

## CHAPITRE XI

## DES MOTEURS.

Nous avons dit précédemment que l'on emploie comme moteurs, sur les chemins de fer, les chevaux, la force naturelle de la gravité, les machines, fixes ou locomotives.

## MOTEUR ANIMAL.

**Chevaux.** — On ne fait aujourd'hui usage de chevaux que sur les chemins de fer établis pour desservir les mines ou les usines, ou pour les travaux de terrassement.

Un cheval de force moyenne exerçant un effort de 50 kilogrammes, traîne au pas, sur un chemin de fer de niveau et rectiligne en bon état, dans des waggons bien construits et bien entretenus, une charge de 8 à 10 tonnes, poids brut, c'est-à-dire un peu plus de huit fois ce qu'il traînerait sur une route ordinaire en bon état; il peut, en traînant cette charge, travailler dix heures par jour.

La vitesse augmentant, son travail utile diminue; ainsi il est reconnu que ce même cheval, marchant au trot, n'exercera plus qu'un effort de moitié. La vitesse sera doublée; mais il ne pourra plus travailler que quatre heures par jour.

Nous indiquerons plus loin comment, connaissant la charge que le cheval peut traîner en plaine, on peut calculer celle qu'il est en état de remorquer sur une rampe d'inclinaison donnée.

Les voies de fer pour les terrassements n'étant ni posées ni entretenues avec le même soin que les voies définitives, la charge

traînée par un cheval sur des voies de ce genre ne sera plus que de 6 à 8 tonnes, au lieu de 8 à 10.

PLANS AUTOMOTEURS.

En général, les chemins de fer établis pour transporter les produits des mines vers les points d'embarquement ont une pente assez prononcée de la mine vers l'autre extrémité de la ligne. Sur les points où cette pente atteint de 25 à 30 millimètres par mètre, on établit avec avantage des *plans automoteurs*.

Des freins placés sur l'axe de la poulie, ou sur celui du treuil, servent à en modérer la vitesse ou à les arrêter au besoin; mais il se peut qu'on arrête la poulie sans que pour cela le convoi, entraîné par une force supérieure, cesse de marcher; dans ce cas, la corde glisse. Quand au contraire le treuil cesse de tourner, le convoi, si le câble ne casse pas, cesse forcément d'avancer. En conséquence, on préfère les treuils aux poulies sur des plans très-inclinés où l'excès de gravité est considérable.

La figure 424 indique la disposition d'une poulie de plan automoteur avec son frein.

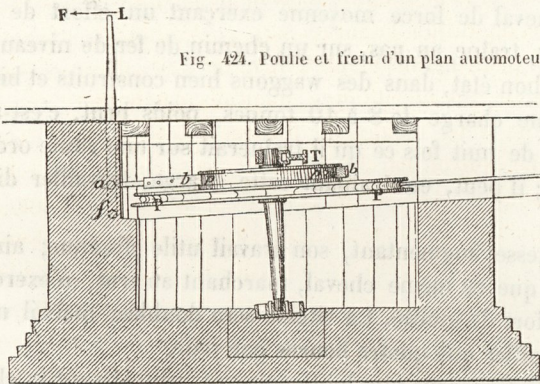


Fig. 424. Poulie et frein d'un plan automoteur.

Le diamètre de la poulie PP est égal à l'écartement d'axe en axe des deux voies établies au sommet du plan. Elle est venue de fonte avec une seconde poulie pp à gorge plate, tournée avec soin. Une

bande de fer méplat très-flexible *b*, coudée en fer à cheval, entoure une moitié de la poulie *pp*; elle est garnie de tasseaux en bois dans sa partie curviligne qui suit le pourtour de cette poulie. Par l'une de ses extrémités, cette bande de fer est fixée à la cuve en maçonnerie dans laquelle est logé l'appareil; son autre extrémité est articulée en *a* au levier *L*, dont le point fixe *f* est également pris sur la maçonnerie. En exerçant sur le levier *L* un effort dirigé dans le sens de la flèche *F*, on applique la garniture en bois de la bande de fer contre la gorge de la poulie *pp*, et l'on produit ainsi un frottement qui entrave ou même arrête complètement le mouvement de la poulie *PP*, et par conséquent du câble.

L'axe de la poulie tourne à sa partie inférieure dans une crapaudine, à sa partie supérieure dans un palier fixé sur la traverse *T*. Il est incliné en arrière, de telle sorte que les deux leviers du câble, partant d'une certaine profondeur au-dessous du sol, arrivent au niveau des rails au sommet du plan incliné. En ce point, ils s'infléchissent chacun sur une poulie de renvoi à axe horizontal, et suivent la pente de la voie. A l'aide de cette disposition, la poulie peut être placée au-dessous du sol à une profondeur assez grande pour ne pas être gênée par les rails et les traverses, et le câble acquiert près de la poulie une tension telle, qu'il ne fouette pas et ne risque pas de quitter la gorge.

Sur un plan incliné établi à Rive-de-Gier, on se sert d'un frein très-puissant qui mérite une mention particulière. Ce frein est composé de deux meules de moulin placées sur un axe commun vertical. Le convoi marchant, la meule supérieure est pour ainsi dire suspendue au-dessus de la meule inférieure. Veut-on faire agir le frein, on fait, au moyen d'un système de leviers, glisser la meule supérieure sur l'axe, de manière qu'elle vienne s'appuyer sur la meule inférieure. Le frottement qui a lieu alors entre les deux meules arrête le convoi.

Les cordages sont en chanvre ou en fil de fer. Les cordages en fil de fer sont préférés.

On s'est aussi servi de chaînes en fer; elles sont plus économiques que les cordages, à cause de leur longue durée, mais elles sont plus lourdes et plus sujettes à se briser subitement. Une

simple paille, dans un des anneaux, suffit pour en occasionner la rupture.

Le waggon placé en tête du convoi est fixé au câble par un anneau dans lequel pénètre un crochet appartenant au câble.

Quelquefois on emploie des crochets à pièces mobiles, au moyen desquels on peut séparer brusquement le convoi du câble, dès qu'il est arrivé au sommet ou au bas du plan incliné.

Les cordages reposent de distance en distance sur de petites poulies fixes (fig. 425 et 426), établies au milieu des voies. Dans le

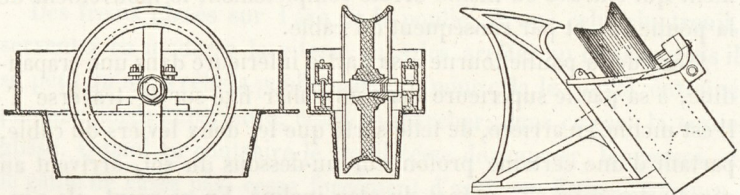


Fig. 425 et 426. — Poulies fixes de plans automoteurs.

haut du plan, où l'amplitude des oscillations de la corde est la plus grande, on se sert de rouleaux en bois, au lieu de poulies en fonte. Dans les courbes on emploie des poulies dont l'axe est incliné à l'horizon (fig. 426), ou des poulies dont l'axe est vertical.

Quelquefois on établit deux voies dans toute la longueur du plan automoteur, du sommet S au pied P (fig. 427). Le câble étant alors développé sur une des voies V', l'un des crochets est attaché au convoi le moins chargé K', l'autre crochet au convoi le plus chargé K. Le convoi K étant abandonné à lui-même, descend sur la voie V en entraînant le cordage et faisant remonter le convoi K' sur la voie V'. Le convoi K arrivant au bas du plan automoteur, le convoi K' arrive au sommet, et c'est alors sur la voie V, au lieu de la voie V', que la corde est détendue. Si la voie V est la voie d'allée sur laquelle les machines ou les chevaux marchent dans le sens de la flèche F, le convoi K reste en s'éloignant du plan automoteur sur la voie V, et un nouveau convoi de waggons vides, arrivé sur la voie V', passe au moyen du changement de voie N'N sur la voie V. Au sommet du plan le convoi K' reste sur la voie V', et un nouveau convoi plein, arrivé sur la voie V, passe au moyen du changement

de voie M'M sur la voie V'. Tout est prêt pour que le plan automoteur fonctionne de nouveau, et c'est alors sur la voie V' que le convoi descend, et sur la voie V qu'il remonte. Le convoi arrivé au bas du plan passe sur la voie V au moyen du changement de voie N'N', et celui arrivé au sommet sur la voie V au moyen du changement de voie M'M.

Il n'est pas absolument nécessaire de poser deux voies dans toute l'étendue du plan automoteur. En Angleterre, les voies sur les plans automoteurs sont généralement disposées comme l'indique la figure 428. On pose alors trois files de rails seulement dans le haut du plan; on ne pose une double voie que dans le milieu, où les convois montants et descendants se croisent, puis on établit une simple voie dans le bas; en R et R' on établit deux aiguilles mobiles liées par une bielle transversale, de manière à rester constamment parallèles comme celles des changements de voie ordinaires. Il est facile, en se rendant compte du jeu du plan automoteur, de comprendre que, les rails étant ainsi placés, le service se fait tout aussi bien qu'avec une double voie sur toute la longueur.

Supposons effectivement la corde développée, sur la voie V'V<sub>1</sub>V (fig. 428) un convoi faiblement chargé ou vide K' attaché au bas de cette corde, et un convoi très-chargé ou plein K attaché dans le haut. Les aiguilles étant alors disposées de manière à laisser la voie V<sub>1</sub> ouverte, le convoi K' montant, arrivant en RR', passe dans cette

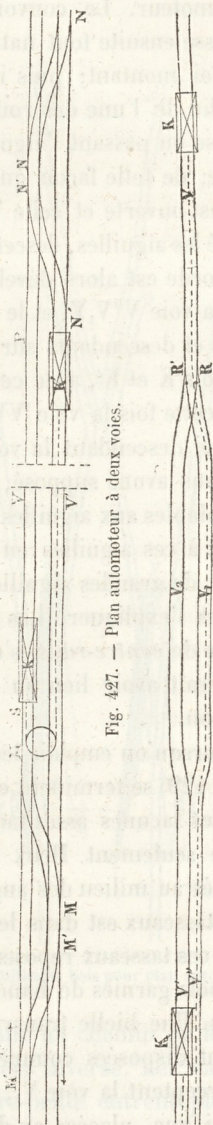


Fig. 427. — Plan automoteur à deux voies.

Fig. 428. — Plan automoteur système anglais.

voie  $V_1$  pour ensuite suivre la voie  $V''$  jusqu'au sommet du plan automoteur. Le convoi descendant  $K$  suit d'abord la voie  $V'$ ; il passe ensuite tout naturellement dans la voie  $V_2$  pour croiser le convoi montant; puis il arrive à l'emplacement des aiguilles; le boudin de l'une des roues d'avant du premier waggon du convoi chasse en passant l'aiguille  $R$  sur le côté, et celle  $R'$ , qui est solidaire; de telle façon qu'après le passage du convoi c'est la voie  $V_2$  qui est ouverte et celle  $V_1$  qui est fermée; le convoi  $K$ , après avoir passé les aiguilles, descend enfin sur la voie  $V$  jusqu'au bas du plan. La corde est alors développée sur la voie  $V'V_2V$ , au lieu de l'être sur la voie  $V''V_1V$ , et le service pour deux nouveaux convois montants et descendants sur le plan automoteur se fait comme pour les convois  $K$  et  $K'$ , avec cette seule différence que le convoi montant suit cette fois la voie  $VV_2V'$ , au lieu de suivre la voie  $VV_1V''$ , et le convoi descendant la voie  $V''V_1V$ , au lieu de la voie  $V'V_2V$ .

Nous avons supposé, pour simplifier l'explication, des aiguilles semblables aux aiguilles ordinaires; cependant on préfère généralement à ces aiguilles en métal, établies dans le même plan que les rails, de grandes aiguilles en bois placées au-dessus, comme nous allons l'expliquer. Les aiguilles en bois, faisant en même temps office de *contre-rails*, s'opposent efficacement au déraillement qui pourrait avoir lieu au moment du changement brusque de direction.

Lorsqu'on emploie les aiguilles en bois, les files de rails  $ab$  et  $cd$  (fig. 429) se terminent en  $b$  et  $d$ , de manière à laisser subsister deux petites lacunes assez larges pour que puisse passer le boudin d'une roue seulement. Deux tasseaux  $o$  et  $o'$ , fixés à une traverse, sont placés au milieu des angles  $cdg$  et  $abf$ ; la surface supérieure de ces tasseaux est dans le plan de la surface de roulement des rails. Sur ces tasseaux reposent les extrémités de deux grandes aiguilles en bois garnies de bandes de fer  $xx'yy'$ . Ces aiguilles sont parallèles. Une bielle transversale en fer maintient leur parallélisme. Étant disposées comme l'indique la figure, il est évident qu'elles interceptent la voie  $V_1$ , et laissent ouverte la voie  $V_2$ . Il est évident aussi que, placées au-dessus des rails sur lesquels elles reposent, elles peuvent servir, comme un contre-rail, à empêcher le déraille-

ment du côté où il tendrait à avoir lieu, c'est-à-dire de gauche à droite.

Ces aiguilles en bois, comme celles en fer, sont chassées de côté par les convois pleins descendants; elles tournent alors sur leurs boulons de jonction aux tasseaux en glissant sur la surface de roulement des rails, et elles prennent la nouvelle position indiquée en lignes ponctuées. Leur mouvement est limité par deux autres tasseaux  $tt'$ .

Il faut, dans le haut des plans automoteurs, contenir quelquefois les convois chargés, qui pourraient commencer à descendre avant que le convoi vide fût attaché à la corde ou avant que les conducteurs de wagons fussent à leur poste. On emploie pour cela des tasseaux mobiles, qui servent au besoin à barrer les voies. Les figures 450 indiquent la disposition de ces tasseaux.

Pour faciliter le départ des convois pleins, il convient d'augmenter l'inclinaison des plans automoteurs dans le voisinage du sommet. Souvent aussi on donne au chemin de fer, un peu avant le pied du plan, une pente en sens inverse. Les wagons du convoi montant placés sur cette contre-pente entrent plus facilement en mouvement que s'ils se trouvaient sur une partie de niveau.

