly, appliqué dans un grand nombre de tranchées au chemin de Paris à Strasbourg, au chemin de Wissembourg et au chemin de Mulhouse, a presque toujours donné d'excellents résultats. Celui que préconise M. Chaperon, au contraire, appliqué dans la grande tranchée de Gagny, concurremment avec le procédé Sazilly, a été l'occasion de dépenses considérables<sup>1</sup>, et cha-

<sup>1</sup> A la tranchée de Gagny, les murs de soutènement avec contre-forts en pierre sèche

que jour il faut réparer à grands frais les murs de soutènement, qui ne résistent qu'imparfaitement à la pression des terres, malgré leurs dimensions considérables.

Il est vrai que les murs en pierre sèche tels qu'ils ont été construits à la tranchée de Gagny soutiennent le pied des talus sans en préserver la surface des influences atmosphériques. Il vaut mieux recouvrir le talus comme on l'a fait à la tranchée de Sèvres, ainsi que l'indique la figure 30, page 379.

On a dit que le procédé Sazilly était inapplicable dans un grand nombre de cas. On a prétendu que, lorsque l'eau affluait à grandes masses et sur toute la hauteur des talus, l'autre procédé était seul praticable. Si le procédé Sazilly n'a pas réussi dans certains cas, cela tient sans doute au peu d'expérience de ceux qui l'ont essayé. M. Bruère l'a appliqué sur trente ou quarante tranchées, soit sur le réseau de l'Est, soit sur d'autres lignes, le plus souvent avec succès.

M. de Regel a déclaré qu'il regrettait d'avoir employé dans la tranchée de Soultz le procédé que nous avons décrit, et qui n'a pas été complètement efficace. Il nous a dit que, dans un terrain à peu près semblable, il avait appliqué à beaucoup moins de frais le procédé Sazilly.

Le mode d'assainissement des tranchées de Soultz, Petit-Croix, etc., ne peut que s'opposer à l'action des eaux intérieures, mais il ne remédie pas à l'effet des gelées, de la pluie et de la sécheresse sur les talus.

S'oppose-t-il même complètement à l'action des eaux intérieures? C'est ce qui peut paraître douteux, surtout après les accidents survenus aux talus de la tranchée de Soultz, accidents dont nous parlerons plus loin.

Si l'on adopte la grande tranchée d'assainissement en amont, les terres pilonnées sont souvent traversées par les masses d'eau, et le massif n'est qu'imparfaitement asséché.

Quant à ce qui est de la dépense, elle peut être modérée quand le fossé d'assainissement en amont n'est pas d'une grande profon-

ont revenus à 240 fr. le mètre courant, tandis que les talus, assainis par la méthode de M. Sazilly, n'ont coûté que 100 fr.

deur, comme à la tranchée de Petit-Croix ; mais elle augmente rapidement avec la profondeur.

Sans donc prétendre que le procédé Sazilly est applicable dans tous les cas, nous pensons qu'il peut être souvent pratiqué avec succès. Le procédé de la tranchée de Petit-Croix est préférable peut-être quand la masse d'eau est considérable, et que la totalité du terrain en est pénétrée.

Le meilleur mode d'emploi des murs en pierre sèche consiste à construire le mur sur le talus en soutenant le pied par des voûtes qui bordent le fossé.

Quant au procédé d'assainissement par voie de collecteurs appliqué par M. Ledru, il est fondé sur le même principe que le procédé Sazilly. Il n'en diffère essentiellement que par la réunion des eaux de toute la tranchée dans un seul collecteur et par la substitution des tuyaux de drainage aux pierrées.

La recommandation que fait M. de Sazilly d'établir les pierrées suivant la direction des couchés aquifères ne peut s'appliquer que sur les points où le talus présente réellement des alternances un peu apparentes de couches diversement perméables. Mais dans les puissantes formations marneuses, telles que celles que l'on trouve sur le chemin de Blesmes à Gray, ces alternances ne sont plus reconnaissables, toute la masse paraît également détremée, ou bien les points où les suintements sont le plus abondants se fondent sans transition sensible avec le reste du talus. C'est ce qui a conduit à dessécher par les collecteurs toute la surface du talus en rapprochant seulement davantage les drains dans les parties les plus humides.

« L'emploi du collecteur central, fait observer M. Ledru, a ce grand avantage d'absorber immédiatement toutes les eaux qui séjournent ordinairement dans les tranchées argileuses; les drains qui débouchent souterrainement dans ce collecteur sont immédiatement à l'abri de toute obstruction et de toute avarie. L'assèchement des talus est immédiat et complet, et les déblais sont peu détremés par les eaux, ce qui est très-important pour la confection des remblais. Le collecteur assèche le fond de la tranchée et assure au ballast une assiette ferme et sèche là où autrement on aurait eu à le répandre sur une aire de boue.

« Enfin, lorsque les eaux suintent à la surface du talus par une multitude de petites ouvertures, la gelée peut facilement obstruer ces issues, l'eau s'accumule derrière, et, au dégel, il peut en résulter des éboulements dans les talus. Lorsque toutes les eaux de la tranchée débouchent souterrainement dans un collecteur unique, elles forment généralement une source qui coule d'une manière continue avec assez d'abondance pour être à l'abri de toute obstruction produite par l'action de la gelée. D'ailleurs, le débouché unique du collecteur est placé à 1<sup>m</sup>,50 au moins en contre-bas du niveau de la plate-forme des terrassements et au delà de l'extrémité de la tranchée; il est facile d'en prévenir l'engorgement, et, cet engorgement eût-il lieu, il ne pourrait avoir aucune suite fâcheuse, puisque le collecteur débouche dans un fossé spécial ouvert à la surface du terrain naturel.

« Quant à l'engorgement souterrain du collecteur, il n'est pas à craindre lorsque ce collecteur, fait avec des drains de 85 millimètres de diamètre, est recouvert d'une couche de pierres sèches suffisante pour assurer l'écoulement de l'eau par leurs interstices dans le cas même de l'obstruction du drain lui-même. »

Le mode de drainage de M. Lalanne a bien réussi sur tous les points du chemin de Blesmes à Gray ou du chemin de l'Ouest (Suisse) où il a été employé.

Il a le grand avantage d'assécher le talus beaucoup plus profondément que les drainages ordinaires, il n'exige aucun autre transport de matériaux que celui des drains eux-mêmes, son exécution est partout facile et ne gêne en rien les autres travaux de chantier.

On peut proportionner l'espacement des trous, et, par conséquent, la dépense, à l'effet produit par chacun d'eux, et, au plus ou moins d'humidité de chaque partie du talus, on peut toujours facilement intercaler de nouveaux tuyaux là où apparaissent des suintements non constatés primitivement.

Mais ce mode de drainage ne peut être appliqué qu'à un terrain vierge, qui ne présente aucune trace de glissements, car le moindre mouvement interromprait immédiatement la continuité des drains. Il exige, en outre, un caniveau au moins gazonné sur le talus pour

l'écoulement des eaux de chaque drain; il est à craindre que la gelée n'obstrue facilement les débouchés multipliés de tous ces drains, que l'eau ne s'y amasse et que le dégel n'occasionne des éboulements.

Ce procédé a été employé depuis trop peu de temps pour que l'on puisse présumer comment il se comporterait dans un hiver rigoureux; mais l'on a remarqué, au chemin de Blesmes à Gray, un fait qui pourrait faire craindre cet effet de la gelée, en même temps qu'il confirme la théorie de M. de Sazilly sur l'importance de prévenir toute obstruction superficielle de l'écoulement des eaux.

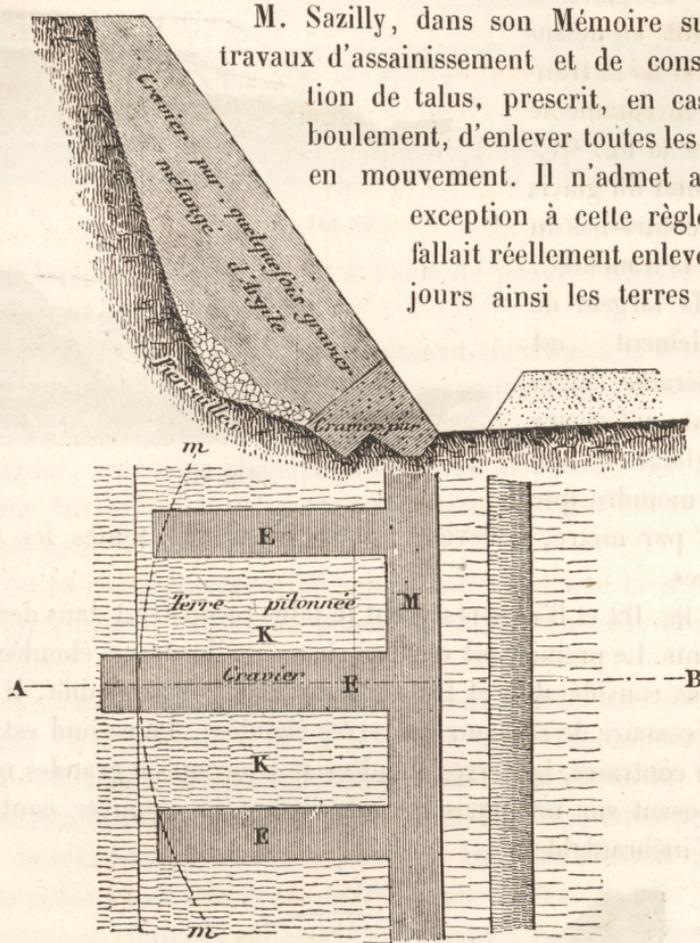
Un certain nombre de trous avaient été forés dans le talus gauche d'une grande tranchée, et n'avaient pas été garnis immédiatement de drains, faute d'approvisionnement. Au bout de quelques jours, on a pu voir que le talus commençait à se mettre en mouvement, et, en l'examinant de plus près, on a reconnu que la terre qui avait glissé du talus avait, en partie, obstrué le débouché des trous de tarière, formant une petite cuvette dans laquelle s'amassait et pénétrait la masse du talus, au lieu de couler à la surface. Il est vrai qu'il a suffi d'enlever à la main une ou deux poignées de terre à l'orifice de chaque trou, pour donner écoulement aux eaux et pour arrêter tout mouvement.

**Reconstruction des talus éboulés dans les tranchées.** — Quelquefois, quand on a négligé d'assainir les talus ou quand les travaux d'assainissement n'ont pas été exécutés convenablement, des portions de talus plus ou moins considérables s'éboulent, et il faut le reconstruire. On suit pour cela différentes méthodes dont nous allons chercher à donner une idée nette.

La figure 59 représente une première méthode employée sur le chemin de Londres à Birmingham.

Les lignes courbes de la coupe et *mm* du plan représentent la surface d'éboulement. En avant de ces lignes on trouve le talus reconstruit. Le mur est en pierres sèches pour en soutenir le pied et laisser couler les eaux; les épis en pierres sèches *EE* livrent passage aux eaux et divisent le talus en masses indépendantes

K K composées de bonnes terres pilonnées et maintenues en place par le frottement.



M. Sazilly, dans son Mémoire sur les travaux d'assainissement et de consolidation de talus, prescrit, en cas d'éboulement, d'enlever toutes les terres en mouvement. Il n'admet aucune exception à cette règle; s'il fallait réellement enlever toujours ainsi les terres ébou-

Fig. 59.

lées, les travaux de consolidation deviendraient, dans certains cas, énormes et excessivement coûteux; mais, ainsi que l'observe avec justesse M. Bruère cette opération, dans la plupart des circonstances, n'est nullement nécessaire. Il ne faut enlever la totalité des terres ébouloées, dit M. Bruère, dans les notes qu'il a bien voulu nous fournir, que si l'éboulement est peu considérable; on recon-

struit alors le talus comme l'indique la figure 60, qui reproduit un travail exécuté à la tranchée de Briel sur le chemin de Mulhouse, le fond des glacis se trouvant au-dessus du fond de la tranchée, ou comme le montre la fig. 61, si le fond du glacis est en contre-bas du sol de la tranchée<sup>4</sup>.

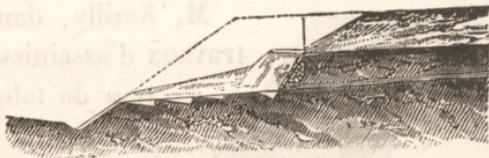


Fig. 60.

Si la largeur de l'éboulement est considérable, et si la pente inférieure des glacis a une pente moindre que

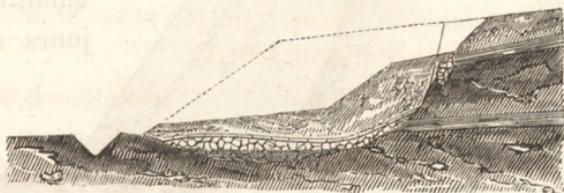


Fig. 61.

0<sup>m</sup>,20 par mètre, il devient inutile d'enlever toutes les terres éboulées.

Les fig. 62 et 63 représentent le talus reconstruit dans deux cas différents. Le premier est celui où, la masse des terres éboulées n'étant pas considérable et la pente du glacis étant faible, il n'est pas nécessaire de soutenir les terres éboulées. Le second est celui où, au contraire, les terres éboulées se trouvant en grandes masses et reposant sur un glacis incliné, il faut les appuyer contre un massif inébranlable.

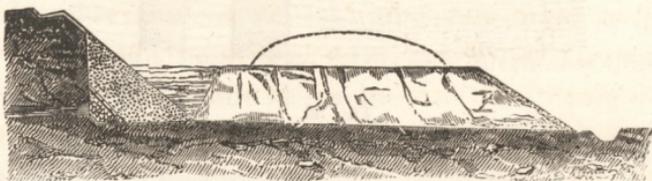


Fig. 62.

On donne à ce massif ABCD une épaisseur plus ou moins grande, suivant que la pression est plus ou moins forte, et on a soin de ménager un écoulement aux eaux qui pourraient pénétrer dans la

<sup>4</sup> Voir page 174 la description des travaux de ce chemin.

masse éboulee. Il est utile aussi de mettre de distance en distance la pierrée en arrière du massif ABCD en communication avec le

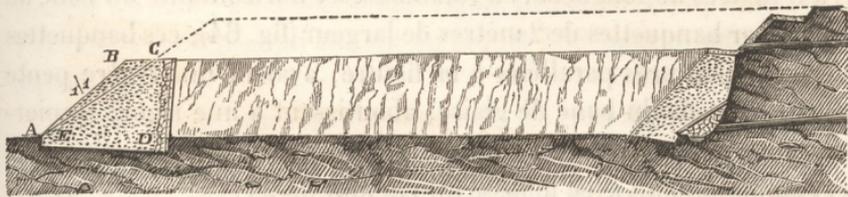


Fig. 65.

fossé qui longe le chemin de fer à l'aide de pierrées transversales qui traversent le massif ABCD.

Nous avons parlé d'accidents qui étaient survenus à la tranchée de Soultz et qui avaient nécessité la reconstruction de certaines parties des talus. La note suivante, empruntée à un rapport de M. Goschler, ingénieur principal au chemin de fer de l'Est, qui a lui-même fait exécuter cette reconstruction, indique les moyens employés pour rétablir le talus.

« C'est au commencement de septembre 1854 que la tranchée dite d'assèchement établie en amont de la tranchée de Soultz a été terminée.

« A ce moment-là, il n'y avait d'éboulement bien sérieux que celui au piquet 164, à l'entrée de la tranchée vers Wissembourg; la tranchée était à profondeur et à largeur dans cette partie-là.

« Cet éboulement consistait en un massif de 50 mètres de longueur, détaché sur 15 mètres environ de largeur, glissant sur un banc de glaise ayant une pente de  $0^m,18$  par mètre.

« Comme on comptait sur les effets de la tranchée d'assèchement et qu'on espérait voir s'arrêter les mouvements de ce massif, on s'est contenté de combler la fissure produite en y pilonnant des terres avec soin.

« On établit aussi en amont et parallèlement à la fissure une banquette en revers d'eau destinée à détourner les eaux pluviales qui auraient pu s'introduire dans les terres disloquées du massif en mouvement et reproduire le glissement. On continuait toujours à mettre la tranchée à fond suivant le profil modifié, quand, après une série de jours de pluie, le massif s'est remis en mouvement et

glissa jusque dans la tranchée; le mode suivi pour arrêter cet éboulement a été de remanier le massif par zones transversales de 5 à 8 mètres de longueur, en rétablissant l'horizontalité du banc de glaise par banquettes de 2 mètres de largeur (fig. 64); ces banquettes étaient à peu près parallèles à la fissure, avaient une légère pente opposée à celle du banc de glaise, aboutissant à une rigole empierrée pour rendre les eaux à d'autres rigoles normales à la tranchée et communiquant avec le fossé du chemin de fer.

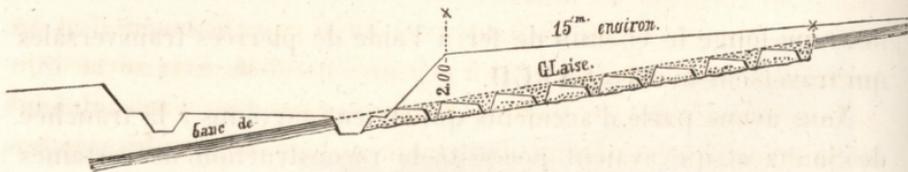


Fig. 64.

« La glaise extraite des banquettes a été enlevée et mise en dépôt; la bonne terre seule a été employée pour combler l'éboulement. Ce travail a été exécuté par zones ou parties pour éviter les grands mouvements de terre.

« Ce même travail a été fait sur 60 mètres de longueur; le résultat a été très-bon, il n'y a eu aucun mouvement nouveau dans cette partie-là.

« A la suite de l'éboulement dont il vient d'être question (au profil 163<sup>a</sup>), le banc de glaise a pris, et presque subitement, une inclinaison beaucoup plus forte, c'est-à-dire une pente de 0<sup>m</sup>,60 à 0<sup>m</sup>,70 par mètre. Dans cette partie, il n'apparaissait aucune partie de glaise dans le talus ni dans le fond de la tranchée; on croyait n'avoir aucun éboulement à craindre; ce n'est que lorsque la tranchée a été tout à fait à fond et les fossés ouverts que l'éboulement s'est manifesté; le poids du massif en mouvement sur une pente aussi forte a soulevé et déplacé le fond de la tranchée.

« Deux autres éboulements, au profil 162 et au profil 162<sup>a</sup>, sont dans les mêmes conditions que le précédent, et ont été réparés et garantis de la même manière en faisant un caniveau *b* (fig. 65) au haut du banc de glissement, et en recouvrant celui-ci d'un matelas général de gravier que l'on prolongeait au-dessous du plafond de la tran-

chée jusqu'aux terres ébouées. Comme le niveau des fossés ordinaires du chemin de fer était beaucoup au-dessus des points d'où sortent les eaux, on a établi une rigole profonde et empierrée dans l'axe de la tranchée qui aboutit au piquet 159 pour se jeter dans la Saltzbach.

« Cette rigole, qui reçoit les eaux de ces trois éboulements 165<sup>a</sup>, 162<sup>a</sup> et 162, et de deux bouches de la grande tranchée d'assèchement, donne encore aujourd'hui 8 à 900 litres d'eau par heure. Au profil 165, sur 75 mètres environ de longueur, l'éboulement s'est produit sur 1<sup>m</sup>,50 de hauteur et aussi par glissement; en cet endroit la couche de glaise est à peu près parallèle à la surface du sol; le massif glaiseux, haut de 4 mètres environ au-dessus du fond de la tranchée, est partagé dans toute sa hauteur par des couches de sable de 0<sup>m</sup>,05 à 0<sup>m</sup>,20 d'épaisseur.

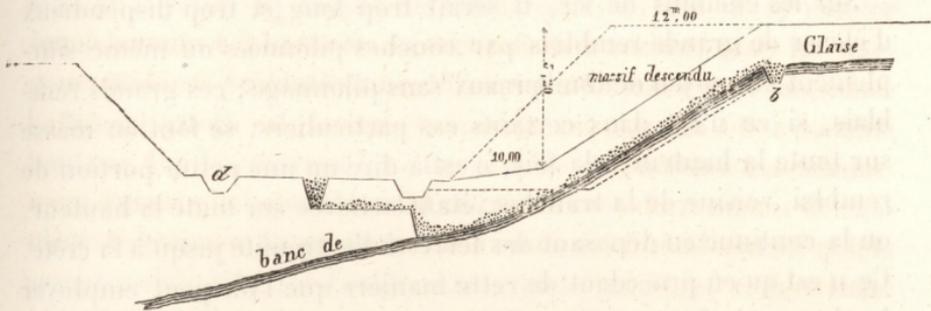


Fig. 65.

