

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.

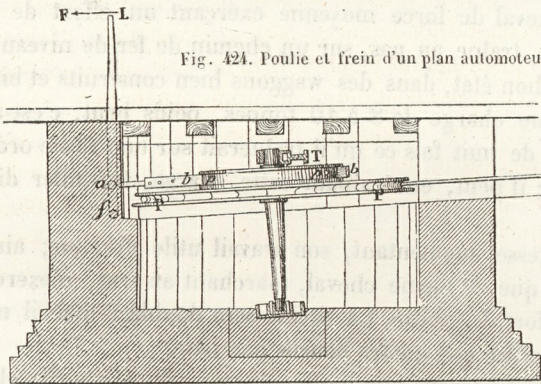


Fig. 424. Poulie et frein d'un plan automoteur.

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

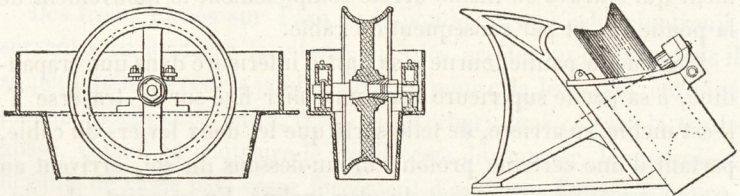


Fig. 425 et 426. — Poulies fixes de plans automoteurs.

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

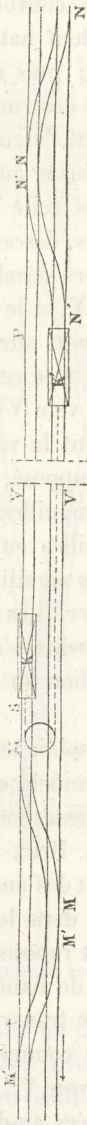


Fig. 427. — Plan automoteur à deux voies.

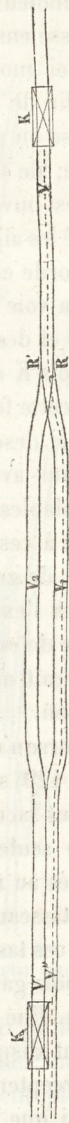


Fig. 428. — Plan automoteur système anglais.



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 430 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.

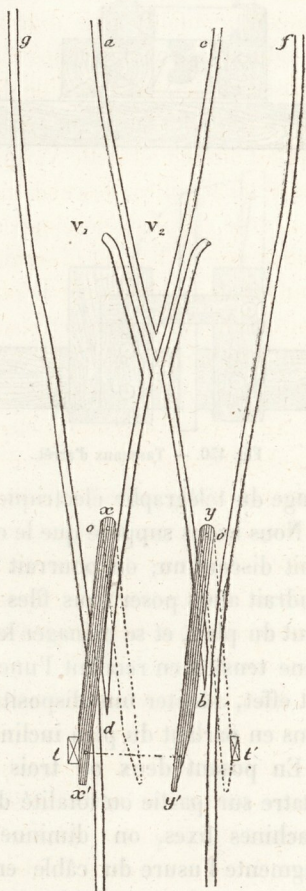


Fig. 429. Aiguilles en bois pour plan automoteur.



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

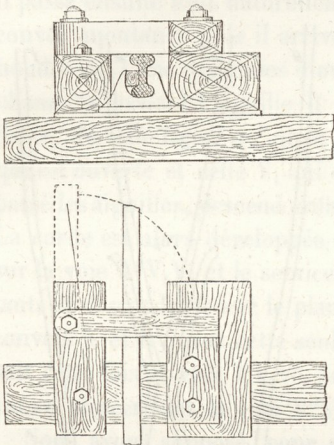


Fig. 450. — Tasseaux d'arrêt.

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.