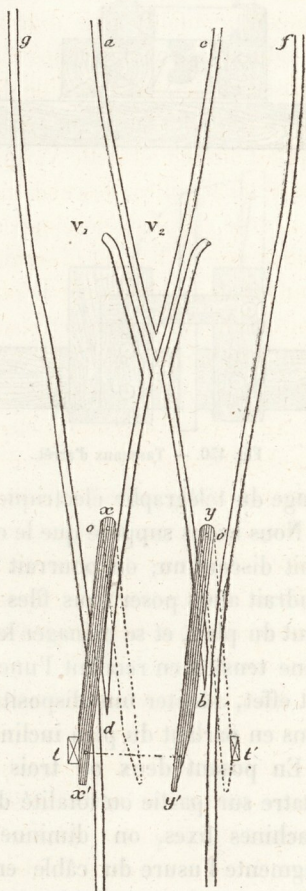


Fig. 429. Aiguilles en bois pour plan automoteur.

Lorsque les plans automoteurs ont une certaine longueur, il faut établir un appareil pour faire parvenir du bas au sommet l'avis que

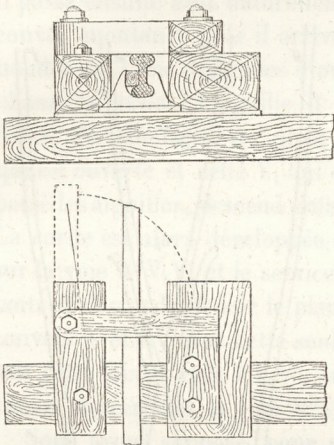


Fig. 450. — Tasseaux d'arrêt.

les waggons montants sont attachés à la corde. On emploie pour cela une petite corde ou un fil de fer posé sur des supports dans toute la longueur du plan incliné. On fait mouvoir, avec cette corde ou ce fil de fer, un signal quelconque ou encore on agite une sonnette. On peut aussi se servir d'un disque placé dans le bas du plan, et que l'on tourne dans un sens ou dans l'autre; mais souvent, dans les temps de brouillards, ce disque pourrait ne pas être aperçu. On peut enfin faire

usage du télégraphe électrique, qui est le moyen le plus exact.

Nous avons supposé que le câble employé sur le plan automoteur était discontinu; on pourrait aussi employer un câble sans fin. Il faudrait alors poser trois files de rails dans le bas comme dans le haut du plan, et se ménager le moyen de donner au câble une certaine tension en rendant l'une des poulies mobile. On pourrait, à cet effet, adopter une disposition analogue à celle que nous décrivons en parlant du plan incliné à machine fixe de Liège.

En posant deux ou trois files de rails seulement au lieu de quatre sur partie ou totalité des plans automoteurs et des plans à machines fixes, on diminue les frais d'établissement, mais on augmente l'usure du câble en le forçant à changer de direction, et les waggons, en cas de rupture des câbles, peuvent se rencontrer; c'est ce qui a conduit à poser généralement en France deux voies sur toute l'étendue des plans inclinés.

Les chariots descendants devant, au moment du départ, traîner la corde entière, il convient, pour éviter qu'ils aient alors un effort excessif à exercer, de ne pas donner aux plans automoteurs une longueur trop considérable. En général, si la longueur du chemin



à parcourir dépasse 1,600 mètres, on la divise en plusieurs plans automoteurs séparés par des paliers de 90 à 100 mètres. C'est ce qu'on a fait au chemin de Hetton, dont nous avons décrit le tracé dans le premier volume, page 251.

La longueur d'un plan automoteur étant donnée, ainsi que le rapport des charges qui le parcourent dans un sens et dans l'autre, le poids, le frottement des cordes et enfin le frottement des chariots, etc., on peut calculer quelle est la limite de pente sur laquelle un certain nombre de chariots pleins pourront remonter un nombre égal de chariots vides.

L'expérience apprend que, pour que quatre chariots chargés pesant ensemble 16,000 kilogrammes puissent remonter quatre chariots vides pesant 4,600 kilogrammes en toute saison sur un plan automoteur de 1,000 mètres de longueur, la pente doit être au moins de 2 et demi centièmes<sup>1</sup>.

M. Michel Chevalier, dans le grand et bel ouvrage qu'il a publié, en 1840 et 1841, sous le titre d'*Histoire des voies de communication aux États-Unis*, décrit un plan automoteur sur lequel on fait monter des trains chargés de charbon au moyen de trains descendants composés de chariots en tôle remplis d'eau. L'eau est fournie au sommet du plan par une source; elle est élevée par une pompe dans un réservoir d'où on la conduit dans les chariots. Les caisses des chariots se vident au bas du plan.

Déjà en 1852, dans un rapport à l'Association polytechnique, nous indiquions l'emploi que l'on pourrait faire d'un moyen semblable sur les plans automoteurs dans les termes suivants : « Les écluses d'un canal consomment une quantité d'eau énorme. Une faible partie de cette eau précieuse suffirait pour développer économiquement sur un chemin de fer la force mécanique nécessaire, au moyen de roues à augets, ou, mieux encore, de machines à colonne d'eau. Peut-être aussi se servirait-on avec avantage de chariots que l'on remplirait d'eau au sommet des plans inclinés, que

<sup>1</sup> M. Wood a trouvé par le calcul que sur un plan automoteur de 1,600 mètres de longueur dont la pente ne serait que de deux centièmes, neuf chariots chargés remorqueraient un nombre pareil de chariots vides en 400 secondes; mais il fait observer que cette valeur ne pourrait être admise dans la pratique que si tout le système était en parfait état, ce qui n'est pas le cas ordinaire.

l'on attacherait à la suite des convois en retour à vide, et qui réagiraient, par l'intermédiaire de cordes et de treuils, sur les convois ascendants; on laisserait écouler l'eau dans la vallée au pied du plan incliné, et on ramènerait les chariots à vide à la suite des convois ascendants.

« Cette application de l'eau comme force motrice sur les chemins de fer n'a pas encore eu lieu; mais nous citerons la ligne du canal du Languedoc comme une de celles où l'on eût trouvé de l'avantage à établir un chemin de fer au lieu d'un canal en utilisant la force mécanique de l'eau.

« Si l'eau ne se trouvait pas en quantité suffisante au sommet des pentes, on pourrait en élever une certaine quantité des parties inférieures assez économiquement au moyen de moulins à vent. Il se pourrait même qu'il y eût plus d'économie, dans certains cas, à élever de l'eau motrice au moyen d'une machine à vapeur de force moyenne, travaillant continuellement pendant la nuit pour les besoins de la journée, plutôt que d'employer à remorquer les convois directement des machines qui alors doivent développer une grande force à différents moments de la journée. »

Plus tard, M. Robert Stephenson proposait de faire le service de plans automoteurs dans les régions montagneuses de la Suisse de la même manière; mais nous pensons que ce système ne saurait trouver son application sur des lignes destinées au transport des voyageurs. En général, les plans automoteurs sont tout à fait exclus des chemins qui ne sont pas consacrés uniquement au transport des marchandises.

Nous avons déjà eu l'occasion, au chapitre du *Tracé*, d'indiquer que l'usage des machines fixes, comme moteurs sur les chemins de fer, était aujourd'hui assez limité<sup>1</sup>.

Ces machines transmettent le mouvement aux convois soit au moyen de cordages, soit à l'aide d'un piston glissant dans un tube établi au milieu de la voie tout le long du chemin.

Le premier mode de traction prend le nom de *système funicu-*

<sup>1</sup> Nous ne parlerons dans ce chapitre que des plans inclinés établis dans le système funiculaire. Nous décrirons ceux qui fonctionnent dans le système atmosphérique au chapitre intitulé : *Des nouveaux systèmes de waggons et de locomotion.*

laire, le second de *système atmosphérique*. Nous décrirons d'abord le système funiculaire.

## SYSTÈME FUNICULAIRE.

Parmi les plans inclinés desservis par des machines fixes dans le système funiculaire, celui de Liège à Ans, en Belgique, peut être cité comme un de ceux qui ont été le mieux établis. Nous le décrirons donc comme l'un des meilleurs modèles existants; mais, auparavant, nous dirons quelques mots de l'emploi qui a été fait, par M. Robert Stephenson, de machines fixes sur un chemin de fer en plaine placé dans des conditions uniques, celui de Londres à Blackwall.

**Emploi du système funiculaire sur le chemin de Blackwall. —**

Ce chemin, construit sur arcades, pour ainsi dire dans l'intérieur même de la ville de Londres, a une longueur de 6,500 mètres seulement, et, le nombre des stations sur cette courte distance étant de cinq, on a pensé qu'il ne serait pas possible de faire le service avec des locomotives : le parcours entre chacune des stations paraissait trop faible pour que ces machines pussent marcher avec une certaine vitesse. Il était également impraticable de remorquer les convois avec des machines fixes en s'arrêtant à chaque station pour déposer des voyageurs ou pour en prendre. M. Robert Stephenson imagina alors d'établir à chacune des extrémités de la ligne une puissante machine fixe, chacune de ces machines faisant tourner deux tambours de grand diamètre en sens contraire l'un de l'autre. Un cordage en fil de fer s'étendait tout le long de la voie, d'un des tambours de l'une des machines placé vis-à-vis d'une des deux voies, au tambour de l'autre machine placé à l'autre extrémité de la même voie. Ce cordage s'enroulait sur un des tambours et se déroulait sur l'autre. Chacun des waggons qui devaient être traînés de Londres à Blackwall, ou de Blackwall à Londres (fig. 451), et chacun de ceux qui devaient être conduits d'une station à l'autre, ou d'une station à l'extrémité de la ligne, était attaché à l'un des cordages au moyen d'un crochet à pince, d'une construction particulière.

Ainsi, soient  $LL'$  la station de Londres,  $BB'$  celle de Blackwall; soient  $LB$  et  $L'B'$  les deux cordages, soient  $CDEFH$  les stations intermédiaires; admettons que le cordage  $L'B'$  soit complètement enroulé sur le tambour  $L'$ , tandis que le cordage

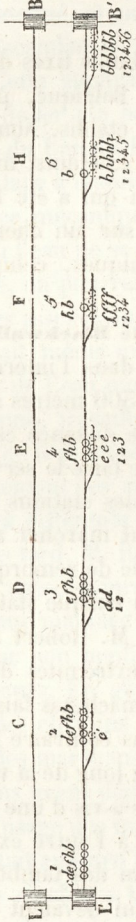


Fig. 431. — Plan incliné de Londres à Blackwall.

$LB$  est enroulé sur le tambour  $B$  : les choses étant dans cet état, on attachait au câble  $L'B'$ , à chacune des stations  $LCDEFH$ , autant de waggon qu'il y avait de stations à desservir dans la direction  $L'B'$ , suivant laquelle le convoi allait marcher. Chaque waggon ne contenait que les voyageurs allant à la même station, et les voyageurs des stations les plus éloignées du point de départ se trouvaient en tête du convoi.

Le convoi de Londres étant prêt, ainsi que ceux des stations intermédiaires, le signal en était donné aux deux extrémités au moyen du télégraphe électrique, et les deux machines commençaient à fonctionner. Chacun des waggons portant un conducteur était détaché subitement de la corde un instant avant d'arriver à la station où il devait déposer ses voyageurs, sans que pour cela les autres waggons cessassent de marcher; il passait dans une des voies de garage  $c, d, e, f, h, b$ , dont l'aiguille était convenablement disposée, et sur laquelle le conducteur l'arrêtait au moyen d'un frein. De cette manière, le waggon ou les waggons placés en tête du convoi à Londres, portant les voyageurs pour Blackwall, arrivaient après avoir laissé en route les waggons postérieurs portant les voyageurs des stations intermédiaires.

Le service se faisait de la même manière en sens contraire de Blackwall à Londres sur l'autre voie.

Les convois partaient de cinq minutes en cinq minutes, comme partaient les omnibus avant l'établissement du chemin de fer. Ce service était très-dispendieux, puisqu'il nécessitait un waggon pour

les voyageurs de chaque station, n'y en eût-il qu'un seul, et un conducteur pour chaque waggon : aussi a-t-il été abandonné depuis quelques années pour faire place à un service par locomotives.

**Plans inclinés de Liège.** — Nous avons déjà parlé du tracé des plans inclinés de Liège<sup>1</sup>.

Nous avons dit qu'ils sont au nombre de deux, rachetant chacun la même hauteur (55 mètres) au moyen de la même longueur (1,980 mètres) et des mêmes pentes convenablement et diversement graduées sur chacun d'eux, le maximum étant de 0<sup>m</sup>,50, le minimum de 0<sup>m</sup>,14.

Ils sont séparés par un palier de 550 mètres, dont 52 dans l'alignement du plan supérieur, 182 en courbe de 550 mètres de rayon et 66 dans l'alignement du plan inférieur. Ces deux alignements forment un angle de 52°. Ils se prolongent également selon deux paliers, l'un au sommet du premier plan, l'autre au pied du second.

Les plans inclinés de Liège sont établis sur toute leur longueur à deux voies, l'une pour la descente, l'autre pour la remonte.

Il y a en outre, au pied de chaque plan, une gare d'évitement pour recevoir les convois qui descendraient avec une trop grande vitesse.

Il existe une gare semblable au sommet du premier, et l'on y loge les voitures abandonnées sur le plateau supérieur, de peur qu'elles ne soient lancées à la descente sans conducteur.

Ces gares communiquent avec la voie principale par une aiguille mise en jeu à l'aide d'un contre-poids que le garde-excentrique soulève au moment du passage du convoi. En outre, comme mesure de précaution et pour s'opposer aux déraillements, la voie descendante est munie intérieurement de contre-rails en bois.

La circulation des convois s'effectue toujours sur la voie de droite dans le sens du mouvement. La gravité suffit à la descente. On pousse les convois à l'aide d'une locomotive sur la pente, et on les abandonne à leur propre poids, dont toutefois on modère l'action à l'aide de freins convenablement disposés.

<sup>1</sup> Voir la description de ces plans, *Annales des ponts et chaussées*, année 1843, p. 129.