« Le massif paraît être en communication avec la tranchée d'assèchement, car, aussitôt que le caniveau (a) a été fait sur la couche supérieure (où s'est produit le glissement), il n'y a plus eu d'eau apparente dans les diverses couches de sable et de glaise qui composent ce massif; la tranchée a conservé son profil normal sur la longueur et la hauteur du massif.

« Je crois que les eaux pluviales, qui sont tombées dans l'espace de 15 mètres au moins de largeur moyenne compris entre l'arête supérieure du talus et la tranchée d'assèchement, ont contribué à une partie des éboulements. Quant aux éboulements des profils 165<sup>a</sup>, 162<sup>a</sup> et 162 (fig. 66), leur cause est suffisamment expliquée par l'inclinaison extraordinaire de la couche de glaise : cette couche de

glaise, n'étant mise à jour sur aucun point bas, a pu conserver assez d'eaux anciennes pour donner à la surface de la glaise toute l'onctuosité qui a provoqué le glissement. »

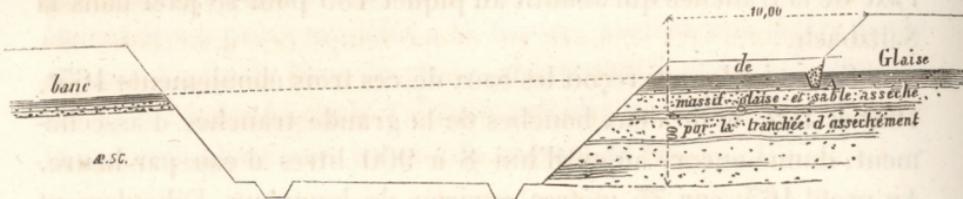


Fig. 66.

**Construction des remblais.** — Les remblais des routes et des canaux s'exécutent ordinairement par couches successives que l'on prescrit quelquefois de pilonner, et qui, dans tous les cas, sont comprimées par les roues des tombereaux et par les pieds des chevaux.

Sur les chemins de fer, il serait trop long et trop dispendieux d'élever de grands remblais par couches pilonnées ou même simplement au moyen de tombereaux sans pilonnage ; ces grands remblais, si ce n'est dans certains cas particuliers, se font en masse sur toute la hauteur à la fois, c'est-à-dire qu'une petite portion de remblai, voisine de la tranchée, étant achevée sur toute la hauteur, on la continue en déposant des terres à l'extrémité jusqu'à la crête. Ce n'est qu'en procédant de cette manière que l'on peut employer le chemin de fer au transport des terres ; la pose de la voie se fait alors sur le remblai au fur et à mesure de son avancement, et les waggons de terrassement viennent se décharger à l'extrémité de la voie, qui est aussi celle du remblai.

Il n'est ici question que de remblais qui, étant d'une grande hauteur, sont aussi d'une certaine longueur ; car, lorsque la terre n'est portée en remblai qu'à une petite distance, il est souvent plus économique de se servir, pour les terrassements, de tombereaux que de waggons. Les remblais exécutés au tombereau sont d'ailleurs plus divisés et sujets à de moins grands tassements que ceux exécutés avec des waggons. Il ne faut pas oublier, d'un autre côté, que l'emploi des tombereaux devient souvent impossible dans certains terrains après de grandes pluies, tandis que le service des waggons ne souffre aucune interruption.

Quand les remblais sont conduits avec précipitation et par masses d'une grande hauteur au-dessus et autour des ouvrages d'art, il arrive fréquemment que les maçonneries se fendent ou se gauchissent. Ils doivent donc être faits dans ce cas avec beaucoup de précaution, être montés en même temps des deux côtés des voûtes en maçonnerie, et étendus uniformément sur ces voûtes par couches pilonnées d'environ 25 centimètres d'épaisseur.

Lorsque de grands remblais reposent sur des terrains compressibles, il est nécessaire d'employer des précautions analogues pour ne pas écraser le terrain ni le rompre en chargeant tout d'un coup certains points d'une masse excessive.

Il convient aussi, lorsque ces terrains compressibles sont composés de couches inclinées, qui peuvent glisser les unes sur les autres, de commencer le remblai en descendant les terres dans le fond de la vallée au moyen de tombereaux, au lieu de le monter immédiatement à hauteur, au sortir de la tranchée, avec les wagons. Mais ces précautions ne suffisent pas toujours pour empêcher l'affaissement du sol, lorsque le remblai est parvenu à une certaine hauteur. Un des moyens les plus simples de prévenir cet affaissement autant que possible est d'élargir la base du remblai, de manière à diminuer la pression sur l'unité de surface autant que la compressibilité du sol l'exige. Les grands remblais, malgré cette précaution, pénètrent encore à une assez grande profondeur dans le sol. Ainsi, au chemin de Mulhouse, le grand remblai de la Meance près Provins, cubant 500,000 mètres cubes, et haut de 15 mètres au maximum, a pénétré de 5 mètres dans le sol. Le cube enfoui est d'environ 200,000 mètres cubes, soit  $\frac{2}{5}$  mètres environ du cube total.

Lorsque le terrain, aux abords des remblais, est couvert de constructions ou qu'il est très-précieux, ce procédé serait trop dispendieux. On peut rendre le terrain incompressible en le desséchant (remblais sur le chemin de Munich à Augsburg<sup>1</sup>), ou encore on diminue le poids du remblai en le composant de matériaux légers et qui laissent entre eux des vides (remblais aux abords du pont de Cubzac). Le dessèchement du sol s'opère au moyen de rigoles, pierrees, aqueducs, puits absorbants, etc., etc.

<sup>1</sup> Voir page 191 la description des travaux de ce chemin.

Au chemin de fer de Versailles (rive gauche), l'ingénieur en chef, M. Bergeron, a arrêté le glissement d'une couche de glaise sur laquelle était placé un grand remblai (fig. 67) par un procédé fort ingénieux que nous allons décrire.

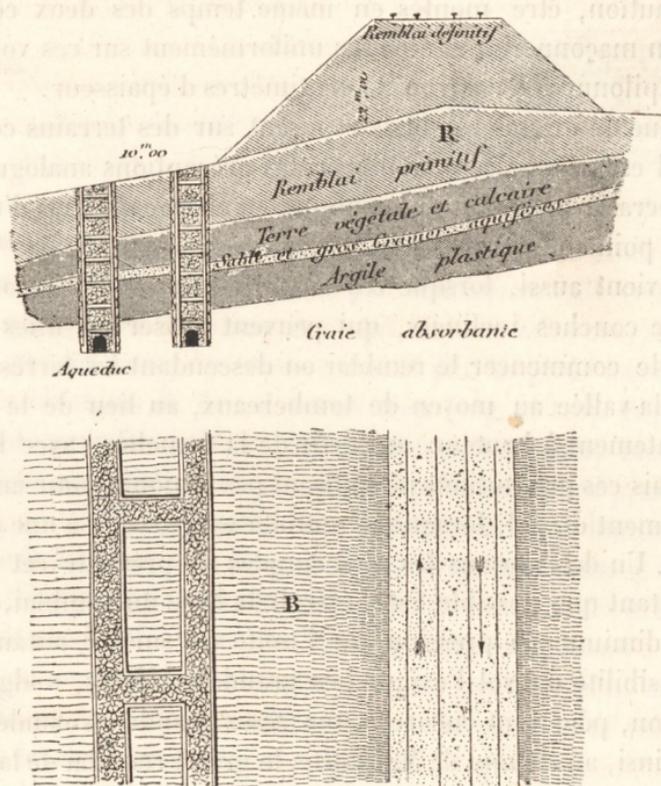


Fig. 67.

Les eaux d'infiltration et de sources qui remplissaient une couche de sable et de gravier, au-dessus d'un banc très-épais d'argile plastique, rendaient le sous-sol glissant et compressible. Malgré un grand nombre de tentatives, il avait été impossible de terminer le remblai projeté, et la traversée du Val-Fleury s'est faite à l'aide de deux estacades en charpente reliant les deux culées du viaduc au flanc du coteau. Après sept années d'usage, les estacades n'offrant plus assez de sécurité pour le passage des trains du chemin de fer, il a fallu revenir au projet définitif et employer des moyens convenables pour rendre le sous-sol résistant. Ce but a été atteint par

deux pierrées parallèles à l'axe du chemin, espacées de 10 mètres, régnaient sur toute la base du remblai, et creusées verticalement au moyen de blindages et d'étrésillonnements jusqu'à 12 ou 15 mètres de profondeur. Ces deux pierrées étaient reliées entre elles par des pierrées transversales. En quelques points, la couche d'argile plastique avait plus de 8 mètres d'épaisseur.

Les eaux se sont écoulées, par de petits aqueducs établis au fond et le long de toutes les tranchées, jusque dans un puisard général creusé profondément dans la craie absorbante, où elles ont disparu.

Les pierrées ont produit un resserrement dans la couche aquifère au-dessus du banc d'argile, et tout le massif, de 10 mètres d'épaisseur, compris entre les tranchées parallèles, s'est trouvé complètement asséché, et a agi comme mur de soutènement, pour contenir le glissement du terrain supérieur.

C'est au moyen de ce procédé que les estacades du Val-Fleury ont pu être remplacées par le remblai définitif, très-élevé, sur lequel passe aujourd'hui le chemin de fer de l'Ouest.

Sur le même chemin, près de la station de Sèvres, un remblai en argile, exécuté par un temps humide, tendait sans cesse à s'écraser. Malgré tous les soins que l'on avait pris de pilonner les couches de glaise et de les assécher avec des couches de sable pour faciliter l'écoulement des eaux souterraines, des affaissements brusques avaient eu lieu fréquemment, et plusieurs fois il avait fallu déplacer l'axe du chemin de fer. On a employé alors avec succès des boulons en fer traversant tout le remblai à 2 mètres environ au-dessous de la voie de fer, et terminés aux extrémités par des plateaux en bois de chêne, contre lesquels venaient s'appuyer les terres glissantes. Ces boulons faisaient ainsi l'effet des boulons en fer que l'on pose dans les édifices pour relier deux murs verticaux parallèles qui tendent à s'écarter. Cependant, après plusieurs années, ce remblai boulonné a encore éprouvé des glissements à sa partie inférieure, et l'on y a définitivement remédié, d'un côté, par une pierrée semblable à celle du viaduc du Val-Fleury, et, de l'autre, par une ligne de pieux et planches jointifs enfoncés, au moyen de la sonnette, tout le long de la base de la portion glissante du remblai, comme l'indique la figure 68.

Les remblais composés de terres glaiseuses, lors même qu'ils reposent sur des terrains incompressibles, sont sujets à s'affaisser ou à s'ébouler. Il faut, pour les contenir, bien dessécher la glaise et la préserver en même temps de l'effet des eaux pluviales et de celui des eaux de source. On arrête les eaux pluviales en enveloppant le

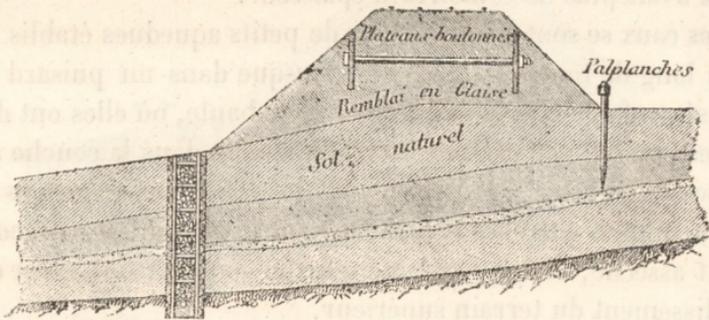


Fig. 68.

remblai d'une couche de bonne terre pilonnée avec soin, de telle façon que l'intérieur seul soit de glaise, et l'on détourne les eaux de source du pied du remblai au moyen de fossés, d'aqueducs ou d'autres travaux du même genre.

Les remblais glaiseux doivent aussi être pilonnés, et, autant que possible, élevés en bonne saison. Enfin on a trouvé avantageux d'interposer des couches de sable entre les assises de glaise.

**Reconstruction des remblais éboulés.** — Les talus de remblais aussi bien que ceux des tranchées s'éboulent quelquefois après l'achèvement du remblai. Voici comment, au chemin de Mulhouse, on les a reconstruits en pareil cas.

**Causes des éboulements de remblais.** — Les éboulements de remblais sont souvent occasionnés par l'interposition de couches perméables de sable ou de boue (fig. 69 et 70).

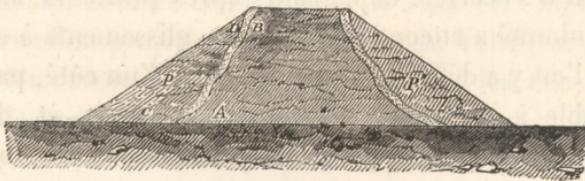


Fig. 69.

Le sable provient de couches accidentelles existant dans le terrain déblayé, la boue provient des cunettes.

Dans d'autres cas, les éboulements doivent être attribués à la dif-

férence de nature des terres qui composent le remblai, les unes perméables CD, les autres imperméables AB (fig. 69).

Les remblais au waggon se composent généralement de terres déposées

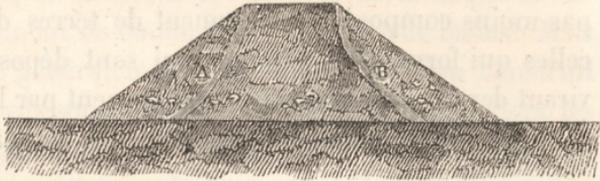


Fig. 70.

de deux manières et à deux reprises différentes. Le noyau du remblai est formé d'abord avec des terres transportées au moyen des waggons qui se déchargent en avant; ces terres, extraites dans les cunettes, contiennent proportionnellement plus de parties argileuses que celles qui forment les prismes latéraux du remblai; celles-ci sont transportées avec des waggons au moyen desquels elles sont déchargées ensuite sur les côtés.

La partie centrale du remblai est ainsi composée d'un terrain plus imperméable que celui des prismes latéraux, en raison de ce qu'il contient plus de parties argileuses à volume égal et du tassement qui s'est déjà produit par le temps et le pas-

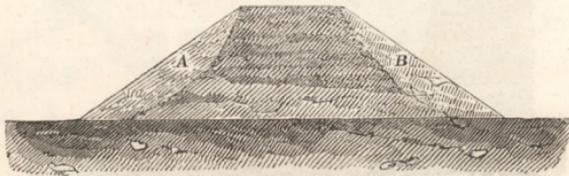


Fig. 71.

sage de waggons avant qu'on ait déposé les prismes A et B (fig. 71).

Quelle que soit la composition du remblai, il est évident que l'action de l'eau sera ici, comme dans les tranchées, la cause principale des éboulements. Les eaux traversant les couches perméables de sable ou de boue descendent jusqu'à la base, y ramollissent les terres et déterminent ainsi l'éboulement des prismes P et P'; ou bien, si la composition du remblai se rapproche de celle indiquée figure 71, il se produit des crevasses entre les terres de densité différente, et c'est par ces crevasses que l'eau s'introduit dans le corps du remblai.

De ce qui précède, il résulte que les remblais faits au tombereau sont moins sujets à s'ébouler que ceux faits au waggon, et qu'il se-

rait fort sage de mettre de côté les portions sableuses et les boues des cunettes ; mais le remblai, s'il est fait au waggon, n'en restera pas moins composé ordinairement de terres de densité différente, celles qui forment le noyau et qui sont déposées par les waggons virant devant, et celles jetées latéralement par les waggons virant de côté. On prévient les éboulements en établissant de chaque

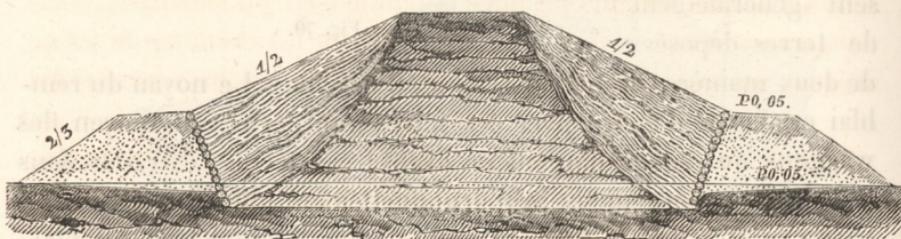


Fig. 72.

côté du remblai un contre-fort en terre végétale ou sablonneuse séparé du remblai par un empierrement (fig. 72).

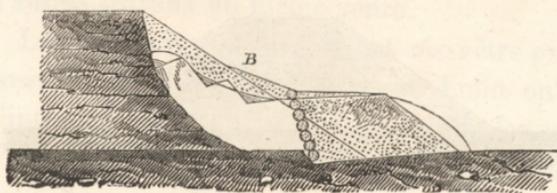


Fig. 75.

Il est plus difficile de réparer les éboulements que de les prévenir.

Pour réparer le talus, on n'enlève les terres ébouées

que sur la largeur d'une bande de terrain nécessaire à l'emplacement d'un contre-fort B (fig. 75) en terre pilonnée. Ce contre-fort sera séparé du remblai par une couche de pierres ou de fascines de gravier.

Il sera coupé de distance en distance par des saignées transversales remplies également de pierres ou de fascines. Si les terres ébouées sont humides, il convient de prolonger ces saignées au travers de ces terres jusqu'au noyau solide.

Souvent, le remblai s'affaissant, il se forme une espèce de poche au milieu de la glaise ébouée. Il faut alors se hâter de pratiquer dans la glaise des saignées transversales pour donner écoulement aux eaux qui se rassemblent dans cette poche ; mais ces travaux ne se font convenablement que dans la belle saison.

Il semble qu'étant obligé de recharger les remblais glaiseux qui s'affaissent de bonne terre ou de ballast de manière à les renouveler, pour ainsi dire, en entier, il eût été plus économique de les composer immédiatement de bonne terre ou même de ballast. Mais on doit observer que généralement, au moment où l'on construit les remblais, les abords sont difficiles, et qu'on n'a pas alors les moyens que fournit plus tard le chemin de fer lui-même d'aller chercher à une certaine distance la bonne terre ou le ballast.

**Ouvrages d'art.** — Les ouvrages d'art sur les chemins de fer ne diffèrent des ouvrages de même nature établis sur les routes ordinaires que par la grandeur de leurs proportions.

De légères passerelles en bois (fig. 74), en pierre ou en métal, sont jetées hardiment sur de profondes tranchées; des ponts en



Fig. 74.

pierre d'une grande portée et d'immenses estacades en charpente, des viaducs gigantesques, supportent les chemins de fer au passage des vallées.

**Ponts ou viaducs de différentes natures.** — Les ponts ou viaducs sont de différentes espèces : on distingue les ponts en bois, en pierre ou en briques, en fonte et en fer forgé ou en tôle. *Les ponts ou viaducs en bois sont généralement les plus économiques de con-*

*struction, mais ils sont les moins durables.* Aucun des procédés proposés pour la conservation des bois ne paraît en avoir augmenté la durée d'un grand nombre d'années. Tous ces procédés sont à l'état d'essai, et on ne peut en garantir l'efficacité que dans quelques cas particuliers que nous indiquerons en parlant de la conservation du bois pour les traverses.

La Compagnie du chemin de Rouen s'est vue obligée de remplacer ses nombreux ponts en bois par des ponts en métal, dix ou onze ans après l'ouverture de la ligne, et le pont en bois d'Asnières (chemin de Saint-Germain) a disparu après douze années seulement de service.

En Allemagne, dit M. Couche<sup>1</sup>, la plupart des ponts construits sur les chemins de fer étaient en charpente, tantôt sur piles en maçonnerie, tantôt sur palées. Une réaction s'est produite aujourd'hui contre l'introduction du bois dans les travaux d'art des grandes lignes. La durée des grands ponts en charpente sur les cours d'eau a été bien souvent au-dessous des évaluations les plus modérées en apparence. On les reconstruit aujourd'hui en pierre ou en métal.