A la remonte, le mouvement est déterminé par des machines à vapeur fixes, qui font agir un câble auquel on attache les convois.

Ces machines sont placées sur le palier horizontal. Le bâtiment qui les renferme se trouve au sommet de l'angle des deux alignements; il est rectangulaire, et son grand axe divise cet angle en deux parties égales. Les machines sont à basse pression et construites sur le modèle de celles des bateaux, c'est-à-dire que le balancier, placé sur le sol au niveau de la base des cylindres, reçoit son mouvement de bielles fixées à la tête de la tige du piston et le transmet par une autre bielle à un axe coudé. Elles sont alimentées par six chaudières, de la forme de *celles dites à tombeau*, et qui présentent dans leur intérieur deux conduits longitudinaux dans lesquels passe la fumée avant de se rendre dans la cheminée. Le bâtiment qui renferme ces chaudières est placé vis-à-vis celui des machines dans la concavité de la courbe de raccordement.

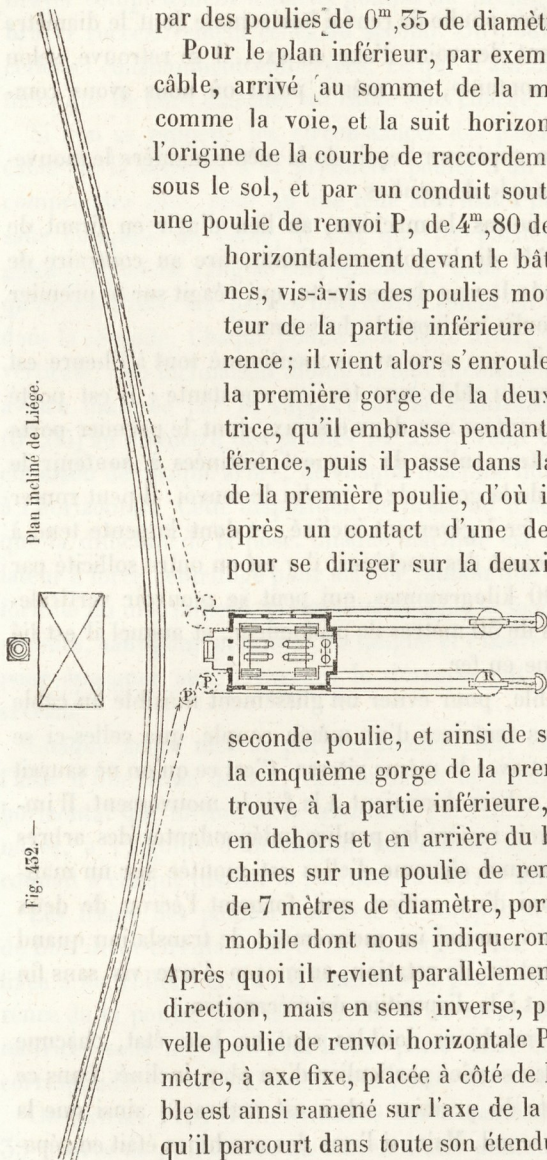
Les machines sont au nombre de quatre; leur force nominale est de 80 chevaux. Elles sont placées d'une manière symétrique autour des deux axes du bâtiment et groupées deux à deux de manière à ne former réellement que deux machines doubles comme celles à deux cylindres des bateaux à vapeur. Chacune de ces machines doubles agit au moyen de deux manivelles à angle droit sur un arbre moteur horizontal perpendiculaire au grand axe du bâtiment, et, par suite, parallèle à la voie du milieu du palier.

A chaque extrémité des deux grands arbres sont placées les poulies motrices sur lesquelles s'enroulent les câbles de traction. Ces poulies ont 4<sup>m</sup>,80 de diamètre de centre en centre des gorges. Elles portent chacune cinq gorges et une jante cylindrique destinée à recevoir l'action d'un frein. Elles sont réunies en deux couples, de même que les cylindres à vapeur, mais inversement à ceux-ci, de sorte que deux poulies d'un même couple sont placées sur deux arbres différents et se trouvent du même côté du grand axe du bâtiment sur une même parallèle à cet axe.

L'un de ces couples sert à la traction sur le plan incliné supérieur, l'autre sur le plan inférieur. A cet effet, un câble sans fin en fil de fer, de 0<sup>m</sup>,05 de diamètre sur 4,800 mètres environ de longueur, se trouve placé selon l'axe des voies montante et descen-

dante de chacun des plans inclinés, soutenu de 10 en 10 mètres par des poulies de  $0^m,55$  de diamètre.

Pour le plan inférieur, par exemple (fig. 452), le câble, arrivé au sommet de la montée, s'infléchit comme la voie, et la suit horizontalement jusqu'à l'origine de la courbe de raccordement; là il pénètre sous le sol, et par un conduit souterrain arrive sur une poulie de renvoi P, de  $4^m,80$  de diamètre, placée horizontalement devant le bâtiment des machines, vis-à-vis des poulies motrices et à la hauteur de la partie inférieure de leur circonférence; il vient alors s'enrouler par-dessous sur la première gorge de la deuxième poulie motrice, qu'il embrasse pendant une demi-circonférence, puis il passe dans la première gorge de la première poulie, d'où il s'échappe aussi, après un contact d'une demi-circonférence, pour se diriger sur la deuxième gorge de la



seconde poulie, et ainsi de suite. Au sortir de la cinquième gorge de la première poulie, il se trouve à la partie inférieure, et va s'enrouler en dehors et en arrière du bâtiment des machines sur une poulie de renvoi horizontale R de 7 mètres de diamètre, portée sur un chariot mobile dont nous indiquerons bientôt l'usage.

Après quoi il revient parallèlement à sa précédente direction, mais en sens inverse, passe par une nouvelle poulie de renvoi horizontale P' de  $3^m,50$  de diamètre, à axe fixe, placée à côté de la première; le câble est ainsi ramené sur l'axe de la voie descendante, qu'il parcourt dans toute son étendue comme il a fait déjà de la voie ascendante; enfin il s'enfonce de nou-

veau sous le sol à 15 mètres environ du plan incliné, et, s'enroulant sur une dernière poulie de renvoi horizontale dont le diamètre mesure l'écartement des voies d'axe en axe, il se retrouve, selon l'axe de la voie montante, au même point où nous avons commencé à le suivre.

Le câble du plan supérieur reçoit de la même manière le mouvement du second couple de poulies.

Toutefois, dans ce cas, la machine, au lieu d'agir en tirant de bas en haut le câble de la voie ascendante, tire au contraire de haut en bas celui de la voie descendante, qui réagit sur le premier au moyen de la poulie horizontale du sommet.

Le chariot mobile que nous avons mentionné tout à l'heure est destiné à conserver au câble une tension constante : il est porté sur quatre roues montées sur deux essieux, dont le premier porte en outre deux petites poulies de support destinées à soutenir le câble à la hauteur de la gorge de la poulie de renvoi. Il peut rouler sur un chemin de fer légèrement incliné, et dont la pente tend à l'éloigner constamment des machines; il y est en outre sollicité par un poids de 7,000 kilogrammes, qui peut se mouvoir verticalement dans un puits de 50 mètres de profondeur, et auquel il est lié par une forte chaîne en fer.

Il est indispensable, pour éviter un glissement nuisible du câble sur les deux poulies motrices d'un même couple, que celles-ci se meuvent exactement avec la même vitesse. C'est ce qu'on ne saurait obtenir si les deux arbres donnaient à la fois le mouvement. Il importe donc de pouvoir rendre les poulies indépendantes des arbres moteurs. C'est pourquoi chacune d'elles est montée sur un manchon à coulisse muni d'un collier, qui, formant l'écrou de deux vis à extrémités fixes, prend un mouvement de translation quand celles-ci en reçoivent un de rotation, au moyen d'une vis sans fin dont la manivelle est à la disposition du mécanicien.

Quand les deux machines doubles sont en bon état, chacune d'elles est affectée au service particulier d'un plan incliné. Dans ce cas, la poulie droite du premier arbre est embrayée ainsi que la poulie gauche du second. Mais, si l'une des machines était en réparation, l'autre suffirait au service : il n'y aurait en effet qu'à dé-



brayer complètement les deux poulies du premier arbre et à embrayer successivement celles du second. On pourrait même laisser celles-ci constamment embrayées, ce qui n'aurait d'autre inconvénient que de faire marcher un câble sans charge.

Si l'on se rappelle les circonstances des passages successifs du câble de la seconde à la première poulie d'un même couple, on comprendra que, pour qu'une telle alternance puisse se produire sans obliquité du câble, il faut que les parties supérieures des gorges de même rang se correspondent dans les deux poulies, et qu'au contraire les parties inférieures soient en avance d'un rang dans la seconde. Chaque poulie doit donc avoir, par rapport à la verticale, une inclinaison moitié de leur inclinaison mutuelle, c'est-à-dire mesurée par le rapport de la demi-distance des gorges ( $0^m,05$ ) au diamètre des poulies ( $4^m,80$ ). Telle est par suite l'inclinaison de chaque arbre, de chaque machine double, par rapport à l'horizontale. Cette disposition ne présente d'autre inconvénient que la difficulté de la pose. Chaque machine est munie d'un régulateur à force centrifuge pour arriver, autant que possible, à l'uniformité du mouvement, si importante dans la manœuvre des plans inclinés, tant pour diminuer la fatigue et l'usure de la corde que pour épargner aux voyageurs le désagrément d'un mouvement saccadé.

Chaque arbre moteur porte également une vis sans fin qui, à l'aide d'une roue dentée, communique le mouvement à un axe horizontal qui lui-même le transmet, par l'intermédiaire d'engrenages, à l'aiguille d'un cadran horizontal, au moyen duquel on connaît à chaque instant la position du convoi sur le plan incliné.

Les freins des poulies motrices se composent d'une forte pièce de bois demi-circulaire de  $0^m,16$  de largeur sur  $0^m,12$  d'épaisseur, fixée à un collier en fer : il embrasse à peu près la demi-circonférence de la poulie. Les deux freins d'un même couple de poulies motrices sont liés à un seul levier placé entre ces deux poulies et correspondant à une manivelle à la portée du mécanicien.

On extrait l'eau d'alimentation des chaudières d'un puits de 30 mètres de profondeur au moyen d'une petite machine spéciale de huit chevaux; mais, pour économiser, autant que possible, la

force consacrée à cet usage, on recueille l'eau des condenseurs dans de grands bassins, d'où elle retourne ensuite aux chaudières.

Il est urgent de pouvoir donner rapidement des signaux d'une extrémité à l'autre des plans inclinés. L'appareil que l'on emploie pour y parvenir se compose d'une cloche verticale en tôle suspendue par une courroie à un axe horizontal autour duquel s'enroule en sens contraire une autre courroie qui supporte un contre-poids servant à équilibrer la cloche, de sorte que celle-ci s'élève ou s'abaisse sans difficulté par suite d'un mouvement de rotation imprimé à l'axe. Cette cloche plonge en partie dans un réservoir plein d'eau; elle couvre l'une des extrémités d'un tube en forme de siphon renversé qui, s'élevant d'une part au-dessus du niveau de l'eau, de l'autre monte verticalement le long de la paroi extérieure de la cloche jusqu'au-dessus de la plate-forme qui supporte l'axe et la manivelle avec lesquels on met la cloche en mouvement. A côté de ce tube s'en trouve un autre qui se prolonge souterrainement jusqu'au point où le signal doit être transmis. Les orifices de ces deux tubes sont couverts par un tiroir analogue à celui qui règle la distribution de la vapeur dans les machines. Ce tiroir, mû par l'intermédiaire d'un levier tournant à frottement doux autour de l'axe qui sert à mouvoir la cloche, peut, selon qu'on abaisse ou soulève celle-ci, mettre en communication les deux tubes entre eux, ou le tube du réservoir avec l'air extérieur et le tube d'avertissement avec un sifflet.

Dans le premier cas, l'air de la cloche, étant comprimé, va par le tube souterrain donner le signal à l'endroit voulu; dans le second, l'air rentre dans la cloche par le tube du réservoir, et le tube d'avertissement sert à recevoir un contre-signal attestant que le premier a été entendu.

Quatre appareils de cette espèce sont placés aux quatre extrémités des deux plans inclinés, et établissent la correspondance de ces extrémités entre elles avec le mécanicien. A cet effet, deux tubes parcourent toute la longueur de chacun des plans inclinés. L'un réunit les appareils du pied et du sommet d'un même plan, de sorte que les signaux y cheminent tour à tour dans les deux sens. L'autre établit simplement la communication entre le pied du plan

inférieur ou le sommet du plan supérieur et un sifflet situé au milieu du palier, et dont le seul but est de donner directement au mécanicien, placé sous le péristyle du bâtiment des machines, l'ordre de commencer ou d'arrêter la marche.

Il est probable que cet appareil très-ingénieux a été remplacé par le télégraphe électrique, depuis que l'emploi de ce nouveau système s'est répandu.

Il est indispensable que chaque convoi ait avec lui un frein puissant, tant pour modérer sa vitesse lorsqu'il descend par son propre poids que pour prévenir les accidents en cas de rupture de câble à la remonte.

On a construit à cet effet des waggons spéciaux à six roues et de 6 mètres de longueur qui portent en même temps la pince d'accrochage pour la remonte. Le frein adapté à ces grands waggons agit directement sur les rails, et non sur les roues, comme dans le cas ordinaire. Nous l'avons décrit et représenté page 271.

Enfin, d'après les règlements concernant les convois de voyageurs, la moitié des voitures doivent être munies de freins ordinaires. Ces freins suffiraient même généralement à la descente, et l'on n'en exige d'autres que la nuit ou pour les convois de plus de huit waggons. Néanmoins, comme il monte à peu près autant de convois qu'il en descend, et qu'à la remonte l'emploi des deux waggons-freins, l'un en tête, l'autre en queue, a été jugé indispensable, il faut bien les faire descendre, et, dans ce cas, on les place toujours en avant.

La pince d'accrochage portée par le waggon-frein se compose de deux mâchoires : l'une, fixe, est un peu supérieure au câble; l'autre, mobile, est un peu inférieure. On place d'abord le câble sur cette dernière, que l'on relève ensuite au moyen de leviers en la serrant contre la première. Elle est maintenue dans sa position définitive au moyen d'un déclie qu'il suffit ensuite de lâcher pour que la pince abandonne le câble.

La section transversale des deux mâchoires réunies est justement celle du câble; mais sa section longitudinale est un arc de cercle dont la concavité est tournée du côté du sol. Le câble affecte conséquemment cette courbure lorsqu'il est serré par la pince. Cette

disposition augmente le frottement du câble et des mâchoires, seule force qui produise l'ascension. Certains waggons-freins sont munis de deux pinces semblables.

Sur un plan incliné desservi par une machine fixe au chemin de Liverpool à Manchester on emploie comme frein une espèce de traîneau attaché derrière le train.

Ce traîneau est composé d'un châssis rectangulaire dont les deux longrines sont garnies en dessous de plates-bandes en fer à rebords. Ces plates-bandes reposent sur les rails. Aux deux longrines sont aussi fixés deux épais plateaux en bois s'élevant verticalement au-dessus du rail et évidés circulairement du côté du convoi. Cet appareil, étant très-léger, n'oppose qu'une très-faible résistance au mouvement ascendant du convoi; mais, si la corde vient à casser, le dernier waggon reculant, les roues de derrière de ce waggon viennent se loger dans les entailles circulaires des plateaux. Le frottement des plates-bandes, devenant alors considérable, arrête graduellement le convoi. Ce traîneau ne peut malheureusement être d'aucun usage à la descente.

**Dispositions diverses des tambours.** — M. Heiger, ingénieur à Styring-Vendel, qui a fait une étude spéciale de la disposition des plans inclinés, adresse à la disposition adoptée pour les machines du plan incliné de Liège les reproches suivants :

1° Le machiniste, éloigné de la voie, ne peut pas la surveiller facilement ; 2° les poulies de renvoi exigent une dépense de premier établissement et une dépense journalière d'entretien ; 3° ces poulies absorbent par leur frottement une quantité assez forte de travail ; 4° enfin l'usure du câble, que l'on a cherché à éviter dans le double enroulement, n'en a pas moins lieu dans la courbe de faible rayon qu'on est obligé de parcourir en passant sur ces poulies, auxquelles on ne peut guère donner un diamètre de plus de 1<sup>m</sup>,50.

On a, sur d'autres plans inclinés, placé les tambours au-dessus ou au-dessous de la voie.

Le tambour placé au-dessus de la voie doit se trouver à une hauteur telle, que le waggon puisse passer dessous.

Cette disposition est simple; on lui reproche cependant la nécessité de jeter le câble de côté pour le passage des waggons sous le

tambour, qui peut aussi le soulever en cas de retard dans le décrochage.

Deux murs élevés de chaque côté du chemin sont destinés à porter l'arbre des tambours; l'écartement de ces murs devant être restreint autant que possible à cause de la longueur de l'arbre, le passage se trouve resserré en cet endroit, où la manœuvre des waggons a lieu, ce qui est une cause grave d'accidents.

Les tambours étant au-dessous de la voie, le passage du waggon n'est plus intercepté; mais cette disposition n'exige plus la construction d'une fosse assez profonde, et la largeur de la voie limite celle du tambour, de telle sorte que, lorsque le plan incliné a une certaine étendue, le câble s'enroule plusieurs fois, ce qui en accélère l'usure.

On trouve un exemple de cette disposition à Montluçon, sur un plan incliné de 600 mètres de longueur, avec une pente de 0<sup>m</sup>,20. La vitesse des waggons sur ce plan atteint quelquefois 5 mètres par seconde.

Sur ce même plan incliné le garde-frein, logé dans une petite tour, au sommet, peut ainsi observer parfaitement la marche du train depuis son départ; une sonnette le met en communication avec le machiniste. Les hommes placés dans le bas du plan incliné donnent un signal semblable dans le haut, et ceux placés dans le haut le donnent à ceux placés dans le bas.

La machine peut encore se trouver entre les deux voies, comme à Hirsbach, et ces voies, au sommet du plan, changent de direction par des courbes, de manière à éviter la rencontre du bâtiment de la machine. Cette disposition permet de placer la machine sur le sol sans creuser de fosse.

Le train se composant de plusieurs waggons, ces waggons sont isolés ou réunis par deux chaînes qui passent de chaque côté et maintiennent le dernier par une traverse en bois garnie de tôle. Un petit waggon, porteur de cet attelage, précède le train. Arrivé au sommet, on transporte ce waggon sur l'autre voie en l'accrochant à une chape que l'on manœuvre avec un levier suspendu à un chariot roulant sur un poteau placé au-dessus du chemin.

**Plan incliné de Styring-Vendel.** — Nous décrirons enfin, comme plan incliné pouvant servir de modèle pour une construction de ce

genre, celui de Petite-Ronelle en construction à Styring-Vendel, plan incliné dont les projets ont été rédigés par M. l'ingénieur Heiger, après avoir visité et examiné sérieusement la plupart de ces constructions existant en France.

Sur ce plan incliné, quatre rails seront placés tout le long de la rampe, à  $1^m,50$ , avec entre-voie de  $1^m,40$ ; à 25 mètres du sommet, sous les rails, sont placés deux tambours d'un diamètre de  $5^m,50$ , avec une largeur de  $0^m,85$ , pour éviter la torsion de l'arbre; ces deux tambours seront réunis par un troisième d'un diamètre plus petit. Le mouvement leur est communiqué par une machine oscillante à deux cylindres sans volant, afin qu'on puisse l'arrêter immédiatement.

A 18 mètres du sommet du plan incliné se trouve placée une poulie, support du câble, d'un diamètre de  $1^m,70$ , mobile sur son axe, pour lui permettre de suivre toutes les directions du câble dans son mouvement de translation sur le tambour. A partir de ce point, à des distances de 10 mètres en 10 mètres, se trouvent placées d'autres poulies du diamètre de 200 millimètres seulement fixées sur leur arbre, dont les fusées tournent sur de petites crapaudines. Ces poulies sont montées sur des charpentes boulonnées aux traverses de la voie.

Outre ces poulies et entre chacune d'elles, afin d'éviter autant que possible le frottement du câble sur le sol, trois sabots en bois sont placés au milieu de l'intervalle qui existe entre deux poulies consécutives.

La vitesse du waggon doit être de 4 mètres par seconde, sa charge nette de 10,000 kilogrammes, et le diamètre du câble 30 millimètres. Ce waggon, arrivé au sommet, se décroche mécaniquement, et, en vertu de sa vitesse acquise, il continue sa marche; par là, la voie se trouve débarrassée immédiatement et sans danger; un waggon vide, qui se trouve en station, peut descendre sans aucun retard pendant qu'un plein monte, la même manœuvre ayant été opérée en bas.

Pour le travail de nuit, le waggon montant porte une lanterne rouge, celui descendant une blanche.

La durée du parcours des convois, sur chacun des plans inclinés

de Liège, est en moyenne de six minutes, tant à la montée qu'à la descente, ce qui représente une vitesse d'environ 6 mètres par seconde et de 20 kilomètres à l'heure. Ce résultat correspond, pour la remonte, à 24 tours de poulie par minute, et par conséquent à 24 coups de piston. A la descente, la plus grande vitesse que pourrait prendre un convoi de 60 tonnes, maximum de la charge des convois, serait de 159 kilomètres à l'heure; il n'y a donc qu'à la modérer suffisamment par les freins pour arriver à un parcours régulier de 360 mètres par minute.

En ajoutant au temps du parcours des deux plans le moment d'arrêt qui a toujours lieu sur le palier intermédiaire, et qui varie de trois à six minutes, la durée du parcours total est de 15 à 18 minutes. Mais, en remarquant que, par suite de la division en deux plans et de la disposition qui affecte une machine au service de chacun d'eux, on peut faire monter à un convoi le plan inférieur aussitôt que le convoi précédent a commencé son ascension sur le plan supérieur, et de même pour la descente, on sera conduit à ne compter plus que dix minutes d'intervalle entre deux départs successifs. On voit qu'il serait possible de remonter ainsi 6 convois dans une heure, et facilement 70 par jour, ce qui représente un passage d'au moins 560 voitures ou waggons chargés.

Aux États-Unis on se sert de plans inclinés pour remplacer les écluses sur les canaux, toutes les fois qu'il devient nécessaire de racheter des chutes considérables. Les bateaux, placés sur des chariots, auxquels on les amarre, sont alors remontés tout chargés sur ces plans inclinés au moyen de mécanismes qui sont mis en mouvement à l'aide de l'eau du canal lui-même.

Un des plus beaux exemples de l'emploi de ces plans inclinés est celui que nous offre le canal Morris, décrit par M. Michel Chevalier. Ce canal, pour rejoindre le Passaic, affluent de l'Hudson, franchit un contre-fort élevé de 231<sup>m</sup>,80 au-dessus de l'une des extrémités du canal et de 278<sup>m</sup>,77 au-dessus de l'autre. Il offre ainsi une pente et contre-pente de 510<sup>m</sup>,57.

On trouve encore des plans inclinés à machines fixes ou automoteurs, remplaçant des écluses dans les grandes mines de charbon des environs de Manchester et en Silésie.

La longueur des plans inclinés n'est pas limitée comme celle des plans automoteurs. Elle est souvent considérable. La pente peut en être très-roide; toutefois il ne conviendrait pas de dépasser celle de 5 à 4 centimètres, si on voulait y effectuer un transport de voyageurs. Avec une pente plus forte, la rupture d'un câble peut occasionner de très-graves accidents.

#### SYSTÈME ATMOSPHÉRIQUE.

Bien que la plupart des ingénieurs considèrent le système atmosphérique comme définitivement condamné, nous ne croyons pas devoir en supprimer la description du *Traité élémentaire*. On s'occupe sérieusement dans ce moment de trouver le moyen d'établir des chemins de fer dans les pays de hautes montagnes. L'étude de ce système peut conduire à la solution du problème. Nous croyons, d'ailleurs, qu'il ne saurait être inutile de faire l'histoire d'un système qui a menacé, il y a quelques années, de détrôner les locomotives.

Le système atmosphérique diffère essentiellement du système funiculaire par le mode de transmission de l'action du moteur aux waggons.

**Système anglais.** — Medhurst, ingénieur danois, a proposé déjà, en 1810, d'appliquer le principe du système atmosphérique au transport des marchandises, des lettres et des journaux. Mais il faisait voyager ces objets dans l'intérieur d'un tube au lieu de les placer à l'extérieur, comme nous le verrons plus loin.

Valence, plus tard, essaya de faire circuler les voyageurs mêmes dans l'intérieur d'un tube en bois qu'il posa sur la route de Brighton. Une pareille tentative ne pouvait être couronnée de succès.

Medhurst ensuite, perfectionnant ses premières idées, chercha à transmettre l'action d'un piston glissant dans un tube à des waggons placés extérieurement, au moyen d'une tige se mouvant dans une ouverture ou rainure longitudinale pratiquée dans la partie supérieure de ce tube, rainure qu'il bouchait avec une soupape hydraulique. Cet appareil fut encore abandonné, parce qu'il ne pouvait être employé que sur un chemin constamment de niveau.

Un ingénieur américain, Pinkus, prit à Londres, en 1834, un



brevet pour fermer la rainure longitudinale au moyen d'une soupape en corde ; mais cette soupape ne réussit pas mieux que la soupape à eau. Pinkus essaya ensuite de nouveaux moyens avec le même insuccès.

MM. Clegg et Samuda enfin imaginèrent une soupape qui est aujourd'hui employée sur le chemin de Saint-Germain, et dès ce moment le système atmosphérique fut en état de prendre place parmi les moyens de locomotion, et rivalisa, momentanément du moins, avec le système des locomotives.

Il existe deux manières d'employer le système atmosphérique, celui *par aspiration* et celui *par compression*.

Le système par aspiration est le seul qui ait été appliqué sur une grande échelle. Il consiste à poser au milieu de la voie, dans toute la longueur du parcours, à quelques interruptions près, un gros tube en fonte dans lequel se meut un piston à la tige duquel est fixé l'un des waggons du convoi (fig. 435) par une barre d'atte-

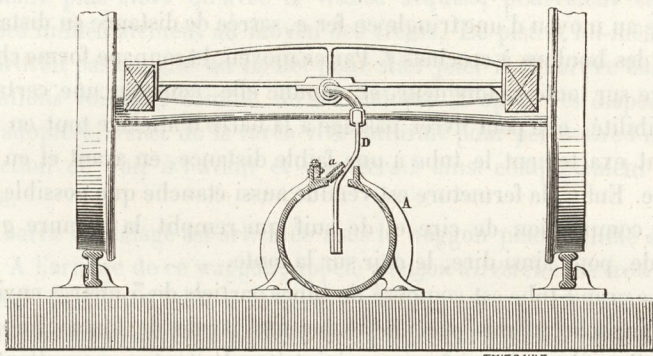


Fig. 435.

lage D. Une fente longitudinale ménagée à la partie supérieure du tube livre passage à cette barre. Entraînée par le piston en mouvement, elle glisse dans la rainure et entraîne elle-même le convoi. La rainure est recouverte par une soupape *a*. Cette soupape se soulève pour laisser passer la barre *D* et se referme en arrière. La machine fixe, à l'aide d'une pompe pneumatique, fait le vide dans le grand tube sur l'une des faces du piston, qui est alors chassé par

la pression de l'atmosphère agissant sur l'autre face. Le tube est fermé aux deux bouts par des soupapes spéciales. Tel est le principe du système atmosphérique par aspiration. Nous en compléterons la description en entrant dans quelques détails sur les différentes parties qui composent l'appareil.