En Autriche, toutefois, si on renonce au bois pour les ponts considérables, on continue à l'admettre pour les ouvrages d'une importance médiocre. La condamnation prononcée par l'expérience ne s'applique d'ailleurs jusqu'à présent, même pour les grandes ouvertures, qu'aux cas où le tablier doit être placé à une faible hauteur au-dessus de l'eau, et soumis ainsi à l'influence atmosphérique constamment humide. Quand il s'agit de franchir des vallées profondes, c'est-à-dire pour les viaducs, la question change de face : d'une part, la décomposition des bois n'est plus favorisée par une cause aussi puissante; de l'autre, la facilité avec laquelle les ouvrages en charpente se prêtent aux plus grandes portées est alors d'autant plus précieuse que la hauteur des piles rend leur construction fort dispendieuse. Restreinte à ce cas, l'application du bois a conservé encore une grande importance.

En Angleterre, suivant M. de Bassompierre, ingénieur des ponts et chaussées et ingénieur principal du chemin de Vincennes<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> *Annales des mines.*

<sup>2</sup> Rapport à la Compagnie de l'Est.

lorsque la pierre manque et si le fer est loin et rare, les ingénieurs n'hésitent pas devant l'emploi du bois, du moins pour la construction de viaducs sur des vallées sèches. Toutefois ces ouvrages sont ordinairement relégués sur des lignes secondaires, et, autant que possible, sur des lignes affectées spécialement à un trafic de marchandises ou à l'exploitation des houillères ou des usines.

En Amérique, aux États-Unis, au dire de M. Grenier, ingénieur principal du chemin de Strasbourg, on continue à faire emploi, même pour le passage des rivières, sur une grande échelle, d'ouvrages tout en bois ou en bois et fer.

Les ponts en pierre ou en briques sont d'une solidité à toute épreuve et d'une durée indéfinie. Ils sont, dans un grand nombre de localités, en France et en Allemagne surtout, tout aussi économiques pour des portées modérées que les ponts en fonte ou en fer, et peuvent être construits par les méthodes expéditives, usitées aujourd'hui, aussi rapidement que ces derniers.

On en trouve un très-grand nombre sur les chemins anglais, français, belges et allemands. En Angleterre et en Belgique, les ouvrages en briques sont plus communs que ceux en pierre. En Angleterre cependant, on trouve de très-beaux ouvrages en pierre, parmi lesquels nous citerons le magnifique viaduc de Durham, celui de Llangollen et celui de la Boyne à Drogheda.

*Les ponts en fonte sont élégants et souvent économiques ; mais la fonte n'offre pas les mêmes garanties de solidité que le fer forgé.* Les grandes pièces présentent souvent des soufflures qui en altèrent la qualité et dont on ne découvre l'existence que lorsqu'elles viennent à rompre. Elles sont moins élastiques que celles en fer et ne se prêtent pas aux épreuves avant leur emploi. Le travail de la fonte n'est pas aussi facile à calculer que celui du fer, et enfin les ponts en fonte n'admettent pas les mêmes portées que ceux en fer. L'usage en était assez fréquent en Angleterre il y a quelques années ; mais depuis lors, dit M. de Bassompierre, la tôle a complètement détrôné la fonte. En France, on continue à établir des ponts en fonte dans certains cas. Ainsi une partie des ponts du chemin de Lyon à la Méditerranée sont en arcs de fonte, établis dans un système propre à M. Émile Martin, de Fourchambault, et l'on est sur le point de

remplacer les ponts en bois du chemin de Rouen par des ponts en fonte dont plusieurs présentent des arches de 50 mètres d'ouverture.

En Allemagne, l'emploi de la fonte est très-restreint.

*Le principal avantage des ponts en fer ou en tôle rivée est de se prêter à l'emploi de pièces droites, pleines ou évidées, d'une immense longueur et d'une grande durée. Quelquefois économiques, ces ponts sont les seuls possibles lorsque le débouché doit avoir une hauteur constante et être d'une grande largeur.*

La mise en œuvre des tôles rivées<sup>1</sup> a pris, ces dernières années, en Angleterre surtout, un accroissement prodigieux : la construction des navires en fer, des locomotives et des ponts pour chemins de fer en a multiplié les applications à l'infini.

En France, on a aussi adopté les ponts en tôle rivée ; mais un grand nombre d'ingénieurs ne considèrent pas l'expérience faite jusqu'à ce jour des ponts en tôle comme assez concluante pour les substituer aux ponts en pierre, à prix égal et même avec une légère diminution de prix. Ils ne conseillent l'emploi de la tôle que lorsque l'économie est très-grande et que les circonstances rendent l'emploi de la pierre à peu près impossible. Ils craignent que les ponts en tôle ne se détruisent ou ne se disloquent au bout d'un certain temps par l'oxydation du métal et par le jeu des rivets.

On a, dans plusieurs ponts ou viaducs importants d'Angleterre, associé la fonte et le fer. Malgré le succès de ces ouvrages, qui supportent sans aucune altération les passages à toute vitesse des trains nombreux qui les traversent, cet emploi, déjà si restreint de la fonte n'a pas fait école dans l'art de l'ingénieur. MM. Robert Stephenson, Brunel, Fairbairn et beaucoup d'autres illustrations du corps des ingénieurs anglais repoussent énergiquement une combinaison dont ils contestent les avantages.

*En France et en Angleterre le principe de la suspension a été constamment rejeté pour les ponts sur lesquels la voie de fer doit passer ; mais il n'en est pas de même aux États-Unis, et les ingénieurs autrichiens se proposent d'en tenter l'application à quelques ouvrages nouveaux.*

<sup>1</sup> Rapport de M. de Bassompierre.

**Combinaisons diverses.** — On distingue :

Les ponts ou viaducs en bois ou en bois et fer. — Avec arcs ou fermes supportant le tablier.

*Id.* avec arcs ou fermes placés au-dessus du tablier, en totalité ou en partie, le tablier leur étant suspendu.

*Id.* droits avec parapets rigides tout en bois (*ponts américains*).

*Id.* droits avec parapets rigides en bois et fer.

*Id.* droits avec colonnettes en fonte ou en fer.

Les ponts ou viaducs en pierre ou en briques. — En plein cintre ou avec voûtes plus ou moins surbaissées.

Les ponts ou viaducs en fonte composés d'arcs ou de poutres.

Les ponts ou viaducs en fer. — Composés d'arcs en fer ou en tôle rivée.

*Id.* de poutres en fer.

*Id.* de tubes en fer (*tubulaires*).

*Id.* de treillis en fer.

*Id.* suspendus.

Les ponts ou viaducs en fer ou tôle et fonte ou diversement combinés.

**Ponts ou viaducs en bois.** — Nous citerons comme un exemple de viaducs en bois avec arcs placés sous le tablier les magnifiques viaducs du chemin de Newcastle à North-Shields, dont nous avons publié la description en 1859, dans le *Journal de l'Industriel et du Capitaliste*. Les arcs sont formés de planches superposées et clouées ensemble comme les fermes des combles du colonel Emy; elles reposent sur des culées et des piles en pierre.

Les ponts sur fermes en charpente ou estacades sont assez communs sur les chemins de second ordre de Cornouailles et des environs de Newcastle. Ces chemins, obligés de traverser souvent des contrées difficiles ou accidentées, ont donné lieu quelquefois à de belles constructions dont on admire la hardiesse et la légèreté.

Les figures 75, 76 et 77 représentent les dispositions de deux estacades extraites de la belle collection de dessins rapportée par M. de Bassompierre.

Sur le chemin de Runcorn à Sainte-Hélène, en Angleterre, on a construit une estacade en charpente disposée de telle manière que

Fig. 75.

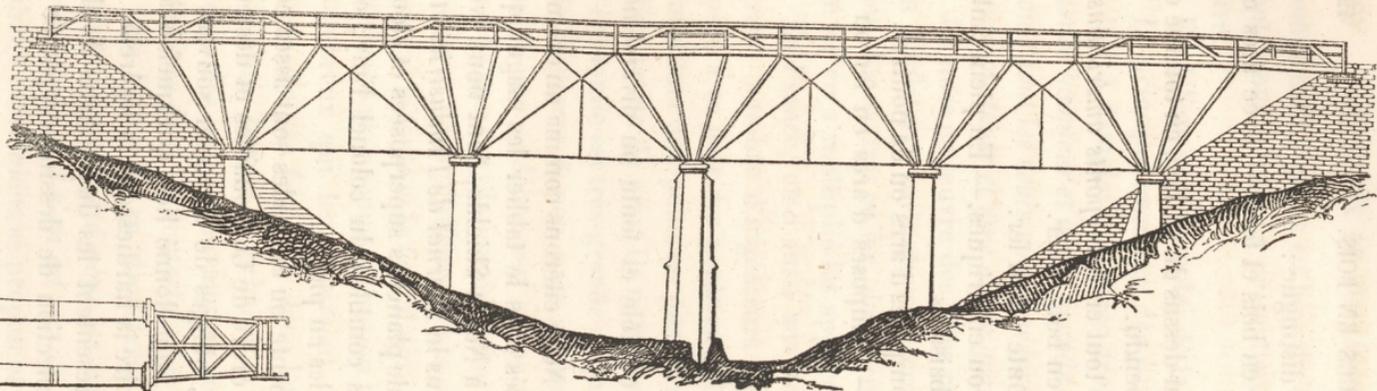
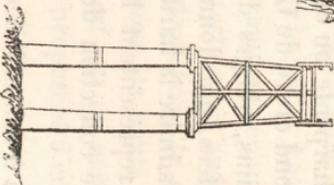
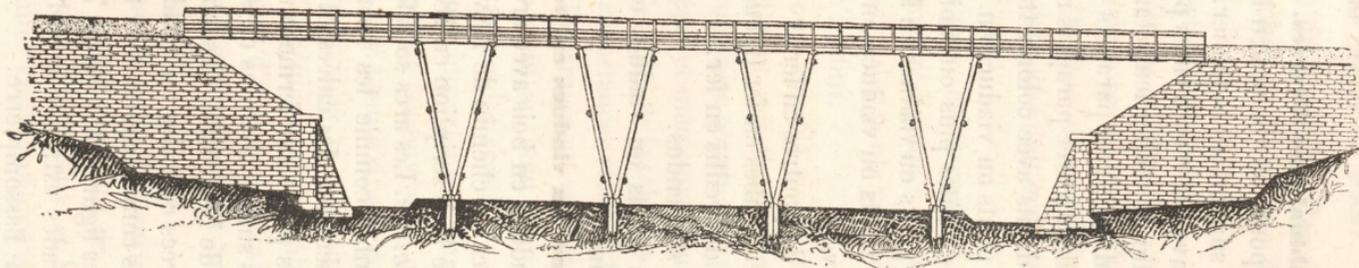


Fig. 76.

Fig. 77.



l'on a pu élever sur le même emplacement un pont en maçonnerie sans interrompre le passage des convois, et substituer ce pont à l'estacade sans qu'il y eût pour ainsi dire interruption dans le service.

Le pont en tôle du chemin de Saint-Germain à Asnières a été également construit en entier dans l'intérieur du pont provisoire en charpente construit en 1848, sans qu'il y ait eu la moindre interruption dans le service des chemins de Saint-Germain, de l'Ouest, de Rouen et d'Argenteuil dont tous les convois passent sur cet ouvrage d'art.

Ce n'est guère qu'en Amérique que l'on trouve des viaducs (fig. 78) avec arcs ou fermes en bois placés au-dessus du tablier.

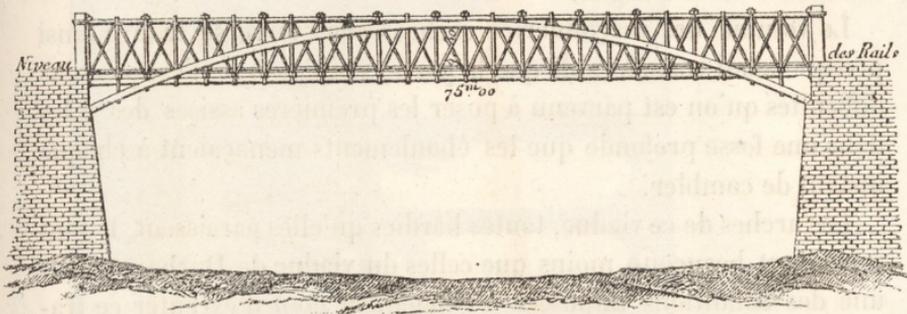


Fig. 78.

Les ponts avec parapets rigides en bois ou en bois et fer sont assez communs en France.

Les ponts avec tabliers en bois portés par des colonnettes en fonte ou en fer se rencontrent assez fréquemment sur nos chemins de fer français, où ils servent au passage des routes en dessus. Les colonnettes ne sont cependant pas sans danger quand elles sont trop rapprochées de la voie, et elles gênent dans le voisinage des stations pour le service de l'exploitation. Il faut autant que possible les éviter, ce qui est généralement facile, en donnant de la rigidité au tablier ou en le suspendant.

**Ponts ou viaducs en pierre.** — Nous avons déjà fait mention du viaduc de Durham. Il a 40 mètres de hauteur maxima, et il est composé de quatre arches, dont une a 49 mètres d'ouverture, et

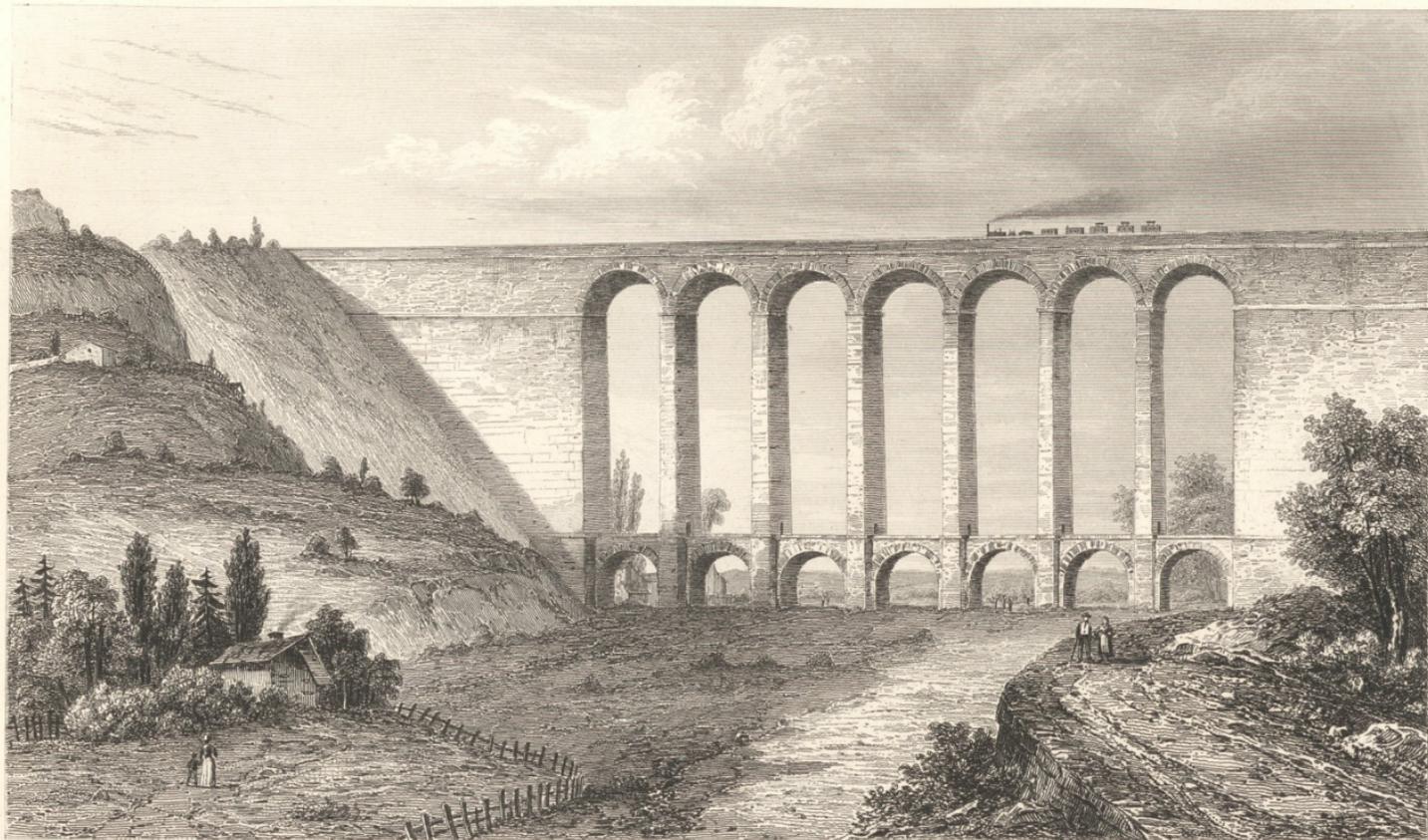
une seconde 45 mètres. Celui de Göltsch, en Allemagne, dont la hauteur maxima est de 80 mètres, et la longueur de 578 mètres, est aussi fort remarquable.

Le viaduc en pierre représenté ci-contre (fig. 79) a été construit par M. Payen, inspecteur général des ponts et chaussées, sur le chemin de fer de Versailles (rive gauche), dans le Val-Fleury, près Meudon. Le fond de la vallée est composé d'un terrain argileux fort mou, couvert de quelques couches calcaires. Il eût été de la plus grande imprudence d'asseoir un pareil monument sur une base aussi peu résistante, ainsi que quelques-uns le conseillaient, et M. Payen jugea, avec raison, qu'il était de toute nécessité, quelle que dût être la dépense, de descendre les fondations jusqu'au banc de craie inférieur à celui d'argile.

Le volume des maçonneries cachées sous terre se trouve ainsi presque aussi considérable que la partie visible, et ce n'est pas sans difficultés qu'on est parvenu à poser les premières assises des piles dans une fosse profonde que les éboulements menaçaient à chaque instant de combler.

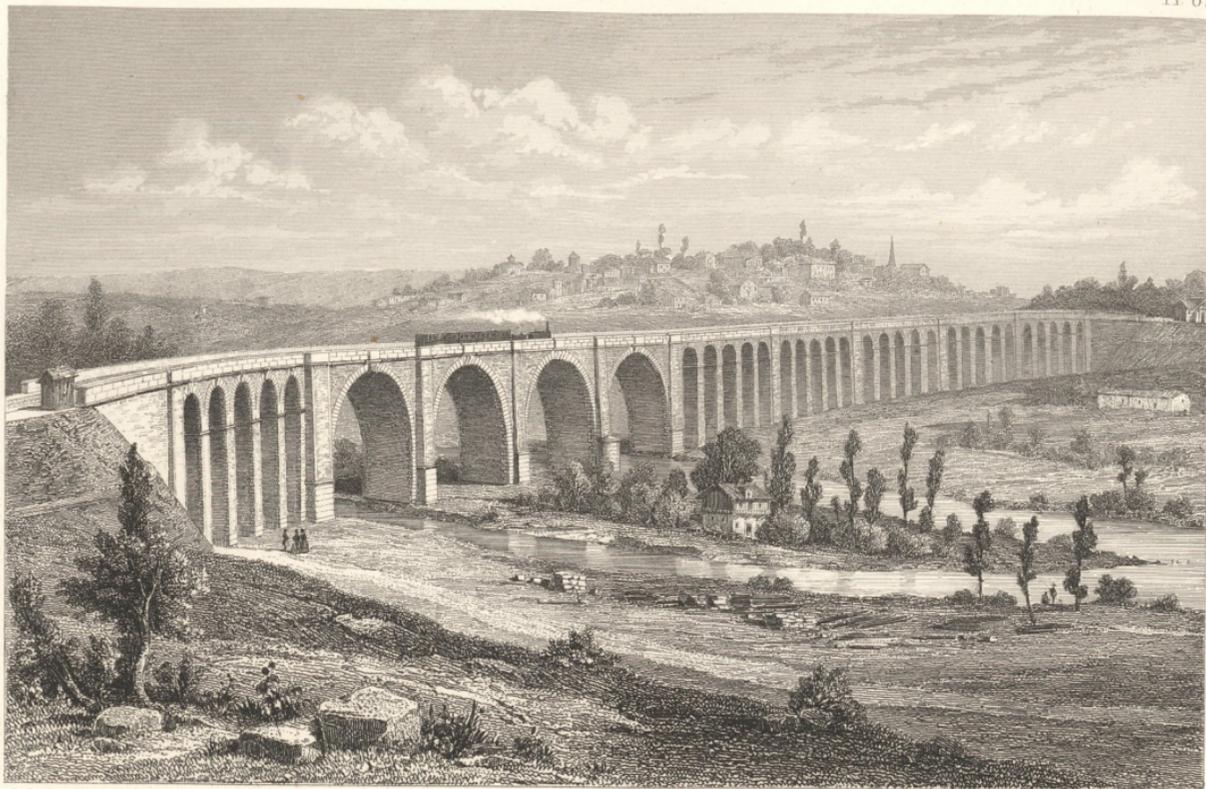
Les arches de ce viaduc, toutes hardies qu'elles paraissent, le sont cependant beaucoup moins que celles du viaduc de Durham ; mais une des conditions imposées à l'ingénieur était d'exécuter ce travail avec une extrême rapidité, et l'on conçoit aisément qu'une arche unique, de grandes dimensions, ne puisse se construire aussi rapidement qu'un grand nombre d'arches plus petites, qui forment comme autant de petits ponts distincts, que l'on peut élever simultanément. L'économie, d'ailleurs, avec une arche unique, est moins grande qu'on ne le supposerait. La diminution de dépense sur les maçonneries est en partie compensée par l'excès de frais sur les cintres.