La soupape qui ferme la rainure n'est autre chose qu'une lanière en cuir continue (fig. 454), consolidée par des lames de fer *c* et *d*

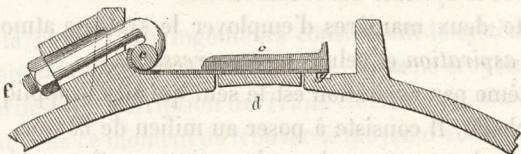


Fig. 454.

de même longueur, placées en dessus et en dessous, et réunies par des rivets. La bande de cuir est fixée sur l'un des côtés de la rainure au moyen d'une tringle en fer *e*, serrée de distance en distance par des boulons à crochets *f*. Par ce moyen, la soupape forme charnière sur toute sa longueur, et, comme elle, conserve une certaine flexibilité; elle peut livrer passage à la barre d'attelage tout en fermant exactement le tube à une faible distance, en avant et en arrière. Enfin, la fermeture est rendue aussi étanche que possible par une composition de cire et de suif qui remplit la rainure *g*, et soude, pour ainsi dire, le cuir sur la fonte.

Le grand tube est composé de tubes partiels de 5 mètres environ de longueur, réunis par une emboîture garnie de filasse imbibée d'huile et de suif, qui forme un joint étanche tout en permettant les dilatations et les contractions du métal.

Le piston est double : il se compose essentiellement de deux espèces de calottes, de cuir embouti, fixées sur la tige. La disposition est telle, que les bords s'appliquent par la pression de l'atmosphère contre les parois du tube, enduites préalablement d'une couche de graisse.

Des deux côtés et au droit de la barre d'attelage la tige du piston est munie de galets (fig. 455) qui soulèvent la soupape avant le

passage de la tige et la maintiennent ouverte sur une certaine longueur. Enfin, à l'extrémité opposée au piston se trouve un contre-poids qui équilibre tout l'appareil et empêche le piston proprement dit d'appuyer dans le bas du tube. La longueur de la tige doit être telle, que dans aucune circonstance la soupape ne puisse être soulevée au droit du piston.

La barre d'attelage n'a pas une épaisseur très-considérable, mais son excessive largeur la met pour ainsi dire à l'abri de toute chance de rupture. On a prévu du reste les effets d'une force vive qui serait le résultat soit d'un obstacle sur le chemin de fer, soit de quelque entrave à la marche du piston dans le tube longitudinal; la tige est reliée à cet effet au waggon directeur par un système d'assemblage dont l'organe principal est un boulon en bois qui se romprait par l'effet d'un choc violent, de telle sorte que le piston serait ainsi détaché de toutes les voitures du convoi. Les voitures, si l'arrêt provenait du piston et non d'un obstacle sur la voie, ne marchant plus alors qu'avec la vitesse acquise, pourraient être arrêtées immédiatement au moyen des freins. Le piston lui-même ne partirait pas comme un boulet pour aller jeter le désordre dans les stations voisines, comme on l'a indiqué. D'après les dispositions adoptées, l'effet de la force vive suffirait pour permettre l'introduction de l'air à l'avant et annulerait ainsi complètement la vitesse.

La barre d'attelage est articulée sous le waggon placé en tête du train. A l'arrière de ce waggon, appelé *waggon directeur*, se trouve un galet manœuvré, soit à bras, soit par un contre-poids, qui referme la soupape après le passage de la tige. Quelquefois on place sous le waggon directeur un petit fourneau chargé de combustible enflammé (*voir la fig. 435*), qui fond la graisse de la rainure et soude ainsi la soupape sur son siège après le passage du piston.

Dans les stations où le train doit pouvoir passer sur des voies de garage et aux passages à niveau où une route croise le chemin de fer, le tube est nécessairement interrompu. En ces points, le piston devra donc pouvoir entrer dans le tube et en sortir librement. Mais, d'un autre côté, on ne peut faire d'avance le vide dans ce tube que s'il est exactement fermé à ses deux extrémités au moyen de

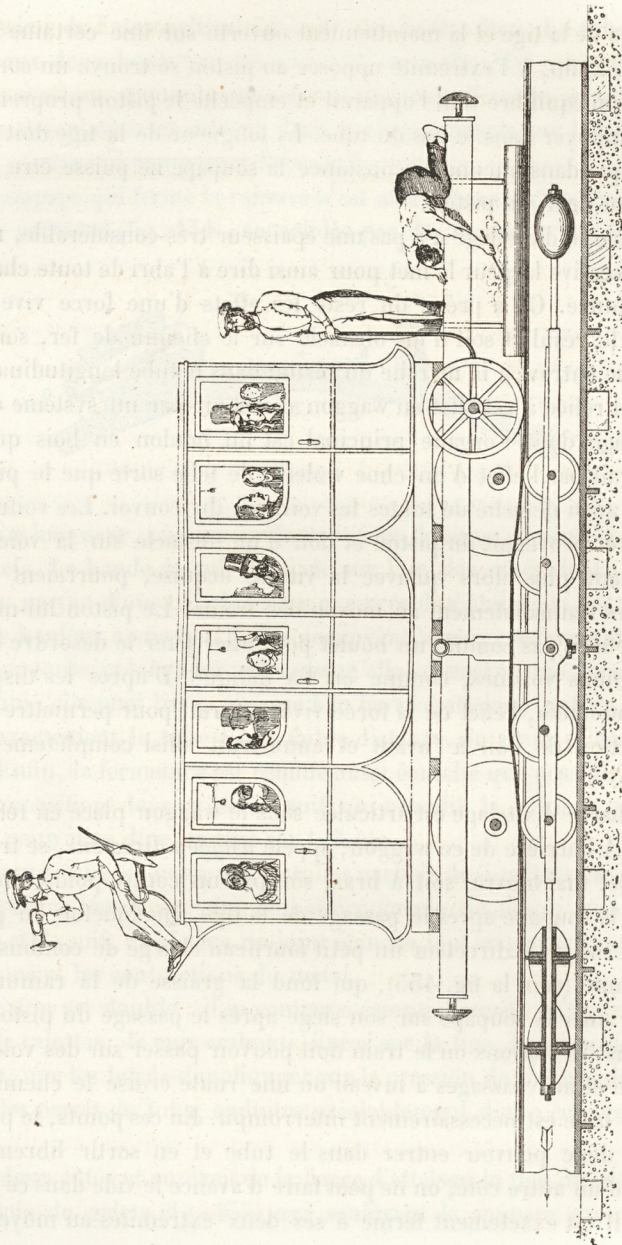


Fig. 455. — Waggon directeur, système atmosphérique.

soupapes, l'une dite d'entrée (fig. 436), l'autre dite de sortie (fig. 438).

Les extrémités du tube sont évasées en entonnoir afin de faciliter

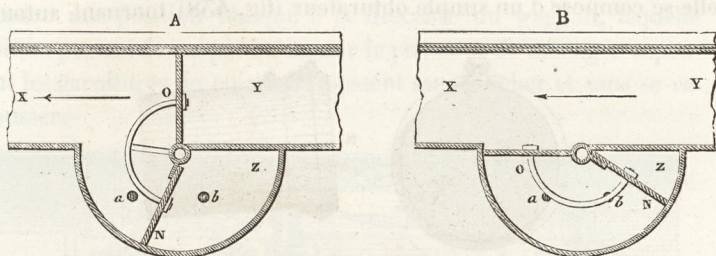


Fig. 456 et 457. — Soupape d'entrée.

l'entrée du piston. A une faible distance de l'entonnoir se trouve la soupape d'entrée, représentée fermée dans la figure A 456 et ouverte dans la figure B 457. Cette soupape se compose de deux parties O et N pouvant tourner autour d'un axe commun, la première dans le tube, qui, en ce point, a ses parois verticales à partir du diamètre horizontal, la seconde dans une chambre semi-cylindrique venue de fonte sous le tube. Le vide étant fait en X et la capacité Z communiquant avec l'air extérieur (fig. A 456) par le tube Y et par l'orifice *b*, les faces de droite des deux soupapes seront pressées par l'atmosphère, tandis que leurs faces de gauche ne recevront que l'action de l'air raréfié en X. Au moment où l'on donne le signal du départ, on met en communication les deux orifices *a* et *b* au moyen d'un tiroir analogue à ceux des locomotives; l'air contenu dans la capacité Z se précipite dans le tube X, et l'obturateur, pressé alors par l'air extérieur sur la face droite de la soupape O seulement obéit à cette pression, prend la position (fig. B 457) et livre passage au piston, qui est aspiré aussitôt par le vide du tube. On ramène à la main et au moyen d'un levier la soupape à sa position (fig. A) aussitôt que le convoi est passé; quant à la manœuvre du tiroir, elle se fait tantôt à la main, tantôt par l'intermédiaire des roues du train, qui pressent un levier saillant sur les rails H (fig. D 440). Souvent la soupape N est remplacée par un piston qui se meut dans un cylindre dont la capacité supérieure

s'ouvre dans le tube, tandis que la capacité inférieure, close, peut être, à volonté, mise en communication avec l'atmosphère ou avec le vide au moyen d'un tiroir. La soupape de sortie est plus simple : elle se compose d'un simple obturateur (fig. 438) tournant autour

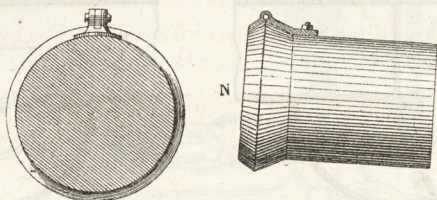


Fig. 438. — Soupape de sortie.

d'un axe horizontal placé dans le haut. Le tuyau qui établit la communication entre la machine pneumatique et le tube s'embranché sur celui-ci à une certaine distance de la soupape. Tant que le piston se trouve en amont (à droite) de ce tube, l'air qu'il refoule devant lui est aspiré par la machine pneumatique, et la soupape reste appliquée sur son siège par l'effet de la pression atmosphérique qui agit sur la face gauche. Mais, dès que le piston a dépassé le tuyau d'aspiration, l'air qu'il refoule devant lui augmente de pression, parce qu'il cesse d'être enlevé par la machine, et sa tension finit par devenir supérieure à celle de l'atmosphère ; alors la soupape se relève autour de son axe et donne passage au piston. Si le chemin était à une seule voie, il faudrait à chacune des extrémités du tube une soupape d'entrée et une autre de sortie.

**Système de Saint-Germain.** — Au chemin de Saint-Germain les dispositions du tube et de la soupape longitudinale sont sensiblement les mêmes que sur le chemin irlandais. Le piston ainsi que les soupapes d'entrée et de sortie seules sont différents.

La description suivante de ce piston et de ces soupapes est extraite de l'excellent ouvrage de M. Armengaud, intitulé : *Publication industrielle des machines, outils et appareils*.

Le piston (fig. 439) est simplement composé d'une tige à fourchette F reliée par le boulon a et par les boulons b, qui servent d'axes aux disques G. Cette tige se prolonge pour s'assembler avec

le porte-galets et reçoit, avec les attaches de la conduite ordinaire *r* des manomètres, le levier *H*, qui sert à faire basculer les disques ou plateaux autour de leur centre comme charnière, de manière à prendre une position oblique à la descente du waggon, laquelle position permet de ne pas retourner le piston et de ménager cependant les garnitures de cuir, qui passent sans toucher et sans se rebrousser.

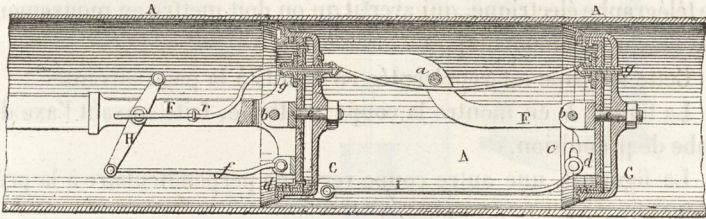


Fig. 459. — Piston du chemin de Saint-Germain.

Cette disposition a permis de simplifier tout l'ensemble, qui se compose maintenant de la tige *F*, et des deux disques précités *G*, formés d'une cuvette en fonte sur les bords de laquelle viennent se poser les garnitures embouties *c*. Un second disque intérieur *d*, formé de l'assemblage de feuilles de tôle, vient s'appliquer sur le côté opposé des cuirs et les serrer fortement par la tige taraudée *e*.

Voyons maintenant à l'aide de quels moyens on est parvenu à produire facilement la position d'obliquité. Le levier *H* forme la suite d'une longue tringle qu'on manœuvre de la plate-forme du waggon, et, comme son extrémité inférieure porte la tige *f*, boulonnée à une saillie intérieure du premier disque, il s'ensuit que le mouvement imprimé à la première de ces pièces se reproduit sur le premier plateau, et par conséquent sur le deuxième, qui s'y trouve relié par la bielle. On a eu le soin de tenir la conduite du manomètre un peu longue, afin qu'il n'y ait ni rupture ni allongement lors de l'opération; cette conduite est d'ailleurs en tissus flexibles, imperméables à l'air et à l'eau, et est assemblée solidement avec les boîtes en bronze *g*.

Le train du waggon est disposé de manière à pouvoir :

- 1° Débrayer ou embrayer le piston à volonté ;

2° Modérer la vitesse de ses roues au moyen d'un frein puissant et énergique;

3° Enfin, manœuvrer le galet de fermeture de la soupape longitudinale<sup>1</sup>.

Lorsque le piston est introduit dans le tube, il s'agit de faire le vide devant lui; mais, pour le faire avec fruit, on intercepte toute communication au moyen d'une *soupape d'entrée*, et l'on fait agir le télégraphe électrique, qui avertit qu'on doit mettre en mouvement les machines pneumatiques.

Cette soupape est représentée en détails à la page suivante.

La figure A en montre la coupe verticale, faite suivant l'axe du tube de propulsion.

La figure B, une autre coupe verticale perpendiculaire à la précédente.

Et enfin la figure C, une élévation extérieure parallèle à la figure A, et vue du côté du mécanisme.

Nous supposons un train montant à Saint-Germain : lorsqu'on a fermé la soupape en agissant sur le levier B, elle intercepte la communication entre la partie du tube dans laquelle on fait le vide et celle dans laquelle se trouve le piston, et par suite le convoi. A la première évacuation d'air enlevé par les premiers coups de piston des pompes pneumatiques, l'équilibre de pression étant rompu sur les deux faces du clapet ou soupape d'entrée O, cette dernière, basculant librement autour de l'axe *j*, qui lui sert de charnière, tend à retomber à sa position normale, car elle n'est retenue que par le secteur en fonte *k* et son contre-poids *l*, qui deviendraient bientôt insuffisants. On a donc été dans l'obligation d'exercer sur la face en contact avec la partie purgée une pression factice qu'on est maître d'établir ou de retirer à volonté. Voici ce qui a été imaginé à cet effet : la partie du tube de propulsion dans laquelle se meut la soupape d'entrée est munie à sa base d'une tubulure *m*, à laquelle est boulonné le cylindre D. L'intérieur de celui-ci, fondu avec un orifice supérieur *n* et un orifice inférieur *o*, ouverts à l'air libre, reçoit le piston à garniture de cuir E, qui se relie avec le

<sup>1</sup> Nous renvoyons pour de plus amples détails à l'ouvrage de M. Armengaud.



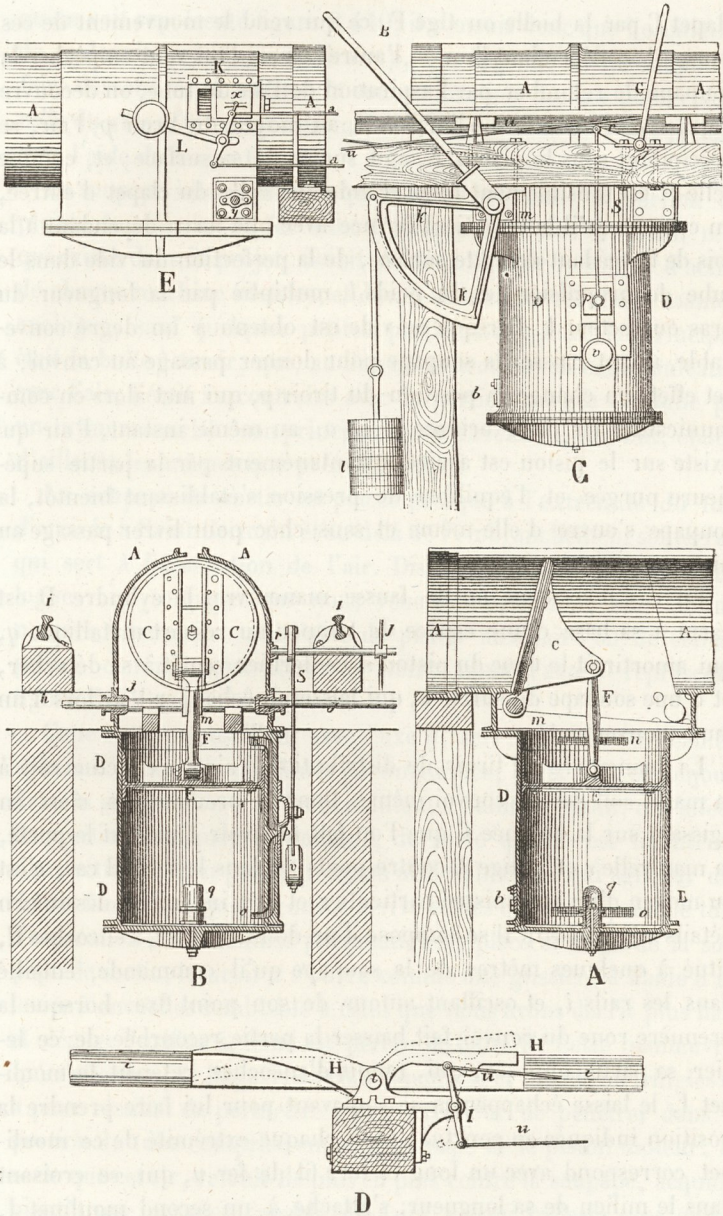


Fig. 440. — Soupape d'entrée et de sortie de Saint-Germain.

clapet C par la bielle ou tige F, ce qui rend le mouvement de ces deux pièces dépendant l'un de l'autre. Or, si l'on veut empêcher la soupape de retomber par l'aspiration de l'air du tube, on découvre l'orifice *o*, et l'on ferme l'orifice *n*, au moyen du tiroir *p*; l'air, se précipitant sous le piston E, agit sur toute sa surface; et, comme celle-ci est sensiblement plus grande que celle du clapet d'entrée, on conçoit qu'il la maintient fermée avec une force dépendant à la fois de l'excédant de cette surface, de la perfection du vide dans le tube de propulsion, et du poids *l*, multiplié par la longueur du bras ou secteur *k*. Lorsque ce vide est obtenu à un degré convenable, il faut baisser la soupape pour donner passage au convoi; à cet effet, on change la position du tiroir *p*, qui met alors en communication les deux orifices *n* et *o*; au même instant, l'air qui existe sur le piston est aspiré instantanément par la partie supérieure purgée, et, l'équilibre de pression s'établissant bientôt, la soupape s'ouvre d'elle-même et sans choc pour livrer passage au piston moteur.

En cas d'accident ou de fausse manœuvre, le cylindre D est garni à sa base d'une espèce de tampon ou ressort métallique *q*, qui amortirait le choc du piston si ce dernier venait à se détacher, et d'une soupape de sûreté *b*, qui laisserait échapper l'air lors d'un faux mouvement.

La manœuvre du tiroir de distribution d'air *p* s'effectue soit à la main, soit par le convoi même. Dans le premier cas, c'est en agissant sur la poignée G que l'on fait mouvoir l'axe qui le porte, la manivelle *r* et la tige à contre-poids S; dans le second cas, c'est au moyen d'un mécanisme particulier et fort ingénieux dessiné en détails (fig. D 440). Il se compose d'un double levier, à encoches H, situé à quelques mètres de la soupape qu'il commande, entaillé dans les rails *i*, et oscillant autour de son point fixe. Lorsque la première roue du convoi fait baisser la partie recourbée de ce levier, sa partie opposée, qui, munie d'encoches, retenait le moulinet I, le laisse échapper en se soulevant pour lui faire prendre la position indiquée en ponctué; mais chaque extrémité de ce moulinet correspond avec un long et fort fil de fer *u*, qui, se croisant dans le milieu de sa longueur, s'attache à un second moulinet J,

qu'on voit représenté figure B 440; il s'ensuit donc que l'oscillation de ce dernier a fait agir le tiroir  $p$ , que le poids  $v$  tend toujours à faire descendre, et a fermé la communication de l'air pour établir celle du vide. On remet à la main les choses dans leur état primitif avec l'aide du levier G.

La soupape intermédiaire, qui n'existe pas dans la portion exploitée du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, mais qui existe dans le projet, devait servir à limiter la sphère d'action de chaque machine motrice, et devait se manœuvrer d'une manière analogue, sauf quelques petites particularités dont la principale était la boîte à tiroir, qui, au lieu de se trouver en communication avec l'air, l'était au contraire avec la portion purgée du tube par un tuyau recourbé : son principe, son mouvement, son but, étaient d'ailleurs les mêmes que précédemment.

La soupape de sortie est placée presque à l'extrémité du tube d'arrivée à Saint-Germain et au delà de l'embranchement souterrain qui sert à l'évacuation de l'air. Disposée sur des principes analogues aux soupapes que nous venons d'examiner, elle se manœuvre néanmoins sans l'aide de piston auxiliaire ou de contre-poids, comme nous allons le voir; nous l'avons représentée figure E 440.

Cette soupape, oscillant avec l'axe  $y$ , sert à limiter la dernière sphère d'action des machines pneumatiques; à cet effet et toujours dans la supposition d'un train montant à Saint-Germain, elle affecte la position indiquée en ponctué, de sorte qu'elle est maintenue dans cette position par la pression atmosphérique qui agit sur une de ses faces. Lorsque le convoi arrive et dès qu'il a dépassé le tube d'aspiration des machines pneumatiques, placé en deçà de la soupape de sortie, le tiroir  $x$  s'ouvre comme une glissière à l'aide d'un levier à encoches semblable à celui que nous avons décrit plus haut et dégage l'orifice  $z$ , dont est percée la boîte K. Cette manœuvre, qui s'effectue par l'équerre à contre-poids L et les fils ou tringles  $a$ , a pour résultat de permettre à l'air extérieur de pénétrer dans la portion du tube comprise entre la soupape et le piston moteur, de sorte que cet air, refoulé de plus en plus contre la soupape, acquiert bientôt une pression capable de faire baisser celle-ci sans aucun

mécanisme, et débarrasse ainsi le convoi de tout obstacle, lui laissant continuer sa marche par la seule vitesse d'impulsion jusqu'à la sortie du tube.

Dans les gares, les voies sont disposées comme dans les chemins à locomotives. A chaque branchement le tube est interrompu, et le convoi, ayant à sa tête le waggon directeur qui porte le piston, franchit l'interruption du tube en vertu de sa vitesse acquise. Pour rendre les manœuvres possibles, il faut nécessairement que chaque tronçon de tube communique par ses deux extrémités avec la machine pneumatique, et il faut de plus que cette communication puisse être interrompue à volonté, d'un côté ou de l'autre. Enfin, comme dans les manœuvres de gare il faut souvent parcourir la même voie en sens inverse à de très-courts intervalles, il faut être en état de faire le vide très-rapidement dans chaque tube, ce qui force à établir une machine puissante à chaque station.

Les passages à niveau se construisent de deux manières différentes : ou l'on pose les rails et le tube au fond de rigoles profondes que l'on recouvre, pour donner passage aux voitures, de plaques de tôle épaisses que l'on fait enlever par le gardien du passage à niveau à l'approche du convoi (fig. 441), ou bien le passage à ni-

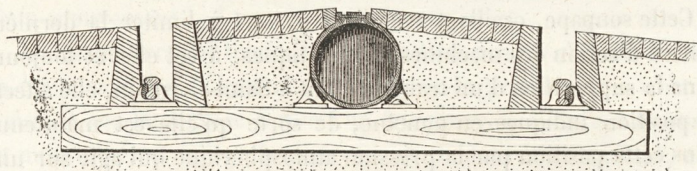


Fig. 441. — Passage à niveau avec tube enterré.

veau ressemble à ceux des chemins de fer ordinaires, et le tube, interrompu sur toute la largeur de la route, est muni de une ou deux soupapes à ses extrémités, selon que le chemin est à une ou deux voies. Les deux portions du tube sont alors mises en communication par un conduit souterrain (fig. 442).

Nous n'entrerons dans aucun détail à l'égard des machines pneumatiques employées à faire le vide dans le tube; ces machines ressemblent beaucoup aux souffleries des hauts fourneaux, si ce n'est

que leur action est inverse, puisqu'elles aspirent l'air dans le tube pour le refouler ensuite dans l'atmosphère, tandis que les machines soufflantes des usines métallurgiques puisent l'air dans l'atmosphère pour le lancer ensuite sur le combustible en ignition.

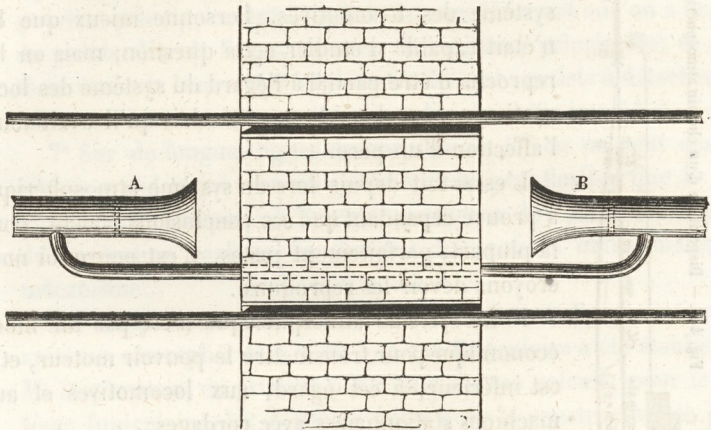


Fig. 442. — Passage à niveau avec tube interrompu.

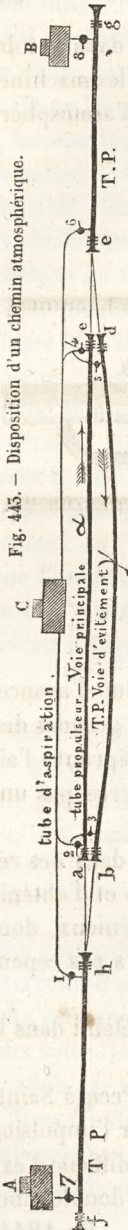
L'écartement des machines fixes ne peut être déterminé d'avance; néanmoins il convient de ne pas les placer à de trop grandes distances les unes des autres, afin que le frottement qu'éprouve l'air lancé par le piston en se mouvant dans le tube n'exerce pas une contre-pression trop considérable.

M. Arnollet a proposé d'accumuler la force motrice dans des réservoirs clos afin de profiter de tout l'effet des machines et d'obtenir une raréfaction disponible constante. Ce système ingénieux, dont M. Lamé a fait l'éloge dans un rapport à l'Institut, n'a pas cependant, à notre connaissance, reçu d'application.

La figure 443 représente l'ensemble d'un chemin établi dans le système atmosphérique avec voie d'évitement.

Sur les chemins à pente forte, comme celui du Pecq à Saint-Germain, un seul tube suffit. La descente s'opère par l'impulsion seule de la gravité. Mais sur des pentes faibles il paraît difficile d'exploiter régulièrement un chemin de fer sans établir un double tube.

**Opinions diverses sur le système atmosphérique.** — En 1844,



au moment où l'attention du public était le plus vivement attirée sur le système atmosphérique, M. Robert Stephenson rédigea un mémoire sur les avantages et les inconvénients du système atmosphérique comparé au système funiculaire et au système des locomotives. Personne mieux que lui n'était capable d'étudier cette question; mais on lui reprocha d'être partial à l'égard du système des locomotives, pour lequel on prétendait qu'il avait toute l'affection d'un père.