Les convois, même les plus lourds, peuvent, sans le moindre danger, passer à toute vitesse sur des ponts en charpente d'une légèreté excessive, si les différentes pièces en sont bien combinées et bien assemblées. Nous avons dit plus haut qu'au chemin de Versailles (rive gauche) une partie des remblais, aux abords du viaduc dont nous venons de parler, avait été provisoirement remplacée par des estacades en charpente d'une excessive légèreté. Ces estacades, au premier aspect, paraissaient manquer de solidité; mais



GRAVE PAR E. WORMSER.

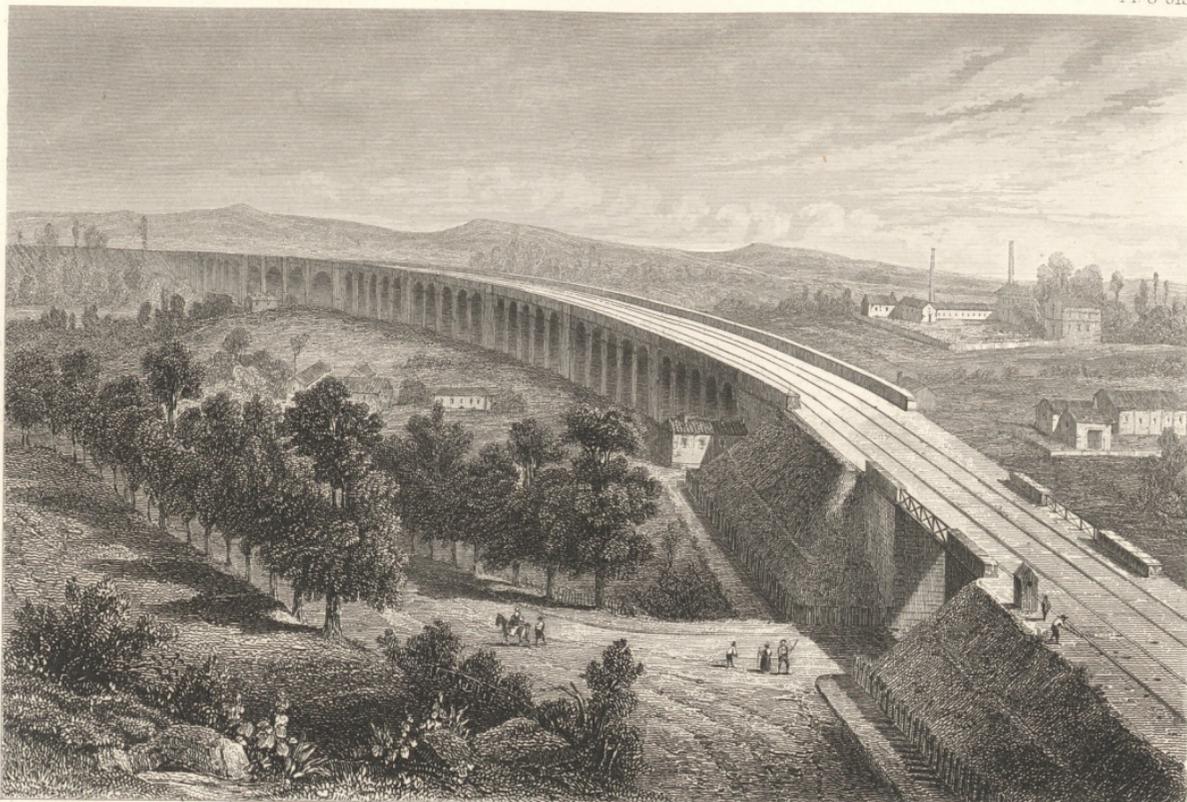
*Viaduc du Val Fleury  
Chem. de fer de Paris à Versailles (Riv. Gauche)*



L. Guignot del. et sc.

Imp. Goussier, 33, R. St. Jacques, Paris.

*Pont & Viaduc sur la Marne,*  
à Nogent près Paris.



L. Guignot del et sc.

Imp. Goussier, 53, R. St. Jacques, Paris.

*Pont & Viaduc sur la Marne,*  
à Nogent près Paris.

l'expérience a prouvé qu'elles présentaient une résistance plus que suffisante, malgré le poids, le nombre et la vitesse des convois qui chaque jour les ébranlaient par leur passage. La charpente fléchissait, mais ne se rompait pas.

Ces estacades n'étaient pas remarquables seulement par leur légèreté. Elles reposaient sur un terrain de remblai qui, à la suite de grandes pluies, glissait sur le terrain argileux qui lui sert de point d'appui. Fixées dans l'origine à ce terrain, ces estacades en suivaient tous les mouvements, se disloquaient, et ce n'était qu'à très-grands frais que l'on parvenait à les ramener dans leur position primitive. C'est alors que M. Pellet, aujourd'hui ingénieur en chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord, eut l'heureuse idée d'interposer entre l'estacade et le remblai de grandes semelles sur lesquelles on faisait mouvoir avec une aisance merveilleuse, à l'aide de simples cris, l'estacade entière, dès qu'on s'apercevait de la plus légère déviation. On appréciera tout le mérite de ce travail lors qu'on saura que le poids de cette estacade, y compris celui de la couche de sable et de la voie en fer qu'elle portait, dépassait celui de l'obélisque.

Parmi les ouvrages les plus remarquables en maçonnerie des chemins de fer français, il faut encore citer le beau pont établi pour le passage de la Marne à Nogent, près Paris, et les viaducs aux abords. Ce pont, dont les projets ont été rédigés par MM. Collet Meygret et Pluyette, ingénieurs des ponts et chaussées, sous la direction de M. Vuigner, ingénieur en chef de la Compagnie et avec les conseils de M. Mary, inspecteur général, est un des plus beaux monuments de l'art de l'ingénieur. La figure 80 montre qu'il se compose de quatre arches en plein cintre, ayant chacun 50 mètres d'ouverture. Il est établi en meulières reliées par du ciment romain. Les angles seuls et le parapet sont en pierre de taille. Les viaducs aux abords ont 62 mètres de longueur; les arches de ces viaducs ont 15 mètres d'ouverture, et 20 mètres de hauteur moyenne.

Les fondations n'ont pas été sans difficultés. On a descendu un cylindre en tôle pour se préserver de l'invasion des eaux de la Marne<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Voir les plans complets de cet ouvrage d'art et de celui de Chaumont dans le *Porte-feuille*.

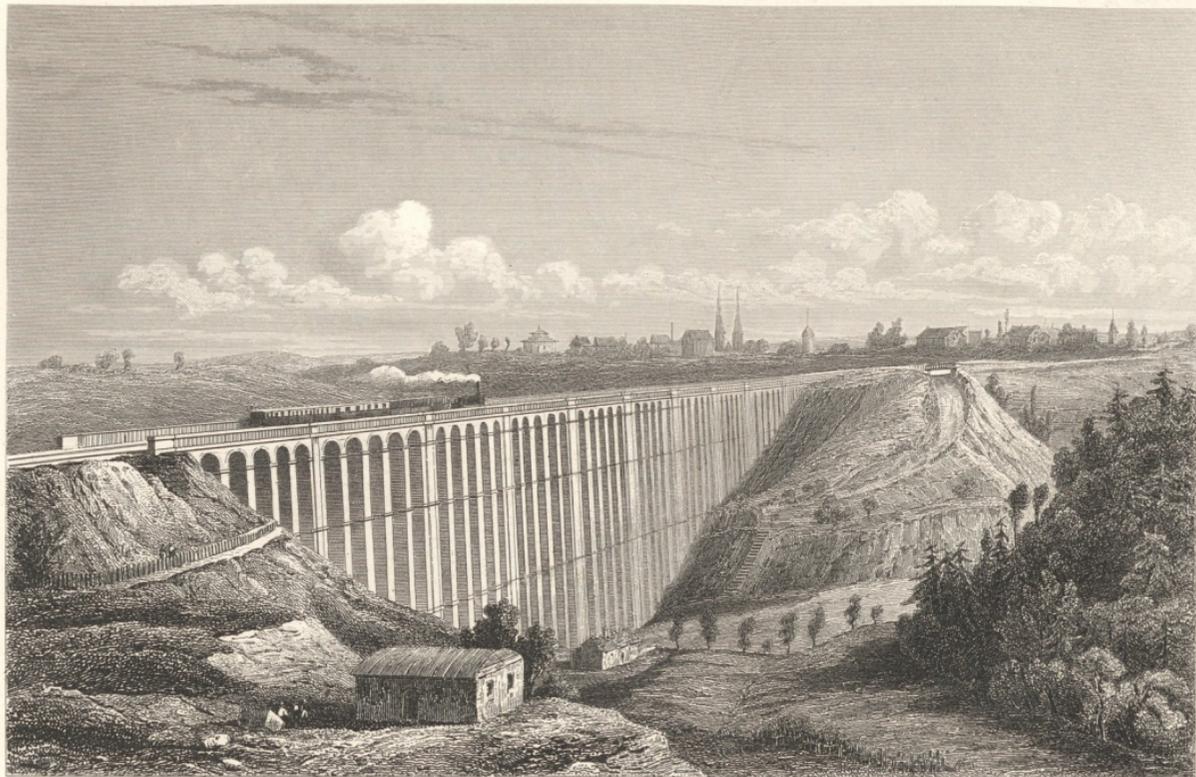
Le cintrage et le décintrage d'arches d'aussi grandes dimensions semblaient à certains ingénieurs presque impossibles. L'opération, toutefois, grâce à une méthode ingénieuse trouvée par M. Pluyette, a eu lieu avec une grande facilité.

Le viaduc de Chaumont (fig. 81), construit sur la portion du chemin de Blesmes à Gray qui lui est commune avec le chemin de Mulhouse, est aussi un ouvrage d'art fort digne d'attention. Cet ouvrage est d'une grande élégance, et il est aussi d'une extrême légèreté, puisque le rapport du vide au plein y est de 3,12, tandis que, pour d'autres viaducs, il n'est que de 1,74 ou 2,06. Long de 600 mètres, haut de 50 mètres au maximum, et cubant 60,000 mètres cubes, il a été exécuté en moins d'une année. Cette rapidité d'exécution est un véritable tour de force dont on ne peut citer aucun autre exemple. Il a fallu, pour y parvenir, travailler la nuit à la lumière électrique. Rien n'était plus curieux que la disposition des chantiers pour la construction. Ils seront décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*. Le viaduc de Chaumont fait le plus grand honneur à l'ingénieur en chef, M. Zeiller, à l'ingénieur ordinaire, M. Decomble, et aussi au chef de service des entrepreneurs, M. Gourdin, qui a déployé dans l'exécution une incroyable activité et fait preuve d'un talent incontestable.

En Allemagne, on voit peu de ponts en maçonnerie d'une grande hardiesse, et l'on y fait à peine emploi du ciment romain, dont on commence à tirer un si bon parti en France.

Les chemins de fer coupant souvent les routes ordinaires et les voies navigables sous des angles très-aigus, la construction de ces nouvelles voies de communication a conduit les ingénieurs à de grands perfectionnements dans l'établissement des ponts biaisés en pierre ou en briques. D'intéressantes notices ont été publiées sur ces ponts dans les *Annales des ponts et chaussées*, par MM. J. Poirée, Didion, Hachette, Boucher, etc.... Au chemin de fer de Ceinture, plusieurs de ces ponts ont été faits en tôle.

**Ponts en fonte.** — Les plus beaux ponts en fonte connus sont le grand pont de Newcastle, de Robert Stephenson, représenté figure 82, et le magnifique pont établi sur le Rhône, par M. Paulin Talabot, pour le passage du chemin de fer d'Avignon à Marseille.



L. Guisnet del et sc.

Imp. Goussier, 33, R. St. Jacques, Paris.

*Viaduc, sur la Suisse,*  
à Chaumont (Haute Marne).



Les arches de ce dernier pont, formées de voussoirs dont les surfaces de joint sont planes, sont au nombre de sept. Elles ont cha-

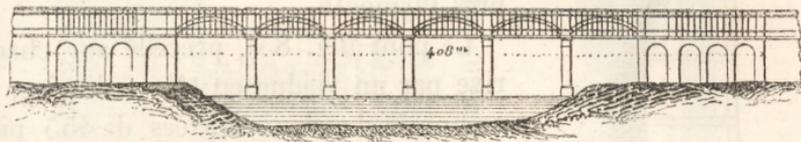


Fig. 82.

cune 65 mètres d'ouverture. Au chemin de fer du Nord, la voie traverse le canal Saint-Denis sur un pont très-biais en fonte, de 32 mètres d'ouverture, exécuté dans le système Polonceau.

Lorsque la fonte est employée sous forme de poutres, il y aurait du danger à dépasser une portée de 5 mètres.

On peut citer comme un exemple de ponts à poutres en fonte établis dans de bonnes conditions ceux du chemin d'Auteuil, construits par M. Eugène Flachet. Ils ont, entre les culées, 7 mètres de largeur, et se composent de poutres de 8<sup>m</sup>,50 de longueur, ayant de 0<sup>m</sup>,55 à 0<sup>m</sup>,60 de hauteur, placées à environ 2<sup>m</sup>,20 de distance les unes des autres et reliées par des sommiers qui partagent en trois parties égales l'intervalle de 7 mètres qui sépare les culées. Ces sommiers portent des voûtes formées de deux anneaux de briques. Ainsi disposés, ces ponts sont très-rigides. La masse de maçonnerie qui relie les poutres et le poids considérable du pont par rapport à la surcharge forment obstacle aux vibrations.

En Angleterre, quelques accidents graves ayant eu lieu dans les essais de poutres droites en fonte d'une longueur de plus de 7 à 8 mètres, le gouvernement s'en est ému à tel point, que le parlement a interdit, de la manière la plus absolue, l'emploi de ce genre de poutres<sup>1</sup>.

**Ponts ou viaducs en tôle ou fer forgé.** — La Grande-Bretagne offre peu d'exemples de la tôle employée en arcs tubulaires. Le célèbre ingénieur Brunel fils a cependant construit un magnifique pont de ce genre, dont les proportions gigantesques n'ont rien

<sup>1</sup> Rapport de M. de Bassompierre.

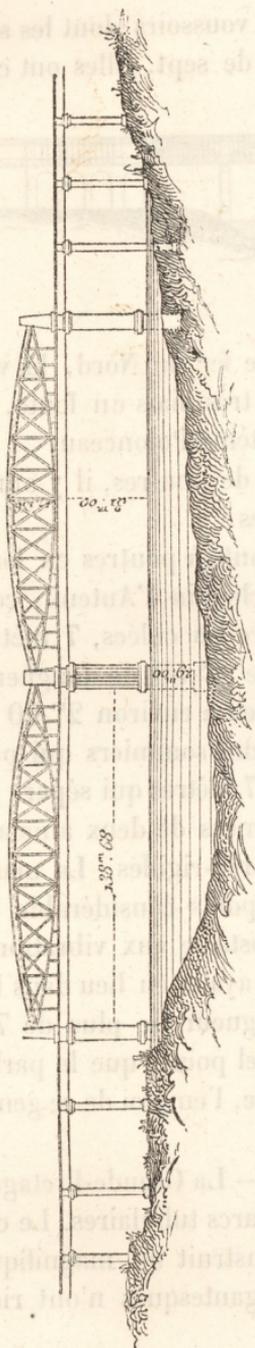


Fig. 85.

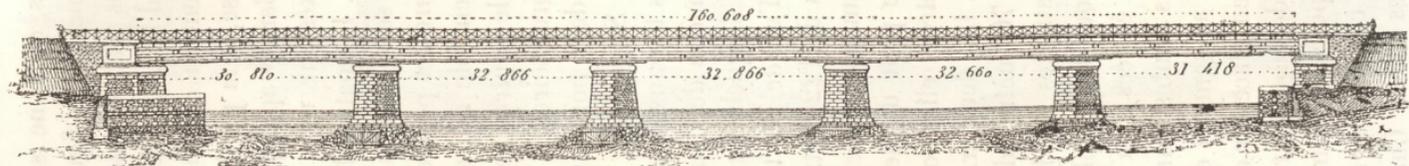
à envier à celles du Britannia-Bridge, le chef-d'œuvre de Robert Stephenson. Nous voulons parler du grand pont de Saltash, près Plymouth.

Ce pont (fig. 85), précédé sur chaque rive par un viaduc en tôle ordinaire, est composé de deux travées de 455 pieds (138<sup>m</sup>,68) chacune. Chaque travée est formée d'un arc tubulaire en tôle rivée, à section elliptique, dont les poussées horizontales sont détruites par une série polygonale de tirants en fer, de manière à former un système rigide auquel sont suspendues, par d'autres tirants en fer, deux poutres en tôle formant garde-corps de la voie unique du railway. Chaque travée a été construite complètement sur un échafaudage élevé le long du rivage et dont le pied baigne à haute mer. La travée achevée a été passée de l'échafaudage fixe sur un échafaudage mobile, posé sur des pontons qui approcheraient la travée du pied des piles, au haut desquelles elle a été hissée au moyen de presses hydrauliques.

Dans cet immense ouvrage, la fonte n'est employée que dans le revêtement des piles au-dessus des hautes mers.

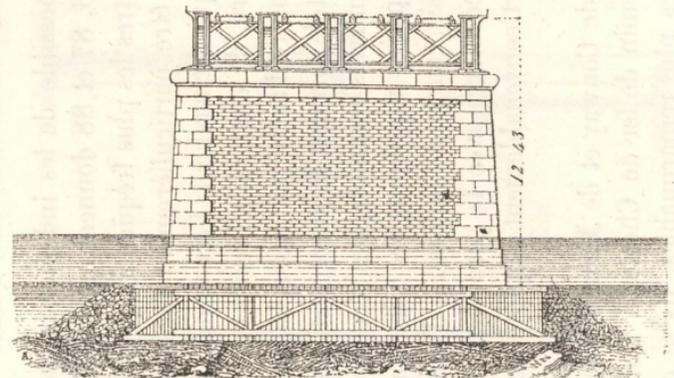
On trouve quelques cas isolés, mais pour des ouvertures ordinaires, où la tôle est employée en poutre tubulaire à section rectangulaire ou en poutre double T. Nous citerons comme exemple le beau pont en poutres de fer établi par M. Flachet à Asnières. Cette seconde catégorie admet des variétés tellement nom-

Elevation

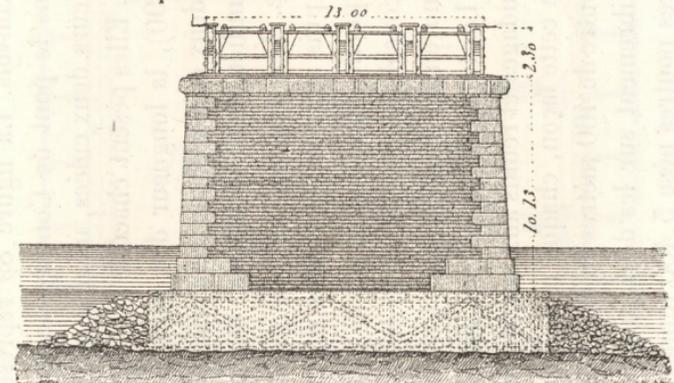


22

Coupe suivant l'Axe d'une Travée



Coupe suivant l'Axe d'une Pile



1.

Fig. 81. — Pont sur la Seine à Asnières.

breuses, qu'il ne serait pas possible de les indiquer même sommairement. Les figures 85, 86, 87 et 88 donnent une esquisse des sections transversales des poutres les plus fréquemment employées aujourd'hui. La dernière doit être particulièrement recommandée à l'attention des ingénieurs qui recherchent l'économie. Elle se compose, à la partie supérieure, de deux rails Brunel ou de deux rails Barlow appliqués l'un contre l'autre par leurs bases, et qui sont fixés sur une feuille de tôle formant la paroi verticale de la poutre. Les patins des rails sont rivés ensemble. Des recouvrements en tôle sont appliqués sur ces patins aux abouts des rails. La partie inférieure des poutres est formée, comme à l'ordinaire, d'une plat-bande en tôle reliée par des cornières avec la paroi verticale. Ce genre de poutres peut être fort convenablement employé pour des ponts provisoires.

Les deux ponts tubulaires de Conway et de Menay, établis par Robert Stephenson sur le chemin de fer de Chester à Holyhead, sont les travaux de ce genre les plus remarquables. Ils se composent chacun de deux grands tubes rectangulaires en tôle, à l'intérieur desquels passent les convois. La figure 89 représente la coupe d'un de ces tubes. Dans le pont de Conway, les poutres, longues de 122 mètres entre leurs deux culées, ne sont supportées en aucun point intermédiaire. Elles pèsent chacune 1,150 tonnes. Dans le pont de Menay (fig. 90), la longueur des poutres est de 460 mètres : elles portent sur deux culées et sur trois piles intermédiaires. Les deux travées du milieu ont 140 mètres, les deux extrêmes 70 mètres d'ouverture. Les poutres, de 140 mètres, ont été construites sur le rivage, puis amenées au moyen de radeaux au-dessous de l'emplacement qu'elles devaient occuper; enfin elles ont été élevées à la hauteur considérable de 30 mètres au-dessus des plus hautes marées, au moyen de deux presses hydrauliques placées au sommet des piles. Les tubes de 70 mètres ont été construits en place sur des échafaudages et réunis aux grands tubes au moyen de tubes de raccord; de cette façon, chaque moitié du pont se compose d'une immense poutre de 460 mètres de long, fixée sur la pile centrale et reposant librement sur les deux piles de rive et sur les culées. Chacune de ces poutres pèse 5,400 tonnes.



Fig. 85.

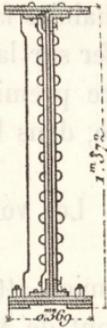


Fig. 86.

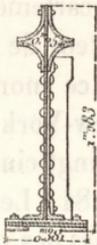


Fig. 87.

Fig. 88.

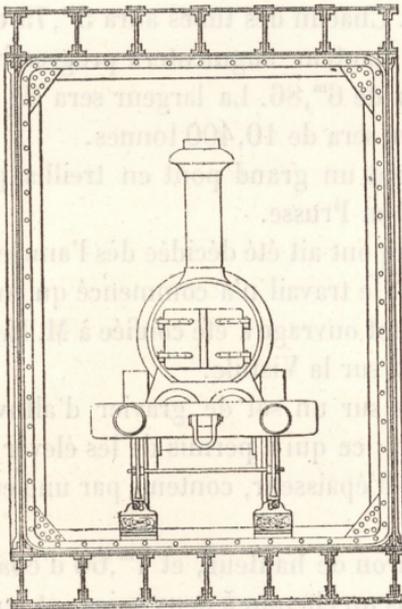


Fig. 89.

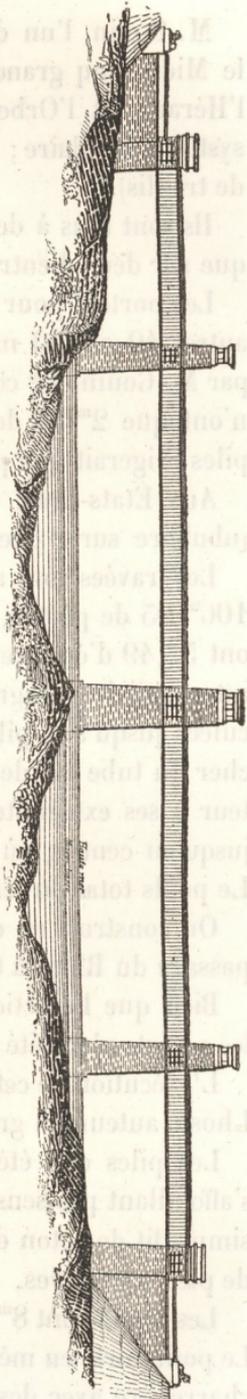


Fig. 90.

M. Gouin, l'un de nos plus habiles fabricants, a construit, dans le Midi, cinq grands ponts en fer sur la Garonne, le Lot, le Tarn, l'Hérault et l'Orbe. Les quatre premiers sont en tôle, dans le système tubulaire ; le cinquième, dans le système diagonal (espèce de treillis).

Ils sont tous à deux voies. — Les voies ne sont indépendantes que sur deux d'entre eux.

Les portées pour les trois premiers atteignent 80 mètres, pour les autres 40 ou 50 mètres. Le pont de Mâcon, construit également par M. Gouin, se compose de travées de 45 mètres. Les parapets n'ont que 2<sup>m</sup>,30 de hauteur. Un écartement plus grand pour les piles exigerait une plus grande hauteur de parapet.

Aux États-Unis, on construit en ce moment un immense pont tubulaire sur le chemin de fer de New-York au Canada.

Les travées sont au nombre de vingt-cinq, celles du milieu ont 100<sup>m</sup>,05 de portée, les autres 75<sup>m</sup>,81. Les deux piles du milieu ont 5<sup>m</sup>,49 d'épaisseur ; celles voisines des culées, 4<sup>m</sup>,57. Les piles intermédiaires augmentent graduellement d'épaisseur depuis les culées jusqu'aux piles du milieu. La distance de l'étiage au plancher du tube est de 18<sup>m</sup>,50. Chacun des tubes aura 5<sup>m</sup>,79 de hauteur à ses extrémités ; cette hauteur augmentera progressivement jusqu'au centre, où elle sera de 6<sup>m</sup>,86. La largeur sera de 4<sup>m</sup>,88. Le poids total du fer employé sera de 10,400 tonnes.

On construit en ce moment un grand pont en treillis pour le passage du Rhin, à Cologne, en Prusse.

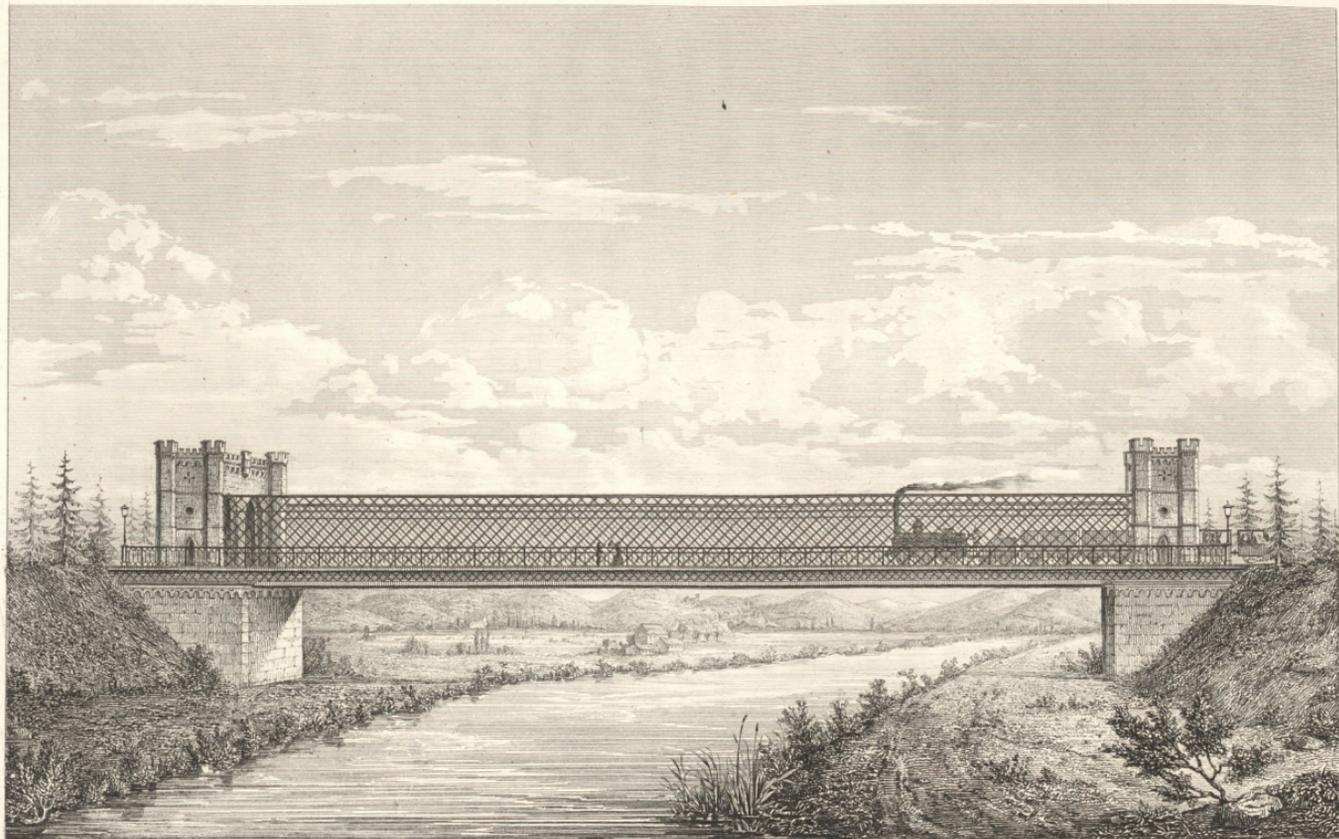
Bien que l'érection de ce pont ait été décidée dès l'année 1850, les projets n'ont été arrêtés et le travail n'a commencé qu'en 1855.

L'exécution de cet important ouvrage a été confiée à M. Hermann Lhose, auteur du grand pont sur la Vistule.

Les piles ont été fondées sur un sol de gravier d'alluvion ne s'affouillant pas sensiblement ; ce qui a permis de les élever sur un simple lit de béton de 4<sup>m</sup>,50 d'épaisseur, contenu par une enceinte de pièces jointives.

Les treillis ont 8<sup>m</sup>,50 environ de hauteur, et 1<sup>m</sup>,60 d'épaisseur. Le pont porte en même temps un chemin à deux voies, et une voie charretière avec des trottoirs. — Le chemin de fer et la voie charre-





Gravé par Guiguet Fils

*Vue latérale du pont d'Offembourg  
sur la rivière Rhin*  
1. 1/2 de Paris 1845

tière sont juxtaposés, mais sur deux ponts indépendants, bien que s'appuyant sur les mêmes piles.

La largeur du chemin de fer est de 7<sup>m</sup>,53, et de la route 8<sup>m</sup>,48.

Toutes les travées sont fixes. Le tablier est à 15 mètres au-dessus de l'étiage et à 0<sup>m</sup>,60 au-dessus des plus hautes eaux. La navigation des bateaux à vapeur cesse dès que le niveau des hautes eaux atteint 7<sup>m</sup>,85 au-dessus de l'étiage, ou 7<sup>m</sup>,15 au-dessous du tablier.

Les piles sont au nombre de trois. Elles sont écartées de 98<sup>m</sup>,25. Elles ont 6<sup>m</sup>,28 d'épaisseur.

La longueur totale du pont est de 412 mètres.

Les frais de construction de ce grand travail sont évalués à 10,323,000 fr., dont 5,625,000 fr. pour la superstructure. On y accédera par des rampes coûteuses d'établissement. On espère qu'il pourra être livré au public en 1859.

Les bases du projet de pont en treillis pour le passage du Rhin, vis-à-vis de Kehl, ont été arrêtées dans une conférence qui a eu lieu tout récemment, à Strasbourg, entre les commissaires du gouvernement français et ceux du gouvernement badois.

Ce pont aura 235 mètres de longueur totale entre les culées. Le tablier se trouvant à 1<sup>m</sup>,50 seulement au-dessus du niveau des plus hautes eaux, deux travées contiguës aux rives seront mobiles. Les passes auront 26 mètres de longueur; ces travées reposeront, par une de leurs extrémités, sur une culée, et, par l'autre, sur une pile. Aujourd'hui, la navigation n'ayant pas lieu au-dessus de Kehl, les travées mobiles sont pour ainsi dire inutiles. Elles ne sont donc destinées qu'à répondre à des besoins d'avenir.

Les piles seront au nombre de quatre, et elles seront écartées de 56 mètres de parement en parement. Les deux piles extrêmes seront en maçonnerie et auront une épaisseur de 4<sup>m</sup>,50 avec une longueur de 21 mètres. Celles intermédiaires, fondées au moyen de tubes en fonte, d'après un procédé que nous décrirons plus loin, auront 3 mètres de largeur sur 12 mètres de longueur. Le pont portera un chemin à deux voies, séparées par une entrevoie de 1<sup>m</sup>,80. On ménagera sur les côtés des passerelles pour les piétons, mais on n'établira pas de voie charretière. Les voitures continueront à passer sur le pont de bateau, qui sera conservé.

Les fondations en fonte des piles intermédiaires seront protégées par des brise-glace en chêne placés à une distance convenable en amont. La largeur du pont sera d'environ 10 mètres.

On ne trouve en Allemagne ni ponts tubulaires ni ponts sur des poutres creuses comme celui d'Asnières, mais les ponts en treillis y sont nombreux. Le plus remarquable est le pont établi sur la Vistule, à Dirshau, près de Dantzic. Il a 690 mètres de longueur et repose sur deux culées et cinq piles; l'écartement des piles est de 115 mètres de parement en parement. Il ne porte qu'une seule voie.

Nous citerons encore les ponts à treillis de la Nogat, près Mariembourg, composés de deux travées seulement, longues chacune de 97 mètres, et celui d'Offenbourg, sur le chemin badois. Nous donnons ci-contre (fig. 91 et 92) l'élévation longitudinale et celle d'une des têtes de ce dernier pont. Il a remplacé un pont en fonte de cinq arches, emporté, en 1852, par une débâcle.

Les chemins Central et Sud-Est Suisse, construits par l'habile ingénieur Carl Etzel, nous offrent des spécimens remarquables de ponts en treillis dont nous avons donné les principales dimensions en décrivant le tracé de ce chemin.

Les figures 93, 94 et 95 représentent trois de ces ponts, et on trouvera aux documents un tableau indiquant le prix détaillé de tous les ponts ou viaducs du chemin Central.

Le pont sur l'Aar (fig. 96, 97 et 98), avec voie charretière au-dessous du chemin de fer, long de 164 mètres, a coûté 1,105,600 francs, desquels 22,400 fr. ont été dépensés pour les fondations, 212,000 fr. pour la maçonnerie, 724,600 fr. pour les treillis et autres parties en fer, et le reste pour le platelage du chemin, etc.

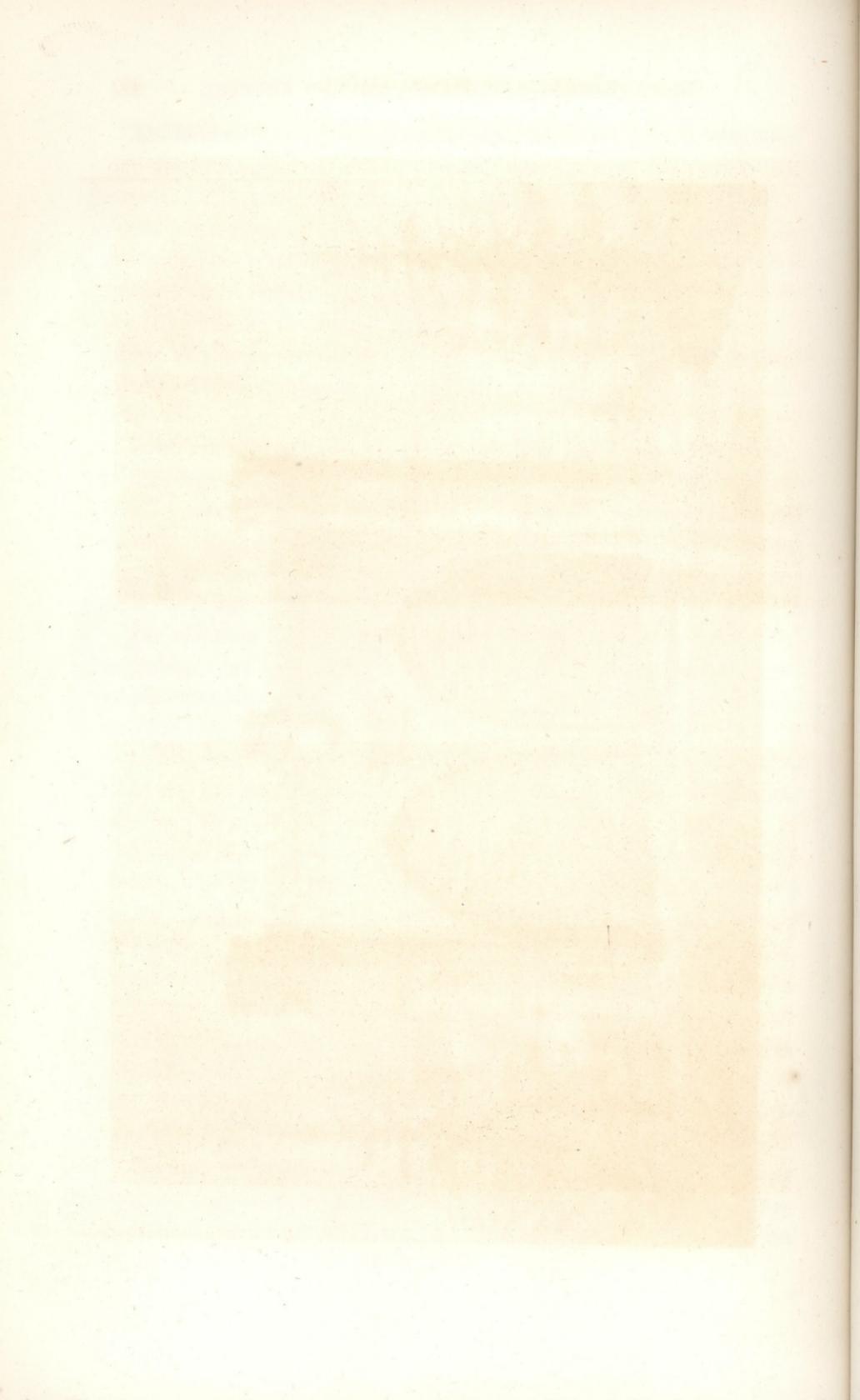
Le grand pont sur la Sitter (fig. 95), long de 160 mètres, et haut de 65 mètres, a coûté 909,640 fr., dont 54,669 fr. ont été dépensés pour les fondations, 149,811 fr. pour la maçonnerie, 261,285 fr. pour le treillis, et 408,775 fr. pour les piliers métalliques.

Lorsque le chemin est à deux voies et qu'on le fait passer sur un pont tubulaire ou à treillis, chacune des deux voies peut être supportée par un pont distinct, ou bien être réunie à l'autre par un



Gouget fils, Sc.

*Vue de tête du Pont d'Offembourg  
sur la rivière Rensung  
(Ch. de Fer Badois)*



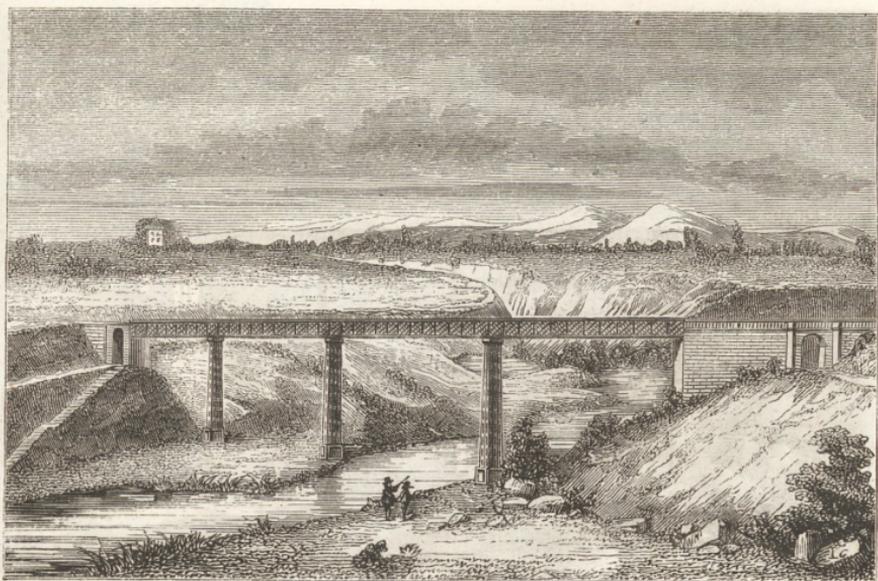


Fig. 95. — Pont de la Thur.