L'essai fait depuis lors du système atmosphérique a prouvé cependant que ses conclusions étaient, pour la plupart, parfaitement justes. C'est pourquoi nous croyons devoir les reproduire.

1° Le système atmosphérique n'est pas un mode économique pour transmettre le pouvoir moteur, et il est inférieur, à cet égard, aux locomotives et aux machines stationnaires avec cordages;

2° Il n'est pas capable d'acquérir et de maintenir dans la pratique de plus hauts degrés de vitesse que ceux qu'on obtient par le service actuel des locomotives;

3° Il ne produirait pas, dans la majorité des cas, une économie dans la construction primitive de la voie, et dans beaucoup d'autres il augmenterait matériellement les frais d'établissement;

4° Le système atmosphérique serait le plus convenable sur quelques chemins de fer de courte étendue où le mouvement de circulation est considérable et permet d'avoir des trains d'un poids modéré, mais exigeant de grandes vitesses et de fréquents départs, lorsque, en outre, la surface du pays est de nature à ne pas permettre des pentes convenables pour les locomotives;

5° Le système atmosphérique pourrait être avantageusement appliqué sur de courtes lignes de railways,

par exemple sur celles de 7 à 8 kilomètres, dans le voisinage des grandes villes, où l'on a besoin d'une communication fréquente et rapide, mais seulement entre les stations principales;

6° Le système atmosphérique est inapplicable sur de courtes lignes, comme celle de Blackwall, où le mouvement de circulation provient principalement de points intermédiaires et où l'on a besoin de points d'arrêt fréquents entre les stations principales; ce système étant de beaucoup inférieur à celui qui consiste à détacher les voitures d'une corde pour la commodité du trafic immédiat;

7° Sur de longues lignes de chemins de fer on ne peut desservir un grand trajet avec un système aussi peu flexible que le système atmosphérique, où l'opération efficace de l'ensemble dépend de l'exécution parfaite de chacune des sections individuelles du mécanisme.

La comparaison des frais d'établissement et d'exploitation du système atmosphérique et du système funiculaire a été établie par M. Stephenson, en prenant pour base de ses calculs, pour le système funiculaire, les dépenses faites pour la construction et pour l'exploitation du plan incliné de Euston, sur le chemin de Birmingham, et, pour le système atmosphérique, celles faites pour la construction et l'exploitation du chemin de Dalkey à Kingstown. Il a eu égard, bien entendu, aux conditions différentes dans lesquelles se trouvait la voie sur les deux lignes.

En ce qui concerne la comparaison entre la dépense d'établissement et d'exploitation dans le système des locomotives et dans le système atmosphérique, il a pris pour base de ses estimations la dépense de la locomotion au moyen de locomotives sur le chemin de Londres à Birmingham, et celle de la locomotion au moyen de l'appareil atmosphérique sur le chemin irlandais.

Aujourd'hui que les locomotives ont été considérablement perfectionnées, les résultats de calculs semblables seraient bien plus favorables au système des locomotives qu'ils ne devaient l'être en 1844, époque à laquelle M. Stephenson a publié son mémoire.

La comparaison du système atmosphérique au système funiculaire a été faite aussi par deux ingénieurs belges, M. Maus, ingénieur des ponts et chaussées de Liège, aujourd'hui inspecteur gé-

néral en Piémont, et M. Belpaire, ingénieur-mécanicien. Ces messieurs, envoyés en 1846 par le gouvernement belge en Irlande, pour y étudier le système atmosphérique dans le but d'établir cette comparaison, ont rédigé, à leur retour, un rapport dont voici les conclusions :

« 1° Considéré sous le rapport théorique, l'air dilaté, employé par MM. Clegg et Samuda, comme moyen de transmission de mouvement, peut restituer tout l'effet dynamique dépensé à le raréfier, sans autre perte de force que celle employée à dilater le volume d'air contenu dans le cylindre de la pompe pneumatique ;

« 2° En pratique, on n'obtient, sur le chemin de Kingstown à Dalkey, qu'un effet utile qui peut varier de 0,19 à 0,20, selon le degré de dilatation de l'air.

« En supprimant la conduite établie entre la pompe et le tube pneumatique ou propulseur, l'effet utile augmenterait et varierait de 0,25 à 0,51.

« Enfin, s'il n'existait ni conduite intermédiaire ni rentrée d'air, l'effet utile s'élèverait entre 0,51 et 0,40.

« Les différences entre l'unité et les nombres 0,69 et 0,60 expriment donc les pertes de force dues aux frottements et résistances divers, tant de la machine motrice que de la pompe pneumatique.

« 3° L'effet utile est à son maximum lorsque l'air intérieur a une tension  $0^{\text{at}},55$ , et correspondrait à la tension intérieure de  $0^{\text{at}},44$ , s'il n'y avait pas de rentrée d'air.

« 4° Appliquant la machine de Dalkey à des tubes de diverses longueurs, l'effet diminue en raison de la longueur du tube, dans une proportion d'autant plus rapide que l'air est plus dilaté ; le maximum, qui pour la longueur de 1 kilomètre est 0,55, devient 0,24 pour 5 kilomètres ; le degré de dilatation est, en outre, limité par la longueur du tube : ce degré, pour une longueur de 5 kilomètres, ne peut guère dépasser  $0^{\text{k}},575$ , qui correspond à une pression dynamique sur le piston de  $0^{\text{at}},625$ .

« 5° Le système de traction de MM. Clegg et Samuda, comme tous les autres systèmes, exige une dépense qui croît avec la vitesse.

« 6° Le système atmosphérique, agissant d'une manière inter-



mittente et n'exerçant que des efforts assez faibles, exige une double voie plus impérieusement que les câbles.

« 7° Lorsque l'on emploie les câbles pour transmettre des efforts à de grandes distances, l'effet utile décroît à mesure que la vitesse et la longueur augmentent, mais dans une proportion différente, et qui est plus rapide pour la vitesse que pour la longueur.

« L'effet utile dépend d'ailleurs du rapport que l'on établit entre la résistance produite par le poids des convois et les résistances passives du mode de transmission.

« L'effet utile des machines des plans inclinés de Liège, remorquant des convois ordinaires de 50 à 60 tonneaux, à la vitesse de 20 kilomètres, est de 0,60, et pour un parcours d'environ 2,000 mètres; cet effet utile se réduirait à 0,558 pour une vitesse double, et à 0,656 pour une longueur double.

« 8° Établissant le parallèle entre les câbles et le système atmosphérique, en rendant les conditions aussi égales que le permet la nature différente de ces deux modes de traction, nous trouvons que, pour desservir une distance de 5 kilomètres appartenant à une grande ligne à double voie, la force motrice pour le système atmosphérique est à celle qu'exigent les câbles dans le rapport :

De 100 à 27 pour des vitesses de 20 kilomètres à l'heure.

De 100 à 61 — 40 —

De 100 à 99 — 60 —

« L'effet utile, dans le système atmosphérique, est à l'effet utile des câbles dans le rapport :

De 100 à 274 pour des vitesses de 20 kilomètres à l'heure.

De 100 à 145 — 40 —

De 100 à 89 — 60 —

« 9° Les frais d'établissement des moteurs étant sensiblement, dans les deux systèmes, proportionnels à leur puissance, les câbles ont sur le nouveau système un avantage très-grand pour une faible vitesse, qui décroît à mesure qu'elle devient plus considérable, et l'égalité s'établit à la vitesse d'environ 60 kilomètres à l'heure.

Les frais d'établissement des tubes, comparés aux câbles et à leurs

poulies de support, présentent une différence considérable qui ne s'élève pas à moins d'un demi-million par lieue de 5 kilomètres.

« 10° Les frais d'exploitation comprennent, de part et d'autre, le combustible ; puis, dans le système atmosphérique, les frais de graissage et de surveillance des tubes, l'entretien et le renouvellement des cuirs des pistons et clapets, et, pour le système des câbles, le graissage des poulies de support, l'entretien et le renouvellement des câbles.

« Comparés sous le rapport de la dépense en combustible, les câbles présentent sur le système atmosphérique une économie d'autant plus grande que la vitesse est moindre ; il y a égalité lorsque la vitesse est de 55 kilomètres à l'heure, et avantage en faveur du système atmosphérique pour des vitesses plus grandes ; quant aux autres chapitres de dépense, l'expérience ne permet pas encore d'établir un chiffre exact ; mais la différence en faveur de l'un ou de l'autre système, en égard aux frais de surveillance des tubes, est peu considérable.

« 11° Sous le rapport de la sécurité, les câbles nous semblent offrir les mêmes avantages que le système atmosphérique.

« De ce qui précède il résulte :

« Que sur les portions de chemin faiblement inclinées, ayant égard seulement aux frais d'établissement et d'exploitation, le système des locomotives est préférable au système atmosphérique ;

« Que sur les portions dont l'inclinaison atteint 5 centimètres les frais d'établissement et d'exploitation sont inférieurs pour le système atmosphérique ;

« Que, dans l'état actuel de perfection des deux systèmes atmosphérique et funiculaire, les câbles permettent d'obtenir les divers degrés de vitesse en usage et que l'on ne peut dépasser sans accroissement de dépense, avec la même sécurité et des frais d'exploitation notablement inférieurs, lorsque la vitesse est de 20 kilomètres à l'heure ; égaux, lorsque cette vitesse est de 55 kilomètres, et supérieurs au delà de cette limite ; mais la différence favorable dans ce dernier cas est trop faible pour justifier l'excédant considérable de dépense d'établissement qu'exige le système atmosphé-

rique, qui ne nous paraît, en conséquence, pas susceptible d'une utile application au service ordinaire des chemins de fer.

« Bruxelles, le 8 février 1845. »

Mais les considérations précédentes ne sont pas les seules qui peuvent influencer sur le choix du système de locomotion. Il en est d'autres que l'on doit faire entrer en ligne de compte pour adopter ou pour rejeter le système atmosphérique.

Telles sont les suivantes :

1° On reproche au système atmosphérique, aussi bien et plus encore qu'au système funiculaire, de mal se prêter aux exigences d'un service très-actif. C'est surtout pour le service des grandes gares de voyageurs et de marchandises où les machines concourent avec les hommes à la manœuvre des convois que l'appareil atmosphérique paraît incommode. Admissible peut-être dans certains cas particuliers pour une ligne courte, il présenterait dans son application à de grandes lignes les inconvénients les plus graves.

2° Si le système atmosphérique admet les courbes de petit rayon, il n'en est pas de même du système funiculaire. Ces courbes augmenteraient beaucoup la résistance et l'usure des câbles; aussi a-t-on dépensé des sommes considérables pour les éviter sur les plans inclinés de Liège.

3° Il n'est pas aussi facile, dans le système des machines fixes, d'augmenter ou de diminuer à volonté la force motrice que dans celui des locomotives. L'accroissement du travail journalier avec les machines fixes a une limite, tandis qu'avec les locomotives le travail peut subir une augmentation indéfinie.

4° L'établissement des passages à niveau, sans être impossible avec le système atmosphérique, est plus difficile que dans celui des locomotives.

5° Nous avons vu que, dans le cas où un convoi vient à rencontrer un obstacle sur la voie, le piston du système atmosphérique s'en détachait sans grand effort; mais ce choc n'en a pas moins lieu, et il ne peut être atténué qu'au moyen des freins, tandis que dans le système des locomotives on emploie la machine elle-même pour arrêter le convoi à une certaine distance de l'obstacle.

M. Robert Stephenson, dans l'intéressant rapport que nous avons déjà cité, s'exprime dans les termes suivants sur les difficultés qu'offrirait l'exploitation d'une grande ligne par le système atmosphérique.

« Nous arrivons maintenant à la question d'exactitude relative, et nous voyons que sur ce point le rapport renferme certaines considérations ayant trait à l'application pratique du système atmosphérique, lesquelles militeraient très-sérieusement contre lui, quand bien même la première dépense et les frais d'exploitation seraient en sa faveur. J'ai déjà donné les raisons, dit M. Stephenson, pour lesquelles je regarde une double série de machines comme nécessaire pour exploiter une ligne comme celle de Londres à Birmingham; mais je n'ai fait, dans cette partie du rapport, aucune attention à l'importance d'une double série de machines pour la question d'exactitude, parce que je me bornais alors aux considérations qui affectaient les premiers frais d'établissement et la non-rencontre des trains se dirigeant dans des directions opposées.

« En examinant le système sous le rapport de l'exactitude du service, nous remarquons qu'à chaque distance de 3 à 4 milles les trains sont transférés d'une machine à vapeur à une autre; que chaque train, en s'avancant entre Londres et Birmingham, passerait, pour ainsi dire, par 38 systèmes différents de mécanisme, que l'opération parfaite de l'ensemble dépendrait de chaque partie individuelle, et qu'un accident sérieux, arrivé à une des machines, étendrait son influence immédiatement à la série tout entière. Dans ces circonstances, il est raisonnable de supposer qu'avec une série de mécanisme aussi vaste que celle qui serait nécessaire, des éventualités occasionnant du délai devraient souvent arriver. Si les conséquences affectaient un train seulement, ces éventualités seraient de peu d'importance; mais, quand elles s'étendent, non-seulement sur toute l'étendue de la ligne de chemin de fer, mais même à chacun des trains successifs qui doivent passer dans la localité où l'accident a eu lieu, jusqu'à ce qu'on y ait porté remède, qu'on y emploie une heure ou une semaine, on doit admettre que les chances d'irrégularité sont considérables.

« L'application de la machine la plus voisine pour remplacer

celle qui se trouve en défaut ne fait pas disparaître entièrement la difficulté, elle mitige le mal, mais elle est inadmissible comme remède, puisque chacun des trains successifs éprouverait une diminution égale de vitesse, et que le délai s'appliquerait à chaque train, quelle que fût sa destination, et à chaque railway qui se trouverait en communication avec celui où l'accident aurait eu lieu. Qu'une ligne de chemins de fer dépende ainsi de l'opération uniforme et efficace d'une série compliquée de mécanismes appliqués à une autre ligne avec laquelle elle est en relation, c'est un point qui me paraît présenter une difficulté des plus grandes pour l'application du système à de grandes lignes publiques de railways; cette difficulté est même si grande, que je doute beaucoup qu'on puisse mettre un pareil système à exécution, quand bien même il serait supérieur sur tous les autres points, à celui des locomotives sur une chaîne de railways, telle que celle qui existe entre Londres et Liverpool, ou entre Londres et York.