Fig. 94. — Pont de la Glatt.

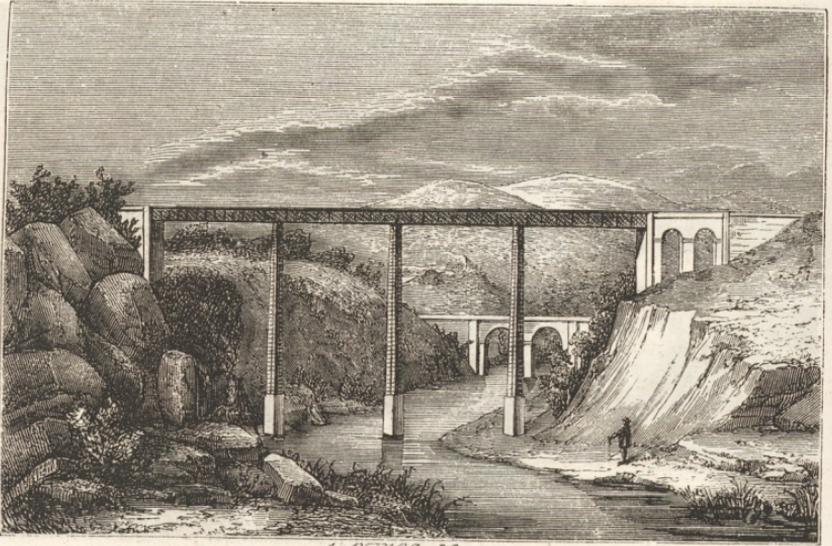


Fig. 95. — Pont de la Sitter.

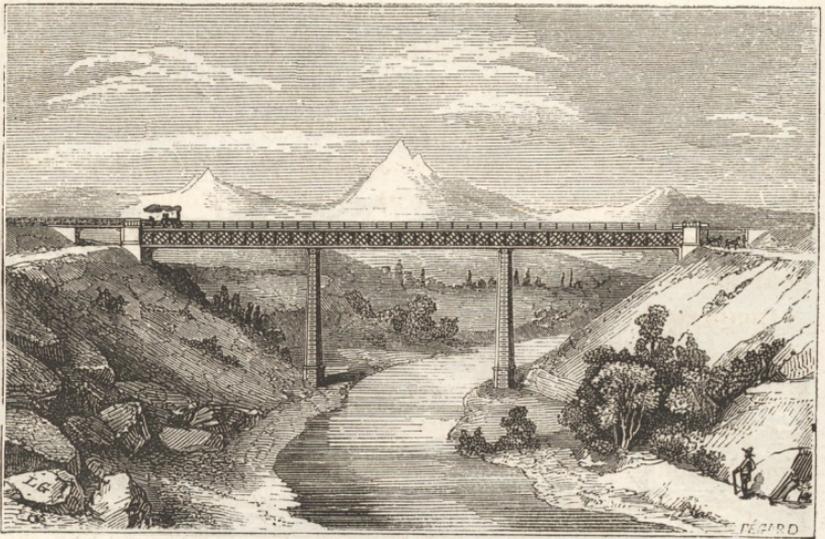


Fig. 96. — Pont de l'Aar.

seul et même pont. M. Couche donne, avec raison, la préférence au premier système.

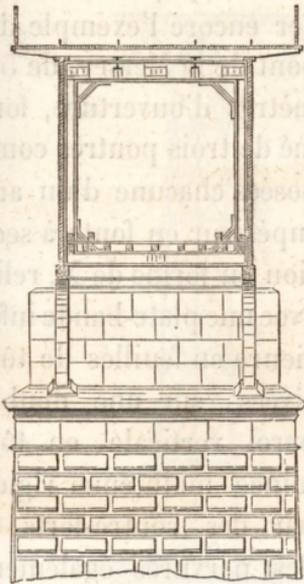


Fig. 97.

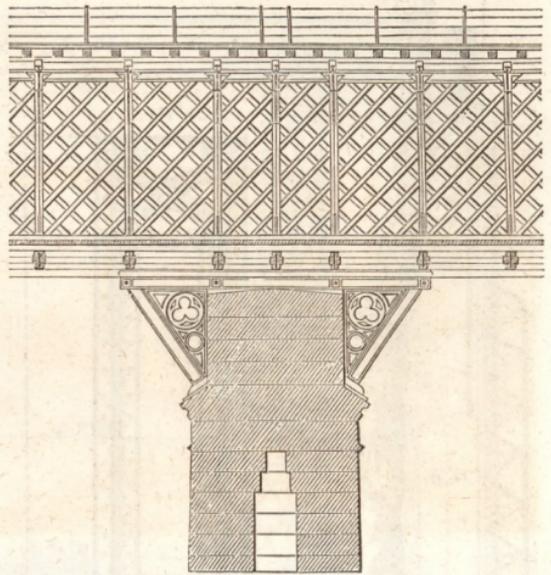


Fig. 98.

« L'indépendance des deux voies paraît être, dit cet habile ingénieur après avoir discuté les avantages et les inconvénients des deux systèmes, la combinaison qui offre le plus de garanties, parce que tous les efforts s'y développent symétriquement, que tout le système travaille, pour ainsi dire, carrément. » Quelquefois cependant on a rendu les voies dépendantes par raison d'économie. M. Couche se prononce également pour la continuité des travées dans le cas des ponts à grande portée et préfère l'indépendance pour des ouvertures médiocres.

**Ponts en fer et fonte.** — Quelques ingénieurs anglais ont admis, jusque dans ces derniers temps, l'emploi simultané de la fonte et du fer dans la construction des ponts, mais en limitant la fonte aux parties de ces ouvrages chargées de résister exclusivement à la compression à des flexions transversales modérées. Nous pourrions citer dans ce système le pont de Newark, sur le chemin de fer de Great-Northern (fig. 99), d'une longueur de poutres de 259 pieds (78<sup>m</sup>,94). Les parties foncées de la gravure font distinguer les

pièces en fonte qui sont employées dans la construction et assemblées avec les parties en fer forgé.

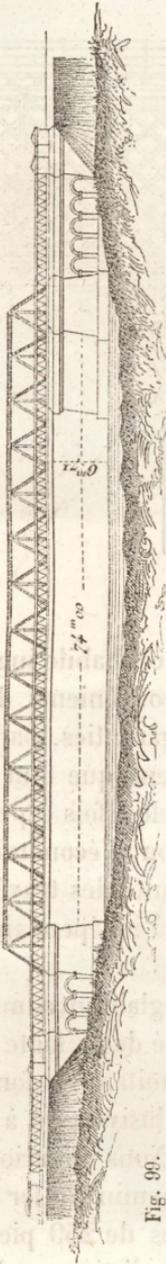


Fig. 99.

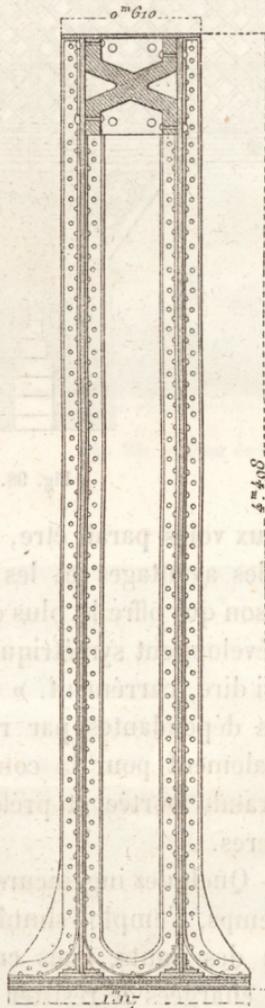


Fig. 100.

Nous pourrions donner encore l'exemple du pont de la Mersey, de 52 mètres d'ouverture, formé de trois poutres composées chacune d'un arc supérieur en fonte à section en forme de X, relié avec une plate-bande inférieure en feuilles de tôle rivées, sur une double paroi verticale en tôle mince maintenue rigide par des contre-forts et des nervures également en tôle (fig. 100).

Nous donnons ici une travée du beau viaduc de Crumlin, construit dans le même système, et supporté par deux piles composées de colonnettes de fonte reliées entre elles horizontalement par des châssis en fonte, et verticalement par des croix de Saint-André en fer de faible épaisseur; ce viaduc a 498 mètres de longueur entre les culées (figure 101).

#### Ponts suspendus. —

Il nous reste à dire quelques mots des ponts suspendus construits aux États-Unis. La des-

cription suivante du beau pont de la Harper, sur le chemin de Baltimore à l'Ohio, est empruntée à un manuscrit inédit de M. Grenier.

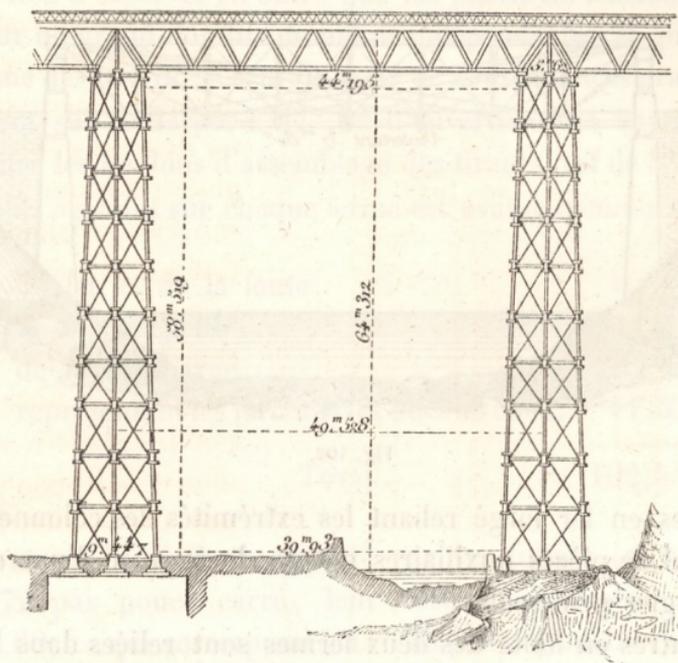


Fig. 101.

Ce pont, établi pour une voie, est composé d'un tablier en bois suspendu à deux fermes en fer et fonte dont les extrémités reposent sur de légers supports en maçonnerie.

La poutre en fonte est creuse, sa figure extérieure est octogonale ; elle est formée de huit parties de chacune  $4^m,73$  de longueur assemblées à manchon ; les surfaces de contact sont légèrement arrondies de manière que les flexions du système ne produisent pas d'efforts obliques sur la poutre. Chaque joint repose sur le chapiteau d'une colonnette en fonte dont le pied est relié par deux tirants en fer aux extrémités de la poutre, et supporte, au moyen de boulons de suspension, les poutres en bois ou pièces de pont (figure 102).

Par cette disposition, le poids du tablier et des surcharges accidentelles, agissant à chaque colonnette, est reporté par les tirants en fer sur les deux points d'appui. Les pressions horizontales résultant

tant de l'inclinaison de ces tirants se font équilibre par l'intermédiaire de la poutre en fonte, qui n'est soumise qu'à des efforts de compression. La ferme est complétée par des croix de Saint-André

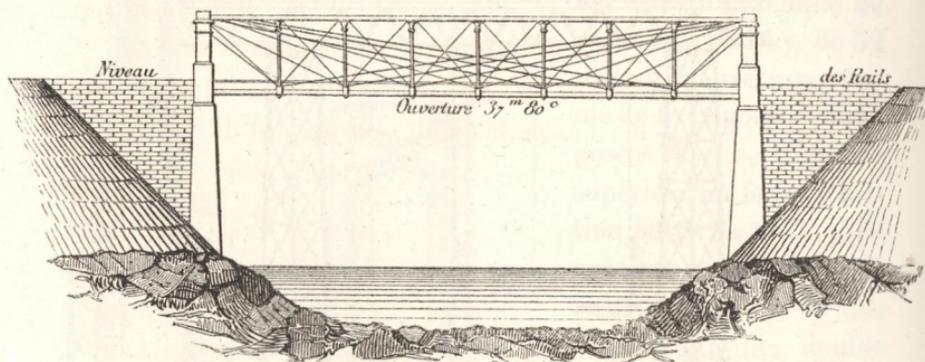


Fig. 102.

très-légères en fer forgé reliant les extrémités des colonnettes, et qui servent de pièces auxiliaires en cas de rupture d'une ou plusieurs tringles principales.

Les poutres en fonte des deux fermes sont reliées dans le plan horizontal par un système de croix de Saint-André en fer et de pièces d'écartement en fonte correspondant aux colonnettes. L'ensemble du pont a ainsi la figure d'un tube rectangulaire formé d'un réseau de barres de fer et de fonte.

Dans la combinaison des pièces en fer forgé et en fonte qui constituent les fermes du pont sur la Harper, le fer est soumis à des efforts d'extension et la fonte à des efforts de compression ; les deux métaux sont donc employés dans les conditions qui permettent d'utiliser le mieux possible leurs propriétés. La résistance à la flexion des parties constitutives du système n'entrant pas en jeu, toutes les fibres travaillent également, pourvu que la section des barres soit proportionnée aux forces qui agissent suivant leur axe. La différence entre l'élasticité des deux métaux ne peut être présentée comme une objection à leur combinaison, puisque tous les assemblages sont articulés.

Ce système, qui présente la légèreté des ponts suspendus, a sur ceux-ci l'avantage que toutes ses parties peuvent être visitées et ga-

ranties facilement de l'oxydation, et que sa rigidité met un obstacle à l'amplitude des vibrations.

Il y a lieu d'observer en outre que les efforts de tension sont répartis sur un grand nombre de pièces indépendantes, et que la rupture d'une des barres ne saurait avoir de conséquences graves.

Le pont sur la Harper a 57<sup>m</sup>,82 d'ouverture; sa hauteur, mesurée entre les boulons d'assemblage des tirants, est de 5<sup>m</sup>,20.

Le poids agissant sur chaque ferme est évalué comme suit :

Poids du fer et de la fonte. . . . .	10,982 <sup>k</sup> ,08
— de la charpente. . . . .	6,801 <sup>k</sup> ,30
— de la surcharge. . . . .	73,429 <sup>k</sup> ,28
— représentant les forces vives dues au choc. . . . .	11,535 <sup>k</sup> ,50
TOTAL. . . . .	102,548 <sup>k</sup> ,16

Sous ce poids, l'effort supporté par les tirants en fer est de 7,254<sup>k</sup>,72 par pouce carré, leur résistance absolue étant de 36,273<sup>k</sup>,60, ce qui correspond à 11<sup>k</sup>,23 par millimètre carré.

Ce pont, depuis sa construction, a été exposé aux températures les plus extrêmes et à un passage journalier de vingt trains en moyenne. Dans les conditions les plus défavorables de température et de charge, la flèche n'a pas dépassé 16 millimètres environ.

**Procédé de fondation tubulaire.** — De nouveaux procédés ont été employés depuis quelques années pour la fondation des piles des grands ponts. Comme ces procédés ont été plus particulièrement appliqués sur les chemins de fer, nous terminerons ce chapitre sur les travaux de terrassements et les travaux d'art en en donnant une description sommaire. Nous empruntons une partie de cette description à l'intéressant mémoire publié dans le *Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, par M. Charles Nepveu (juillet, août et septembre 1855).

**Fondation avec pieux à vis.** — MM. Brunel, Cubitt et Stephenson se sont servis avec avantage dans les fondations d'un grand nombre de ponts ou viaducs de *pieux à vis*; dans tous les cas, leur

emploi s'est montré sûr, rapide et facile. L'enfoncement de ces pieux, munis à la partie inférieure d'un pas de vis, se produit en appuyant la pointe du pieu sur le sol, et en imprimant, à l'aide d'un cabestan, un mouvement de rotation à la tige. Le nouveau procédé a été appliqué avec succès à la fondation de plusieurs ponts ou viaducs sur le chemin de fer de l'Ouest.

**Fondation avec pieux et palle-panches en fonte.** — M. Page, dans le pont qu'il a construit sur la Tamise, à Chelséa, a remplacé les pieux et palle-panches en bois par des pieux et palle-panches en fonte. Ces fondations, qui présentent un haut degré de stabilité, seraient, dit M. Nepveu, en France, d'un prix très-élevé, et demandent, en outre, un temps assez considérable pour leur construction.

**Fondation à l'aide du vide.** — Tels étaient les progrès faits dans le système des pieux battus et des cofferdams, lorsqu'une idée nouvelle et féconde vint en changer la direction.

M. le docteur Pott's eut l'idée d'agir, non plus sur le pilotis, mais sur le sol, et il se servit pour cela du vide.

Un pieu creux en fonte ou en tôle, ouvert par le bas, est fermé à sa partie supérieure par un couvercle luté avec soin, et communiquant avec une pompe pneumatique; il est en partie enfoncé dans le sol baigné par l'eau, et qui peut être de la vase, du sable et même de l'argile. Si l'on manœuvre la pompe à air, dès que la pression aura suffisamment diminué dans l'intérieur du tube, l'eau extérieure ainsi que le sol lui-même, en vertu de la pression atmosphérique, tendront à s'y précipiter; le courant d'eau qui se fera à la partie inférieure sapera le terrain sous le pieu, en rompant les arches naturelles que les parties solides forment entre elles, et le pieu descendra par son propre poids, augmenté de la pression de l'atmosphère sur son extrémité supérieure. Lorsque le tube sera plein, son contenu, composé d'eau et de parties solides, sera enlevé par un moyen quelconque, et on recommencera l'opération jusqu'à ce qu'on ait atteint la profondeur nécessaire.

Une des applications les plus intéressantes de ce système est celle qui en fut faite aux fondations d'un viaduc dans l'île d'Anglesey, sur

le chemin de Chester à Holyhead. Une des piles de ce viaduc fut établie sur une plate-forme en fonte supportée par dix-neuf pilotis ; chaque pilotis était un tube de fonte de 0<sup>m</sup>,057 d'épaisseur et de 0<sup>m</sup>,355 de diamètre extérieur.

Quand ce pieu était arrivé à sa profondeur, on le vidait d'environ 1<sup>m</sup>,80, et on le remplissait de béton.

Après le placement des dix-neuf pilotis, on établit le plateau en fonte, puis la maçonnerie.

Ces fondations, faites en 1847, n'ont pas bougé depuis, et on n'y a remarqué aucun tassement, quoique la charge supérieure fût de plus de 500 tonnes, en y comprenant le poids des trains.

Ce procédé n'est applicable que dans les terrains de vase, de sable, de gravier et d'argile.

Les figures 103 et 104 représentent le mode de fondation décrit ci-dessus, tel qu'il a été appliqué à un pont anglais.

**Fondation à l'aide de l'air comprimé.** — Au pont de Rochester, M. Hughes, qui dirigeait les travaux sous les ordres de M. Cubitt, se rappelant les bons résultats qu'avaient obtenus MM. Triger, Mougel et Cavé, par l'emploi de l'air comprimé, eut l'idée de donner au pilot le caractère d'une cloche à plongeur, en substituant l'air comprimé au vide.

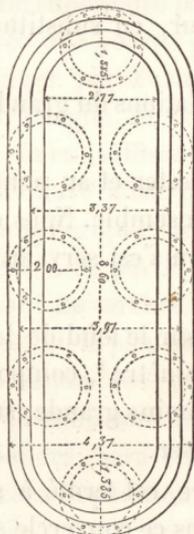
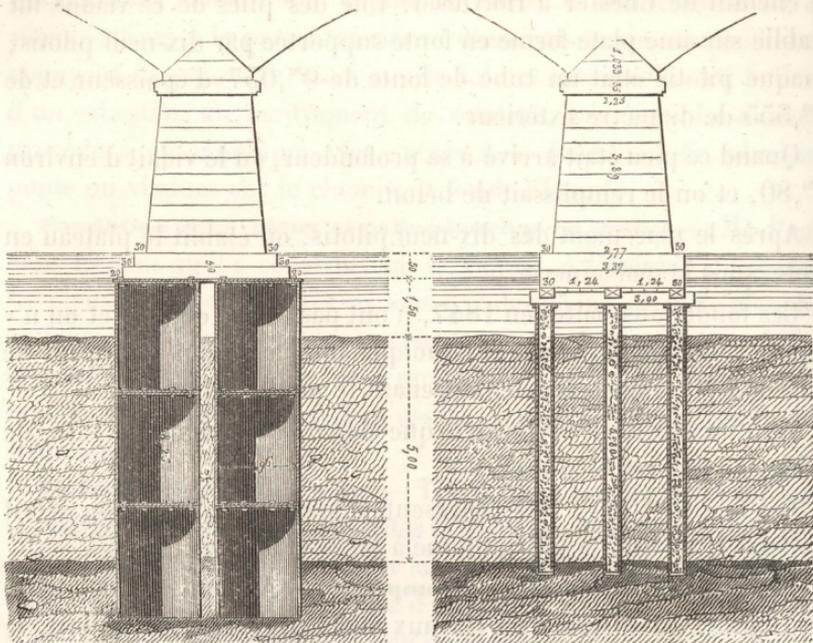
Le même procédé a été appliqué aux fondations du grand pont de Mâcon, sur la Saône.

Les appareils employés au pont de Rochester et au pont de Mâcon diffèrent peu quant à la disposition d'ensemble. Nous empruntons la description suivante de celui dont on s'est servi au pont de Rochester au mémoire de M. Nepveu.

A l'emplacement de la pile, on descend sur le fond de la rivière un cylindre en fonte de 1 à 3 mètres de diamètre<sup>1</sup>, composé d'une série d'anneaux, et d'une hauteur plus ou moins grande, suivant la profondeur du terrain que l'on veut traverser.

Ce tube TT, ouvert à sa partie inférieure, est fermé à sa partie supérieure par un couvercle fixe C. — Dans ce couvercle se logent

<sup>1</sup> Ces cylindres ont 1 mètre au pont de Rochester, et 3 mètres au pont de la Saône.



L.C.

Fig. 105.

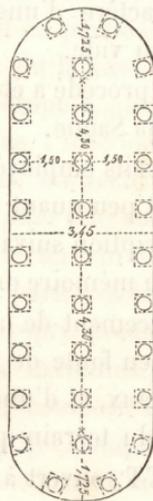


PLATE 35

Fig. 104.

deux chambres à air en fonte BB' (fig. 105) destinées à servir d'intermédiaire entre l'intérieur du tube TT et l'extérieur.

Ces deux chambres, dont la section horizontale présente la forme d'un D, un peu espacées entre elles, se trouvent en plan des deux côtés de l'un des diamètres, de manière que leurs parois planes soient placées en sens inverse. La partie du tube qui n'est pas occupée par les chambres et qui est séparée du reste par un plancher percé de deux ouvertures circulaires est dite *chambre d'extraction*.

Chaque chambre à air est munie d'une ouverture fermée par une soupape S se manœuvrant sur un gond horizontal et tenue appliquée contre l'ouverture par la pression intérieure lorsque cette pression, comme nous le verrons plus loin, dépasse la pression extérieure. Une porte ordinaire P ou P', placée sur le côté plat de la chambre, la fait communiquer avec le cylindre et permet aux bras de deux grues, placées entre les chambres, d'y pénétrer pour y déposer les bennes.

Deux séries de robinets R et R', manœuvrables de l'in-

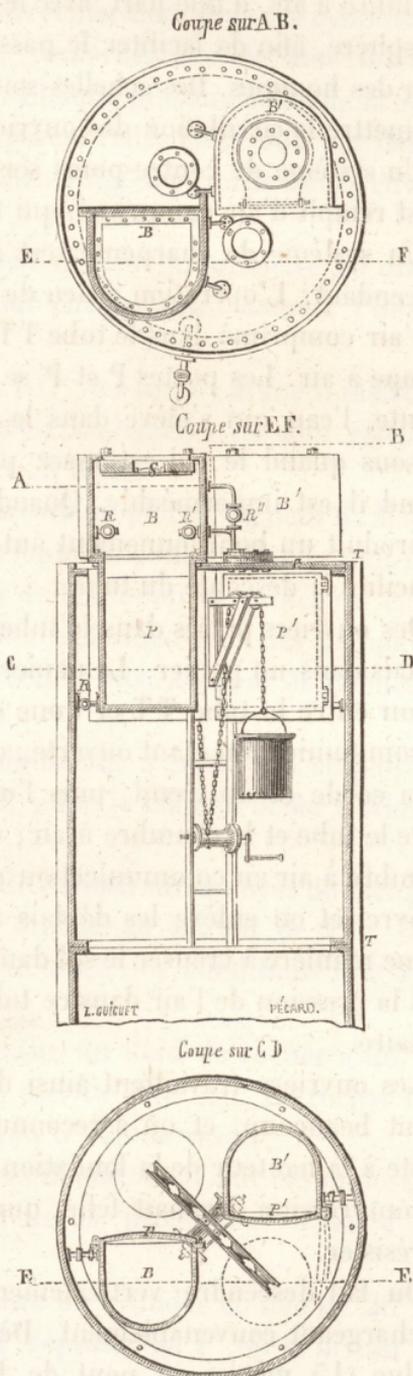


Fig. 105

térieur ou de l'extérieur, servent à mettre en communication la chambre à air, d'une part, avec le cylindre, et, de l'autre, avec l'atmosphère, afin de faciliter le passage des matériaux et la circulation des hommes. Des échelles sont placées dans le tube TT, pour permettre la circulation des ouvriers.

Un système de contre-poids sert à équilibrer le tube TT quand il est rempli d'air comprimé, qui tend à le soulever.

Un système de charpente sert à le guider dans son mouvement descendant. L'opération a lieu de la manière suivante : on chasse de l'air comprimé dans le tube TT au moyen d'un conduit et d'une pompe à air. Les portes P et P' se ferment. La pression étant suffisante, l'eau qui s'élève dans le cylindre en est chassée soit en dessous quand le sol est assez perméable, soit par un siphon quand il est imperméable. Quand elle est chassée en dessous, il se produit un bouillonnement autour de la base qui soulève le sol et facilite la descente du tube.

Des ouvriers placés dans le tube TT creusent le sol et logent les déblais dans un panier. Le panier rempli, on établit la communication entre le tube TT et l'une des chambres à air. La porte P de communication étant ouverte, on monte le panier plein à l'aide de la corde et du treuil, puis l'on interrompt la communication entre le tube et la chambre à air; on ferme la porte P et on met la chambre à air en communication avec l'atmosphère. La soupape S s'ouvre, et on enlève les déblais à l'extérieur. On continue de la même manière à creuser le sol dans l'intérieur du tube en augmentant la pression de l'air dans ce tube toutes les fois que cela est nécessaire.

Les ouvriers travaillent ainsi dans l'air comprimé. Ils se fatiguent beaucoup, et on a reconnu que lorsque la hauteur d'eau jointe à la hauteur de la fondation dans le sol dépassait 25 mètres, la compression devenait telle, que les ouvriers étaient incapables de résister.

On fait descendre verticalement le gros tube dans le sol en le chargeant convenablement. Dès qu'il a atteint la profondeur voulue (15 mètres au pont de Lyon), on coule au fond un lit de ciment romain, qui s'oppose à l'introduction de l'eau par le

bas, puis on achève de remplir ce tube avec du béton ordinaire.

Les piles au-dessus de l'eau sont renfermées dans des cylindres de 2<sup>m</sup>,50 seulement de diamètre, raccordés avec le tube inférieur par une partie cylindro-conique. Chaque pile aux ponts de la Saône repose sur trois cylindres juxtaposés, reliés entre eux par des entretoises. La dépense a été de quatre-vingt-sept mille francs environ par pile.

Au pont de Rochester, les tubes, n'ayant qu'un mètre de diamètre, sont au nombre de huit pour chaque pile, comme l'indique la figure 105.

Au pont de Mâcon (fig. 106 et 107), les tubes, ayant 3 mètres de diamètre, sont au nombre de trois seulement. Ils sont reliés les uns aux autres par des panneaux en fonte.

Au pont de Rochester, les piles sont en pierre; au pont de Mâcon, elles sont en fonte. Les piles en fonte du pont de Mâcon sont remplies de béton comme les tubes de fondation et protégées contre le choc par une enveloppe de béton enfermée dans des palanches sur lesquelles s'appuient des enrochements. Au pont de Rochester, les piles ne sont pas protégées.

Le système des fondations tubulaires a aussi été employé en Égypte (pont de Benha sur le Nil, pour le chemin de fer d'Alexandrie au Caire).

La pile unique du grand pont de Saltash sur un bras de mer près de Plymouth, a été également fondée au moyen de l'air comprimé; mais le travail a été exécuté dans des conditions tout à fait exceptionnelles.

Il s'agissait d'établir cette pile sur un fond de rocher à 25<sup>m</sup>,00 au-dessous du niveau de la haute mer de vive eau. Le rocher était recouvert d'une épaisseur d'environ 5<sup>m</sup>,20 de vase.

L'attaque du rocher était très-difficile, et il eût été impossible d'en effectuer le déblai à raison de la profondeur d'eau à traverser.

M. Brunel se décida à construire un cylindre en tôle de 26<sup>m</sup>,83 de hauteur moyenne, capable de dépasser de 1<sup>m</sup>,83 le niveau des plus hautes eaux, après son échouage sur le fond du rocher.

Mais une nouvelle difficulté se présentait : le rocher avait une in-

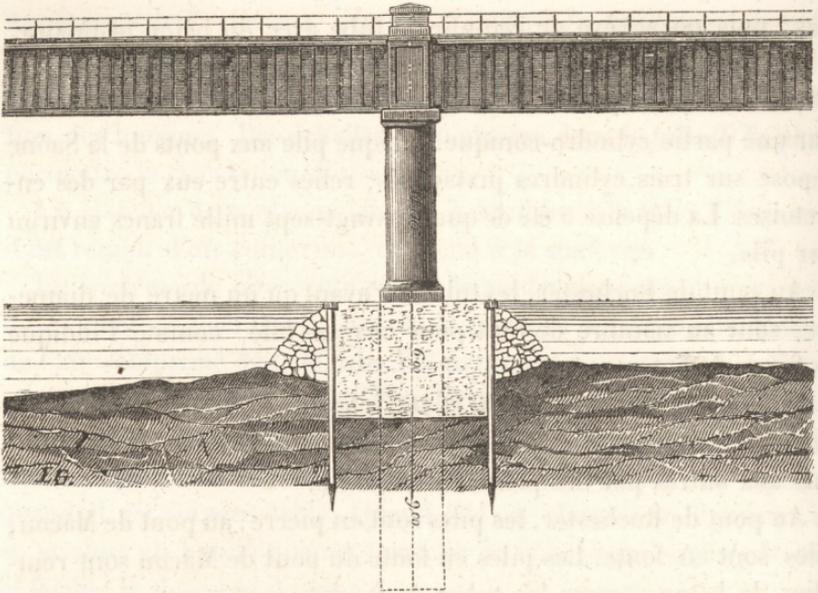


Fig. 106. — Élévation longitudinale.

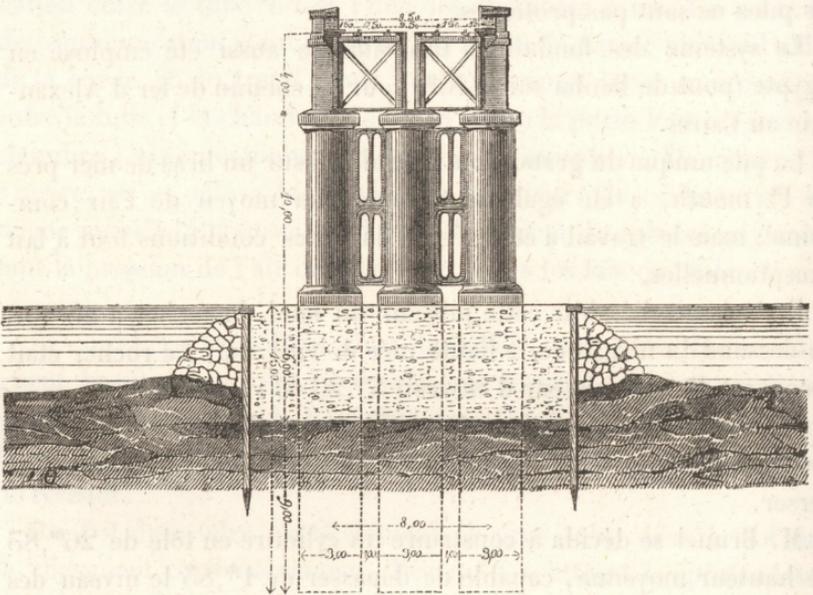


Fig. 107. — Coupe transversale.

clinaison générale qui exigeait que la base du cylindre fût taillée suivant cette inclinaison pour reposer du premier coup, le plus exactement possible, sur la surface du roc : c'est ce qui fut exécuté.

Ce cylindre avait des dimensions telles, qu'il devait comprendre à l'intérieur la totalité de la maçonnerie formant la base de la partie de la pile qui surgissait au-dessus du niveau de l'eau, et qui, à partir de ce niveau, devait se composer de 4 colonnes en fonte destinées à porter les extrémités de chacune des deux grandes travées du pont de 138<sup>m</sup>,68 de longueur chacune. Le problème consistait donc à échouer le cylindre, à le lier solidement au roc de manière à isoler complètement sa capacité, à le vider ensuite et à maçonner à l'intérieur du cylindre comme à l'intérieur d'un batardeau.

Le cylindre ayant 10<sup>m</sup>,66 de diamètre à sa base, il était impossible de songer à y entretenir, au moyen des appareils pneumatiques ordinaires, le volume d'air que nécessitait l'emploi d'un certain nombre d'ouvriers travaillant sous une hauteur d'eau de 25<sup>m</sup>,00, c'est-à-dire sous une pression de 2 à 5 atmosphères. Il fallait évidemment, pour assurer l'effet des appareils, réduire le plus possible la capacité à livrer aux travailleurs. C'est dans ce but que M. Brunel avait composé son cylindre de deux parties : celle du fond, munie d'une calotte sphérique constituant une première capacité dans laquelle on devait exercer la pression, et celle supérieure, qui pouvait être enlevée une fois le travail de maçonnerie achevé jusqu'au-dessus des plus hautes eaux. Dans le pourtour de la partie inférieure régnait une cloison intérieure concentrique avec la paroi extérieure, formant chambre annulaire à compartiments, mise en communication avec l'extérieur au moyen d'un tube dit pneumatique, lequel était enfermé dans un autre de plus grand diamètre.

Le tube pneumatique était destiné à comprimer de l'air dans la partie annulaire où les ouvriers travaillaient sous une pression de 2 à 5 atmosphères, afin de faire équilibre à la pression de l'eau environnante. Le tube le plus grand servait aux épuisements. Lorsque la vase était enlevée au moyen de cette espèce de cloche à

plongeur, et que le rocher sur lequel on s'établissait était dérasé dans le pourtour du cylindre, on maçonnait dans le fond et sur les bords de façon à empêcher la pénétration de l'eau. Cette opération une fois faite, on devait enlever la calotte sphérique et le tube pneumatique, puis travailler presque à sec dans le cylindre, comme dans un batardeau.

Dans le cas où des infiltrations se seraient produites, on pensait que des épaissements ordinaires auraient suffi pour maintenir les eaux; malheureusement la capacité du milieu, une fois la maçonnerie de l'anneau établie, fut loin d'être étanchée; les pompes, mues par des machines locomobiles établies sur le cylindre, étaient impuissantes à enlever l'eau qui s'introduisait par les crevasses de la roche sur laquelle on était établi; il fallut recourir, pour la partie centrale de la pile, au même procédé que pour la partie annulaire, c'est-à-dire à l'air comprimé.

**Ponts tournants.** — Il faut éviter, autant que possible, sur les chemins de fer, les ponts tournants (fig. 108), qui sont une cause

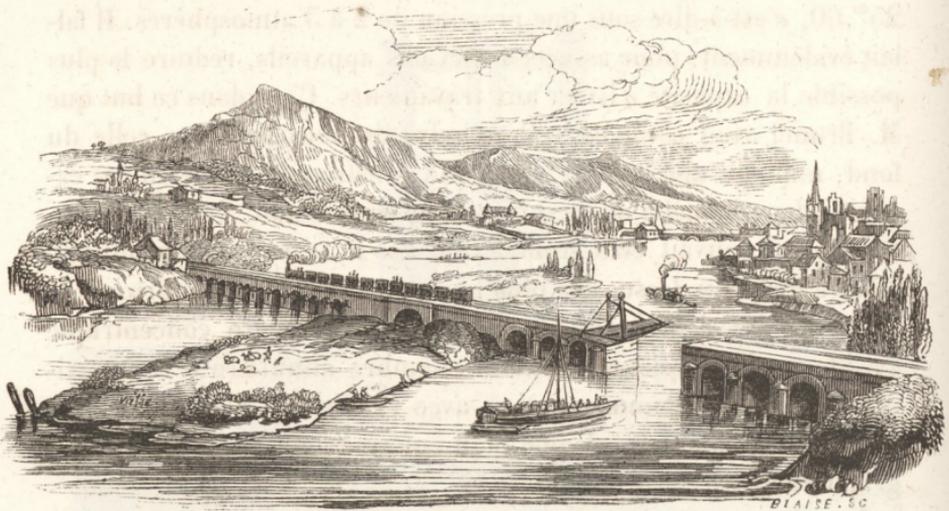


Fig. 108.

d'accident. Toutefois on en rencontre en assez grand nombre sur les chemins de fer belges, et quelques-uns en Angleterre et en France.

**Souterrains.** — Les souterrains sur les chemins de fer sont nombreux. Les plus remarquables sont le souterrain de la Nerthe, sur le chemin d'Avignon à Marseille, long de 4,600 mètres; celui de Blaisy, sur le chemin de Lyon, mesurant 4,000 mètres; celui du Credo, au chemin de Lyon à Genève, long de 3,900 mètres; celui de Rilly, sur l'embranchement de Reims, d'une longueur de 3,500 mètres; celui de Hommarting, sur le chemin de Strasbourg, ayant 2,780 mètres, et enfin celui du Hauenstein, au chemin de fer Central (Suisse), long de 2,500 mètres.

Sur le chemin de Roanne à Tarare, tronçon du chemin de Lyon par le Nivernais, récemment concédé, on sera obligé de percer un souterrain plus long encore que celui de la Nerthe: il aura 6,000 mètres de longueur.

Les méthodes qui ont été suivies pour le percement de ces souterrains sont celles usitées depuis longtemps. Nous n'avons donc pas à les décrire; mais l'on vient d'entreprendre le percement du mont Cenis par un procédé nouveau, qui a été décrit dans le journal la *Presse* par l'habile et savant rédacteur M. Figuier. Nous le décrirons aussi, mais à la fin du second volume seulement, dans le chapitre spécial consacré à l'exposition des nouvelles méthodes. Les appareils du mont Cenis ayant alors fonctionné pendant un certain temps, on se fera de leur efficacité une idée plus juste qu'on ne le pourrait aujourd'hui.

**Construction de la chaussée.** — Après avoir, au moyen des travaux de terrassement et des travaux d'art, adouci convenablement la pente du terrain sur la ligne que doit suivre le chemin de fer, il convient de ne pas poser encore la voie au fond des tranchées ou sur la crête des remblais et même sur les ponts en maçonnerie. Le sol généralement terreux des tranchées ou des remblais, se convertissant en une boue épaisse, cesserait d'offrir une base suffisamment solide, et la voie ne tarderait pas à se déranger de telle façon, qu'il deviendrait impossible de la parcourir à grande vitesse.

La maçonnerie étant, au contraire, trop rigide, le passage des ponts deviendrait fatigant en même temps pour le voyageur et pour le matériel si elle se trouvait en contact immédiat avec la voie.

Il est donc absolument nécessaire d'interposer entre le terrain naturel ou les assises de maçonnerie et la voie en fer une chaussée artificielle, perméable à l'eau, qui soit moins susceptible que le sol naturel de se déformer et moins rigide que la maçonnerie.