« Cette difficulté, qui est insurmontable et inhérente à tous les systèmes qui font usage de machines stationnaires, avait fait l'objet d'un sérieux examen avant l'ouverture du chemin de fer de Liverpool à Manchester, parce qu'il était question d'y appliquer les machines stationnaires et les cordages; on pesa mûrement alors l'objection d'après laquelle toute la ligne dépend d'une des parties, et il fut décidé qu'il y avait de fortes objections contre ce système. Dans le cours de mon investigation, je suis de nouveau entré dans un sérieux examen sur la possibilité de s'en servir, mais sans parvenir à éloigner les obstacles qui doivent s'opposer à ce qu'on obtienne cette exactitude d'exécution qui est devenue indispensable dans toute communication par chemin de fer.

« Les évaluations avec leurs conséquences que je viens de mentionner et de discuter ne se rapportent qu'au mécanisme par lequel on transmet le pouvoir moteur; mais les chemins de fer sont encore sujets à d'autres cas fortuits, et l'on ne doit pas les omettre. Le système atmosphérique exige une fondation ferme et constante, pour que le tube d'aspiration se conserve précisément dans sa position convenable pour le libre passage du piston. Il est facile de le maintenir dans cette position de stabilité, dans le cas du chemin

de Kingstown, puisque toute la distance est formée en tranchées et sur le roc; mais, sur des terrassements nouvellement terminés, le terrain baisse, non pas seulement peu à peu, mais d'une manière rapide, ce qui détruit complètement la continuité des rails, et ne laisse tout au plus qu'une seule ligne de rails dont on puisse se servir pour le passage des trains dans les deux directions. Ces éventualités ont lieu dans les déblais et dans les remblais, sur presque toutes les lignes importantes des chemins de fer de ce pays, et elles ont rendu inévitable pendant plusieurs jours de suite l'emploi d'une seule ligne de rails pour les trains allant dans les directions opposées; aucun de nos grands chemins de fer n'en est exempt, quoiqu'il y ait quelques années qu'ils soient ouverts. Il n'y a pas un an que le chemin de fer de Londres à Birmingham a été obligé de se servir dans deux ou trois endroits à la fois de l'expédient dont nous venons de parler, quoiqu'il y eût déjà plus de six ans que la ligne était ouverte à la circulation.

« Mais, comme ce serait allonger ce rapport que de mentionner en détail toutes ces éventualités, comme ce serait, en outre, entamer des questions sur lesquelles il peut y avoir diverses opinions, j'ai préféré mettre de côté tous ces détails de moindre importance et me borner à mentionner les objections qui s'attachent au système d'une manière irréfutable. C'est pour cela que je n'ai pas soulevé les objections qui peuvent exister pour empêcher de desservir un trafic compliqué à des stations intermédiaires d'une ligne de chemin de fer lorsqu'il faut constamment changer la position des voitures d'un train, lorsqu'il faut faire reculer un train en mouvement, mettre les voitures à l'écart dans les voies d'évitement, etc. Je n'ai pas non plus fait allusion à la nécessité qui existe d'avoir des freins puissants et des gardes à chaque voiture afin d'arrêter les trains lorsque la machine continue de donner tout son pouvoir moteur. J'ai cru devoir omettre entièrement ces objections et beaucoup d'autres encore de moindre importance, afin d'appeler seulement l'attention sur les traits principaux de l'invention, et de ne traiter comme une difficulté aucun point qui n'aurait pas été évidemment inhérent au système même, et auquel il y aurait eu moyen de porter remède. »

*Le système atmosphérique paraît donc tout à fait inapplicable pour l'exploitation d'une grande ligne et sur les pentes faibles parcourues habituellement par les locomotives. Il a été abandonné en Angleterre sur les lignes à faibles pentes, auxquelles on avait tenté de l'appliquer. L'expérience en a définitivement condamné l'emploi dans de pareilles circonstances; mais, sur des pentes dépassant 5 centimètres, le service avec locomotives devenant très-dispendieux ou impossible, le système atmosphérique peut alors être susceptible d'application.*

Voici enfin l'opinion de l'ingénieur français le plus compétent sur cette question, M. Flachet, qui a construit et exploité le plan incliné de Saint-Germain. Elle est consignée dans la note suivante, que cet ingénieur éminent a bien voulu nous autoriser à publier :

« Le système atmosphérique ne me paraît pas susceptible d'être appliqué dans les conditions où il se trouve aujourd'hui avec avantage, autrement que sur les plans inclinés; les principales difficultés qui s'opposent à son adoption sur de grandes longueurs consistent dans ses frais d'établissement et dans l'impossibilité de proportionner l'effort aux effets à produire, sans faire varier les dimensions du tube suivant les rampes : je n'aperçois point de solution à cette difficulté.

« Une autre est dans la perte de force qui résulte de l'emploi d'une soupape toujours perméable à l'air.

« La quatrième résulte de l'impossibilité de faire fonctionner économiquement les foyers de machines puissantes pendant quelques minutes seulement de la journée.

« C'est donc uniquement aux plans inclinés que me paraît devoir se borner l'application du système. Mais, sous ce rapport, il présente des avantages très-évidents.

« Le premier est dans la combinaison qu'il permet de l'effort de traction développé par les locomotives avec celui qui est exercé au moyen du tube atmosphérique.

« En supposant le tube placé sous la voie, à un niveau suffisant pour laisser passer le chariot qui porte le piston auquel s'attacherait la machine locomotive, un train pourrait franchir sans retards les hauteurs les plus considérables.

« En prenant pour exemple le chemin de fer de Saint-Germain, dont le plan incliné se compose d'une longueur de 100 mètres, dans laquelle les rampes varient par éléments de 120 mètres, de 0, à 0,035 millimètres par mètre, et d'une rampe de 0,035 millimètres sur un kilomètre d'étendue, la machine locomotive l'*Antée*, pesant 27 tonnes, remonte, lorsque l'état de l'atmosphère assure sa complète adhérence, 14 voitures de voyageurs de 6 à 7 tonnes.

« Le chemin de fer atmosphérique ne peut remonter que 10 voitures de ce poids; mais, si le tube était posé sous la voie, il serait inutile de partager les trains par 10 voitures, et, dans les jours de l'affluence, la possibilité de monter 24 voitures à la fois, par train, ôterait au chemin de fer atmosphérique le grave inconvénient qu'il présente d'une puissance limitée à 10 voitures, très-suffisante pour 340 jours de l'année, mais insuffisante pendant 25 jours de fête ou d'affluence.

« Le chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain n'a jamais failli.

« Il a fait franchir jusqu'à ce jour à 45,000 trains environ la hauteur de 52 mètres par un plan incliné de 2 kilomètres; jamais un accident ne s'est produit; la sécurité du service y est absolue; sa félicité est telle, qu'il me semble mériter à ce titre l'attention la plus sérieuse des ingénieurs.

« Quant à l'économie, elle est évidente : l'application des locomotives à des rampes de 35 millimètres ne peut se faire qu'à la condition de tenir les rails et les bandages dans un état de siccité ou de grande humidité tel, que l'adhérence puisse être complètement obtenue; cette adhérence, qui va jusqu'à 10 et 20 kilogrammes par tonne, se réduit à 6 ou 7 kilogrammes par l'interposition des matières les plus légèrement lubrifiantes : la rosée, le givre, les feuilles d'arbres, la neige, les pluies fines et grasses de l'automne et du printemps, produisent cet effet assez fréquemment pour qu'un service régulier ne puisse être assuré si la voie n'est pas soustraite à leur influence; à ce titre, le plan incliné de Saint-Germain ne pourrait être desservi par des locomotives qu'autant qu'il serait complètement couvert et mis à l'abri de l'influence atmosphérique.



« Mais la combinaison du système atmosphérique et de la puissance des locomotives évitera dans la plupart des cas pour les plans inclinés cette dispendieuse condition.

« Quant à l'économie de l'application en elle-même, on pourrait se dispenser d'en parler en ce sens que le système atmosphérique ne devrait être employé que là où les machines locomotives seraient impuissantes ; cependant il importe de faire remarquer que, si l'on fait abstraction de l'intérêt du capital d'établissement, la dépense de traction par le chemin de fer atmosphérique, remonte et descente comprises, n'est pas beaucoup plus considérable que celle d'un train de marchandises sur les pentes ordinaires, puisqu'elle n'excède pas 1 fr. 90 c. par kilomètre, en y comprenant l'entretien du tube et de la soupape, et en comptant la houille à 55 fr. la tonne.

« Il résulte de cette appréciation qu'aujourd'hui encore toute autre solution que le chemin de fer atmosphérique serait embarrassante pour le service du plan incliné de Saint-Germain.

« De ce point de vue, cherchant les applications du système combiné qui auraient simplifié les grandes difficultés qu'a présentées l'établissement des chemins de fer en France, et qui ont amené une absorption de capital qui a un instant ébranlé les plus brillantes affaires, je citerai la traversée de Rouen, qui eût pu être faite de manière à mettre le chemin de fer en pleine relation avec la ville, au lieu de passer en dessous ; la traversée de Lyon, qui a retardé de plusieurs années la jonction avec la ligne de la Méditerranée ; la traversée de la Nerthe, qui a mis en péril le chemin de Marseille à Avignon ; le passage du faite que traverse le chemin de Lyon à Blaisy ; le plan incliné appelé à relier la gare des marchandises du chemin de la Méditerranée avec le port de la Joliette à Marseille.

« Je crois que dans les solutions qui sont intervenues pour résoudre ces grandes difficultés de l'art les ingénieurs ont fait complètement abstraction du système atmosphérique, et se sont privés par là du moyen de résoudre avec économie et rapidité les difficiles questions que la configuration du sol leur présentait.

« L'application du système atmosphérique à la jonction du réseau français avec les réseaux étrangers à travers les pays de mon-

tagnes qui, dans le midi de la France, rendent cette réunion difficile, ne me paraît pas pouvoir être envisagée d'une manière générale.

« Partout où les faîtes pourront être traversés par des inclinaisons maxima qui ne dépasseraient pas 50 à 55 millimètres, je crois qu'en employant une voie très-forte et des machines locomotives très-puissantes, et en couvrant cette voie d'une galerie pour la mettre à l'abri des influences atmosphériques<sup>1</sup>, on atteindra le but de la manière la plus économique, c'est-à-dire en évitant autant que possible les terrassements et les travaux d'art par l'emploi de rampes très-fortes et très-multipliées, et de courbes très-prononcées.

« L'unique condition à remplir pour profiter de tous les progrès que l'art a fait faire aux machines locomotives est de soustraire celles-ci à l'influence de l'état atmosphérique, qui en affaiblit l'adhérence.

« Mais il est probable qu'il se présentera dans la configuration du sol des dispositions qui forceront de dépasser les limites d'inclinaison indiquées ci-dessus.

« Les faîtes des Pyrénées, par exemple, présentent sur les versants du midi des inclinaisons généralement assez faibles ; sur les versants du nord, au contraire, des inclinaisons très-abruptes.

« Ce phénomène est tellement général, que l'on peut dire que la disposition contraire est exceptionnelle. On assure qu'il en est de même pour les Alpes, dont les versants seraient beaucoup plus abrupts du côté de l'Italie que du côté de la France.

« Cette disposition des lieux peut nécessiter des rampes d'une inclinaison supérieure à celles que les locomotives peuvent franchir.

« Dans ce cas, l'emploi du système atmosphérique me paraît le plus susceptible de tous de fonctionner d'une manière complètement indépendante de l'état de l'atmosphère, et, en conséquence,

<sup>1</sup> Nous avons dit ailleurs que la voie dans les souterrains était ordinairement recouverte de matières grasses qui diminuent l'adhésion. Cela tient principalement à la chute de l'eau chargée de terre qui suinte souvent de la voûte. Le même effet n'aurait pas lieu sur des voies au-dessus desquelles auraient été établis des combles courbes en fer ou en bois comme ceux que proposerait sans doute M. Flachet pour les mettre à l'abri des influences atmosphériques.

je n'hésiterai pas à en conseiller l'emploi, en prescrivant de l'établir immédiatement aux dimensions nécessaires pour remorquer, sans être obligé de les partager, les trains que les machines locomotives pourraient amener au pied des rampes.

« A l'aide de ce moyen, je crois qu'il n'est presque pas, parmi les cols reconnus, un seul qui ne puisse être traversé sans souterrain ou avec des souterrains d'une faible longueur.

« La voie devrait alors être établie de manière qu'une certaine quantité de neige tombant sur le sol ne puisse la couvrir, et, dans tous les cas, qu'elle puisse être facilement enlevée; le système atmosphérique présenterait sous ce rapport des moyens infiniment plus efficaces que les machines locomotives.

« On a objecté à l'emploi du système atmosphérique dans les pays de montagnes la difficulté que l'on éprouverait à graisser la soupape dans les temps de gelée.

« Je crois qu'il est possible d'en améliorer la construction de manière à se passer de graisse. S'il était indispensable d'en employer, on pourrait la fabriquer de façon que les basses températures n'eussent qu'une faible action sur elle. J'en ai fait l'expérience jusqu'à dix degrés au-dessous de zéro.

« Je ferai enfin une dernière observation sur la longueur des tubes. Je ne voudrais pas dépasser 3 kilomètres de longueur de tubes par machine, et je compterais dans le calcul de l'effort de traction un vide correspondant au plus à 57 cent. d'abaissement du mercure.

« Il y a un inconvénient réel à donner trop de longueur au tube. Je crois que, bien que tous les joints soient faits avec des matières qui ont une certaine élasticité, nous devons attribuer aux mouvements de la dilatation la mobilité de ces joints et les réparations auxquelles ils donnent lieu. Des compensations seraient nécessaires à des distances plus rapprochées que nous ne les avons placées. Cet entretien est d'ailleurs coûteux. »