On appelle *ballast* la matière dont se compose cette chaussée ; le sable est le ballast le plus généralement employé.

Dans les tranchées, la chaussée est toujours bordée des deux côtés par des fossés dans lesquels se réunissent les eaux qui coulent le long des talus et celles qui proviennent de la chaussée elle-même.

*Il est essentiel que la chaussée qui porte la voie en fer soit toujours aussi sèche que possible. Il ne faut donc négliger aucun moyen de donner écoulement aux eaux qui pourraient la détruire.*

La capacité des fossés doit être proportionnée à la plus grande quantité d'eau que peuvent y amener les pluies les plus abondantes, et leur profondeur doit être au moins aussi grande que l'épaisseur de la chaussée.

Les longues tranchées sont souvent difficiles à dégorger ; sur le chemin de Versailles (rive gauche), on vide les fossés de la grande tranchée de Clamart au moyen de *puits absorbants* creusés de 500 mètres en 500 mètres. Ces puits doivent atteindre une couche *absorbante*, c'est-à-dire une couche qui retienne toutes les eaux qu'on y jette. Ce n'est que dans un petit nombre de terrains, d'une composition analogue à celle des terrains des environs de Paris, que l'on trouve de pareilles couches.

Avant d'établir la chaussée au fond des tranchées, on donne au sol une légère inclinaison partant de l'axe du chemin vers l'emplacement des fossés ; sur les remblais, dont le tassement est toujours plus fort vers les bords que sur l'axe, cette opération n'est pas nécessaire.

Le sol étant ainsi préparé, on étend une première couche de ballast sur une épaisseur de 25 à 30 centimètres ; on la pilonne avec des espèces de dames de paveur. Le transport de ce ballast se fait en général dans des wagons de terrassement versant de côté

(voy. page 363), et traînés par des chevaux sur une voie de fer provisoire posée *directement* sur le sol à l'emplacement de l'une des voies définitives. Cette première couche de ballast servant de fondation à l'une des voies définitives, la pose peut en être immédiatement commencée.

Cette voie définitive est employée au transport ultérieur du ballast, et l'on peut activer ce transport, qui se fait dans des waggons d'ensablement (voy. page 367) au moyen de machines locomotives.

Que l'on se serve de dés, de traverses ou de longuerines comme moyen de fondation pour la voie de fer, il est très-important que ces supports reposent par une large base sur la couche de sable et la touchent par tous leurs points. Nous nous écarterions de notre but si, dans cet ouvrage élémentaire, nous entrions dans les détails des précautions à prendre pour remplir cette condition. On les trouvera, si on désire se livrer à une étude approfondie du sujet, dans le *Portefeuille de l'ingénieur*.

Les supports de la voie placés et bien assis sur leur base, on remplit encore avec du sable bien pilonné l'espace qu'ils laissent entre eux, de manière à les envelopper parfaitement, précaution nécessaire pour les maintenir dans leur position et pour préserver les bois de la pourriture. La chaussée est alors complétée. *Un bon ensablement de la voie est une condition de durée pour le chemin et de sécurité pour les voyageurs.*

Sur une voie mal ou médiocrement ensablée, non-seulement les traverses se détruisent rapidement ou se déplacent facilement, mais on est exposé aux plus graves accidents lorsque les machines sortent de la voie.

Dans les tranchées, le ballast est quelquefois soutenu le long des fossés par de petits murs en *Pierre sèche* (figure 109), c'est-à-dire par des murs en pierres simplement juxtaposées sans interposition de mortier et perméables à l'eau. D'autres fois, c'est le talus naturel de la couche de sable elle-même qui borde le fossé.

En Suisse, en Bavière (chemin du Palatinat) et dans le duché de Bade, le chemin n'est pas composé exclusivement de ballast. Des

massifs en terre ont été ménagés, comme l'indique la figure 110, le long des fossés (chemin Suisse) et même au milieu (chemins Bavarois et Badois) (fig. 111), afin d'économiser le ballast. Ces massifs sont traversés de distance en distance par des saignées servant à assainir les cuvettes.

On avait adopté une disposition semblable sur les premiers chemins de fer construits en France, mais l'on ne tarda pas à reconnaître qu'en introduisant les pinces sous les traverses pour les relever, on attaquait souvent les massifs et provoquait ainsi le mélange de la terre et du ballast. L'entretien des saignées est d'ailleurs fort coûteux, et elles sont sujettes à s'engorger.

Sur le remblai, les fossés sont supprimés, et les talus de la couche de sable font suite à ceux du remblai; l'eau s'écoule de part et d'autre ou pénètre dans l'intérieur. Mais les grands remblais tassant toujours plus ou moins, on conserve, lors de la construction, deux petites banquettes sur la crête du remblai. A mesure que le tassement a lieu, on relève la voie en rapportant de nouvelles épaisseurs de ballast sous les supports; et, comme la crête de ce ballast doit conserver toujours la même largeur, sa base s'étend

et ses talus finissent par se raccorder avec ceux du remblai.

Sur des terrains très-mous, délayés par des courants d'eau, ou sur des terrains marécageux, il serait impossible, sans de certaines précautions, d'établir une voie durable.

Sur le chemin de Wissembourg, la chaussée reposant en tran-

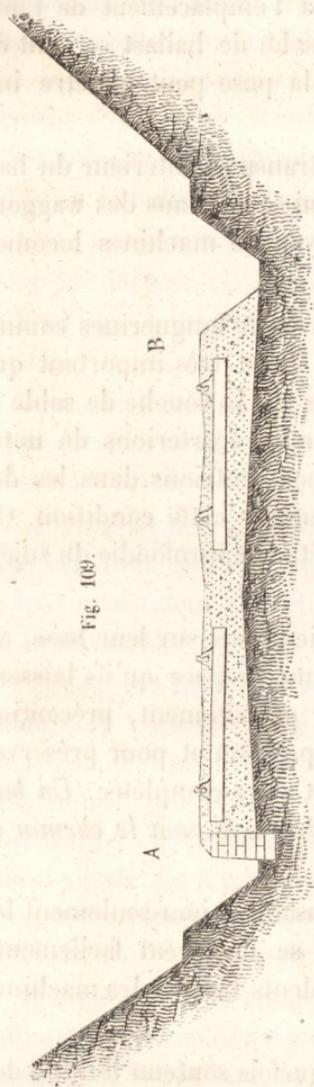


Fig. 109.

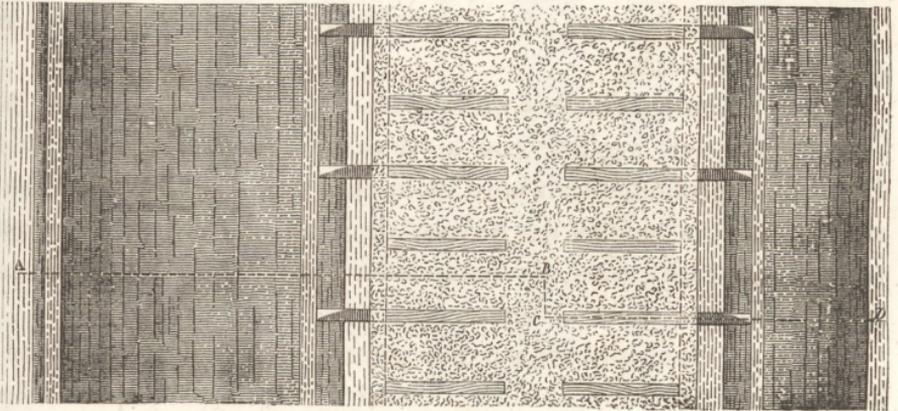
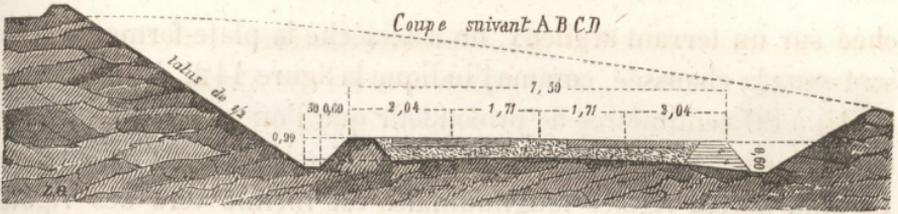
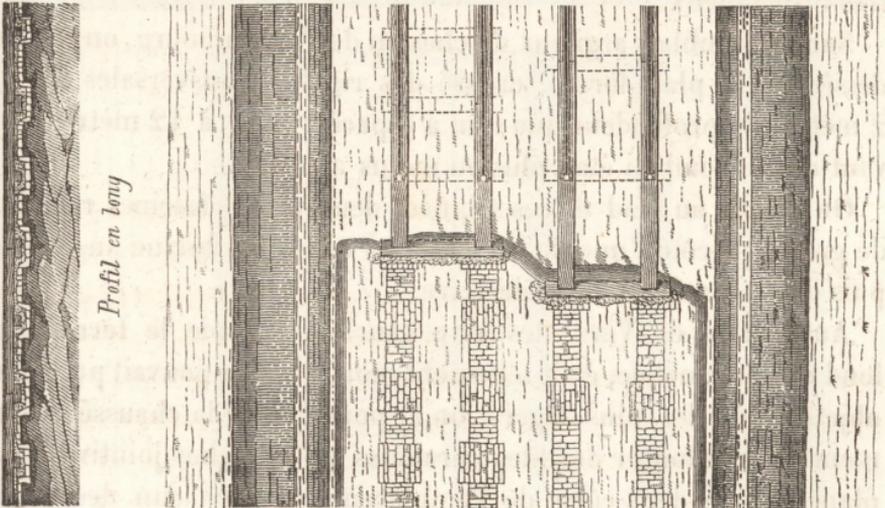


Fig. 110. — Chemin Suisse.



*Plan*



PECARD.

Fig. 111. — Chemin Badois.

chée sur un terrain argileux, on a desséché la plate-forme en creusant sous la chaussée, comme l'indique la figure 112, des rigoles de 15 à 20 centimètres de profondeur que l'on remplit de gravier d'abord sur 12 à 15 centimètres de profondeur, puis de mousse. Le fond de ces rigoles longitudinales est incliné vers des rigoles transversales traversant la plate-forme d'un fossé à l'autre, de telle façon que les eaux sont inévitablement conduites par ces rigoles dans les fossés.

Dans une autre tranchée où la plate-forme était établie sur un terrain compact, argileux, on a creusé des rigoles longitudinales d'une faible profondeur au bord de la chaussée (fig. 113). On a posé au fond de ces rigoles des tuyaux de drainage que l'on a recouverts de pierraille, puis, de distance en distance, on a dégorgé ces tuyaux dans des tuyaux transversaux.

Le terrain étant humide sur une grande épaisseur, on a donné à la rigole une profondeur de 80 centimètres, en sorte qu'elle descendait au-dessous du fossé. On a posé au fond des tuyaux de drainage inclinés vers les extrémités, on les a recouverts de paille d'abord, puis d'un mélange de ballast et de glaise, et on a dégorgé les tuyaux par leurs extrémités ou latéralement.

Dans ce dernier cas, le dégorgeement, devenant difficile et ne pouvant s'effectuer souvent qu'à d'assez grandes distances, devenait très-dispendieux.

Sur les remblais argileux du chemin de Wissembourg, on a, pour dessécher la plate-forme, creusé des rigoles transversales de 1 à 2 mètres de profondeur que l'on a espacées de 5 à 12 mètres, suivant que le remblai était plus ou moins aquifère.

On plaçait au fond de ces saignées deux petites fascines remplies de gravier à côté l'une de l'autre, une troisième fascine au-dessus, puis on recouvrait le tout de terre.

Au chemin de Versailles (rive gauche), comme le terrain, au fond d'une tranchée, était tellement mou, qu'il ne pouvait porter les objets même les plus légers, on a, pour établir la chaussée, commencé par enfoncer des files parallèles de planches jointives (palplanches) des deux côtés de l'emplacement de chacun des fossés. On a vidé les terres jusqu'à une certaine profondeur entre les plan-

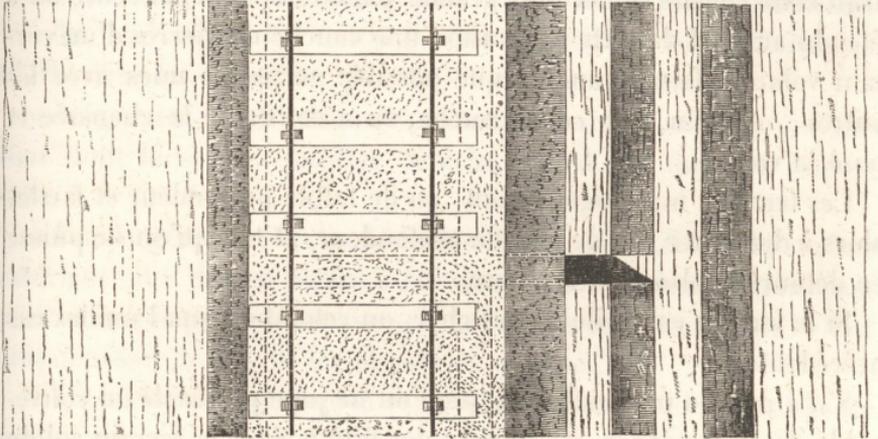
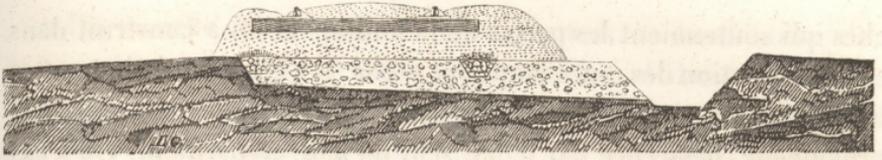
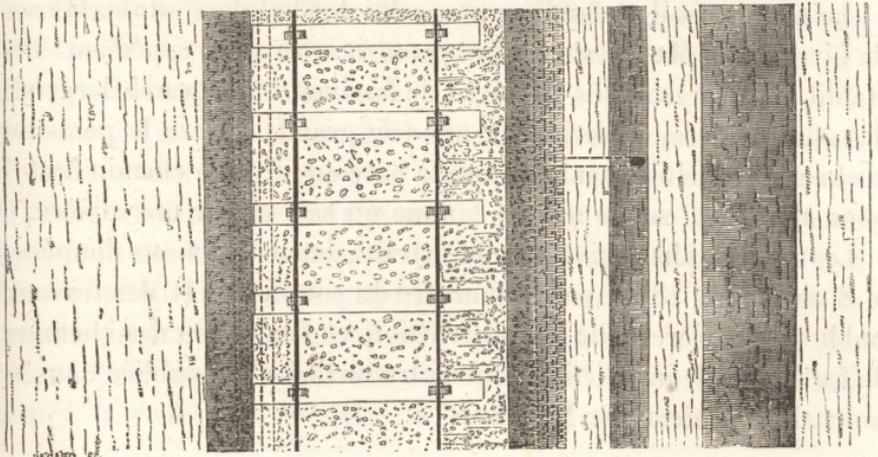
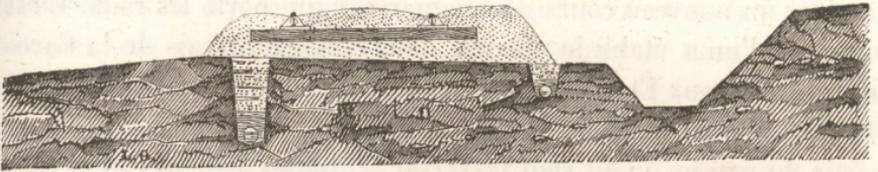


Fig. 112.



PEGAND. 50.

Fig. 113.

ches qui soutenaient les parois de la fouille, et on a construit dans cette excavation des murs en pierre sèche. Il s'est trouvé alors entre les fossés une couche de terre dont l'épaisseur était égale à leur profondeur, desséchée par le fait seul de leur creusement. On a extrait cette couche sur la plus grande partie de son épaisseur, on a étendu au fond de cette excavation une couche de pierres d'un certain volume, faisant autant que possible corps les unes avec les autres ; et enfin, sur cette couche, on a construit la chaussée et posé la voie.

Les terrains marécageux sont, ou de faible profondeur et faciles alors à dessécher, ou de grande profondeur, et tels qu'on ne puisse en détourner aisément les eaux.

Si le terrain est facile à dessécher, on retombe dans l'un des cas précédents.

S'il a peu de profondeur et que l'on ne juge pas facile ou convenable de le dessécher, on enfonce des pilotis dans le terrain solide sur lequel pose le terrain marécageux ; on réunit les têtes de ces pilotis par des *longuerines* ; on pose des *traversines*, et sur ces traversines un nouveau cours de longuerines qui porte les rails. C'est ainsi que l'on a établi le chemin dans certains marais de la Caroline du Sud, aux États-Unis, et à Pontypool, dans le pays de Galles. On peut encore, dans ce cas, combler avec des déblais solides la partie du marais qu'on veut traverser.

Le marais est-il profond, comme celui de Chatmoss, sur le chemin de Liverpool à Manchester, il faut recourir à un autre expédient. On établit alors la chaussée sur un lit de fascines d'une grande largeur ; de cette manière, on divise sur une très-grande surface le poids de la chaussée et celui des convois qui la parcourent, et le chemin flotte, pour ainsi dire, sur le marais comme un radeau sur une rivière.

Les paragraphes suivants sont extraits des instructions données, le 8 novembre 1856, par le ministre du commerce et des travaux publics de Bavière pour la construction, et l'entretien des chemins de fer de l'État, instruction dont la traduction a été publiée dans le journal l'*Ingénieur* par M. Müntz <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Nous croyons utile de rappeler que ces instructions sont le fruit d'une longue

« Une couche de ballast de 0<sup>m</sup>,60 s'est montrée insuffisante pour les tranchées humides et à fonds imperméables, et il convient de les porter à 0<sup>m</sup>,88 en contre-bas de la surface supérieure des traverses. Sur les remblais imperméables elle devrait être de 0<sup>m</sup>,73. Cette épaisseur peut être diminuée au fur et à mesure que la perméabilité du fond augmente; toutefois, elle ne doit pas être inférieure à 0<sup>m</sup>,60 dans les tranchées, et à 0<sup>m</sup>,45 sur les remblais.

« Une couche de 0<sup>m</sup>,45 a été reconnue insuffisante dans une station dont le sol n'a pu être asséché que d'une manière imparfaite.

« Une largeur de couche de ballast dépassant de 0<sup>m</sup>,15 la surface extérieure des dés en pierre a été reconnue suffisante; tandis que, pour une voie posée sur traverses, la largeur de la couche de ballast doit dépasser de 0<sup>m</sup>,30 les abouts de celles-ci.

« L'assèchement prompt et complet du ballast est de la plus haute importance; on l'obtient de la manière la plus parfaite en étendant la couche de ballast sur toute la longueur de la plate-forme. Un moyen également bon, mais bien moins efficace, consiste dans l'établissement de pierrées au travers de la plate-forme de la voie. Ces pierrées sont distantes de 3 à 4<sup>m</sup>,50; elles ont 0<sup>m</sup>,60 de largeur, et leur fond à pente rapide s'étend jusque sur le talus. Il convient d'établir de ces pierrées partout où elles n'existent pas en dimensions et en nombre suffisants.

« Quand le fond est humide ou rempli de sources, on fait bien de recourir aux tuyaux de drainage. On les place sur un fond en argile damé dans l'axe des voies, et à 0<sup>m</sup>,90 en contre-bas de la plate-forme, en ayant soin de la couvrir d'une couche d'environ 0<sup>m</sup>,60 de cendres de coke ou d'autres matières perméables avant de poser le ballast. Du drain principal on fait passer dans les fossés du chemin des drains secondaires, qu'on multiplie suivant le degré d'humidité du fond. Une plate-forme ondulée dans le sens de la longueur contribue beaucoup à l'écoulement des eaux de la surface, et, pour cette raison, on prolonge la cavité sous les traverses jusqu'à la rencontre des talus. »

expérience, puisque c'est en Bavière qu'ont été construits, par M. Demis, les premiers chemins de fer allemands à locomotives.

La solidité de la chaussée d'un chemin de fer, et, par suite, celle du chemin de fer lui-même, ne dépend pas seulement du plus ou du moins de soin apporté dans sa construction. Le choix des matériaux qui la composent exerce également la plus grande influence sur sa résistance et sa durée.

Nous indiquerons plus loin les conditions que doivent remplir ces matériaux.