

## NOTES DE MÉCANIQUE

L'ÉVOLUTION DE LA LOCOMOTIVE, D'APRÈS M. W. P. Marshall (1).

1812. — La locomotive date pratiquement de celle de Blenkinsop, installée en 1812 sur le trainway de la houillère de Middleton à Leeds, où elle fonctionna pendant cinquante ans sur un parcours de 5<sup>km</sup>,3. Cette machine (fig. 1), construite par Matthew Murray de Leeds, pour M. Blenkinsop, avait une chaudière cylindrique de 3<sup>m</sup> × 1<sup>m</sup>,20

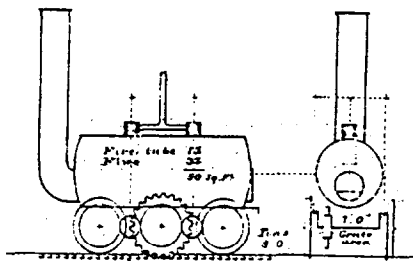


Fig. 1. — Blenkinsop, 1812.

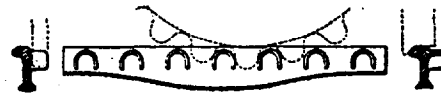


Fig. 1 bis. — Rail à crémaillère Blenkinsop.

de diamètre, avec un seul tube de foyer de 4<sup>m</sup>2,64 de surface de chauffe. Deux cylindres verticaux de 200 millimètres de diamètre, à moitié plongés dans la chaudière, attaquaient par croisillon bielles pendantes et manivelles deux pignons en prise avec une roue dentée engrenant (fig. 1 bis), avec un rail à crémaillère à dents latérales espacées de 150 millimètres laissant la jante de la roue porter sur le talon du rail.

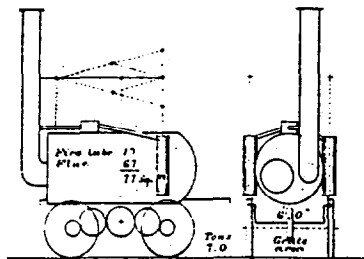


Fig. 2. — Puffing Billy, 1813.

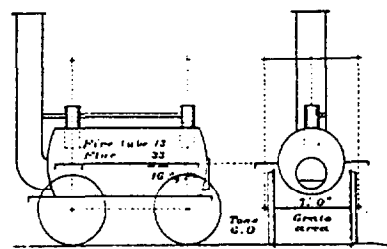


Fig. 3. — Killingworth, 1815.

1813. — La locomotive Puffing Billy sur la ligne de Wylam Colliery (fig. 2), construite par W. Hedley, est la première machine qui fonctionna avec bandages lisses sur rails unis : elle marcha pendant cinquante ans sur un parcours de 8 kilomètres de Wylam à Leamington. Elle est actuellement exposée au musée de South-Kensington.

(1) *Institution of Civil Engineers, London, mars 1898, vol. CXXXIII.*

Chaudière cylindrique de  $2^m,70 \times 1^m,23$ ; foyer à retour de flamme de  $7^m^2,15$  de chauffe. Deux cylindres de 200 millimètres de diamètre, avec enveloppes de vapeur, verticaux, de chaque côté de la chaudière, et commandant les deux essieux moteurs par balancier, parallélogramme, bielle, faux essieu et trains de pignon doublant la vitesse. Actuellement à South-Kensington.

1815. — La Killingworth (fig. 3), première locomotive de Stephenson, fit pendant quarante ans le service de la mine de Killingworth à la Tyne : longueur  $6^m,5$  : pre-

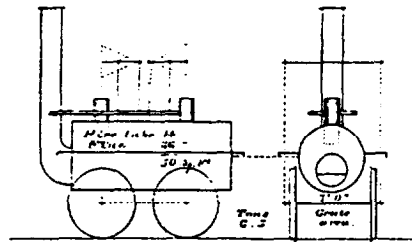


Fig. 4. — Darlington, 1825.

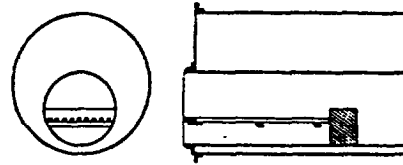


Fig. 4 a. — Grille de la Darlington.

mière machine actionnant ses roues motrices directement par manivelles : chaudière cylindrique de  $2^m,96 \times 1^m,20$ , avec un seul tube foyer de  $4^m^2,64$  de chauffe, grille de  $0^m^2,65$ . Deux cylindres verticaux de 230 millimètres à demi, plongés dans la chaudière, commandant par croisillon, bielles et manivelles, les roues accouplées d'abord par chaînes puis par bielles. Actuellement exposée dans la gare de Newcastle.

1825. — Ouverture du chemin de fer de Stockton-Darlington, longueur 32 kilomètres — avec locomotives de Stephenson analogues (fig. 4 et 4<sub>a</sub>) à la Killingworth : chauffe totale de  $4^m^2,64$ , mais avec cylindres de 250, balancier et parallélogrammes.

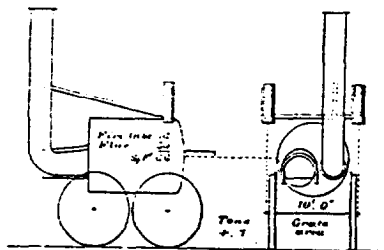


Fig. 5. — Sanspareille, 1829.

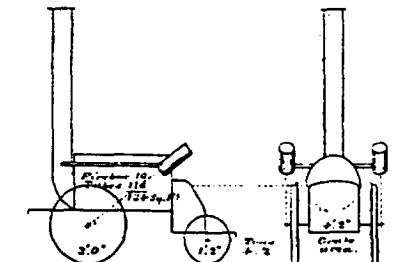


Fig. 6. — Rocket, 1829.

La première de ces machines, qui marcha pendant vingt ans, est exposée à la gare de Darlington.

1829. — La Sanspareille (fig. 5) construite par Hackworth pour le concours de Liverpool-Manchester : plus petite que la précédente en raison de la limitation du poids à  $4^t,12$ , avait une chaudière cylindrique de  $1^m,80 \times 1^m,25$ , avec foyer à retour de flammes de  $1^m^2,49$  de chauffe, grille de  $0^m^2,93$ , dépassant la chaudière de  $0^m,90$ , avec demi-enveloppe d'eau en dessus : boîte à fumée dépassant la chaudière de  $0^m,60$ , avec enveloppe d'eau, chauffe totale de  $6^m^2,13$ . Deux cylindres verticaux de 180 millimètres, attaquant directement par bielles et manivelles les roues d'arrière accouplées à celles

d'avant. Actuellement à South-Kensington. Cette machine ne put parcourir que 13 kilomètres sur les 96 kilomètres du concours, et à la vitesse de 22 kilomètres.

La fusée de Stephenson (fig. 6) parcourut les 96 kilomètres à la vitesse moyenne de 22 kilomètres, y compris les arrêts tous les  $2^{\text{km}},5$ , et maxima de  $38^{\text{km}},5$ ; elle remporta le prix. C'était la seule machine avec chaudière tubulaire cylindrique de  $1^{\text{m}},80 \times 1$  mètre, 25 tubes en cuivre de 76 millimètres de diamètre, chauffe  $10^{\text{m}},96$ , et, boulonnée au corps cylindrique, une boîte à feu séparée de  $0^{\text{m}},60$  de long sur  $0^{\text{m}},95$  en largeur, foyer de  $1^{\text{m}},49$ , à grille de  $0^{\text{m}},39$ , en cuivre, avec muraille d'eau de 63 mil-

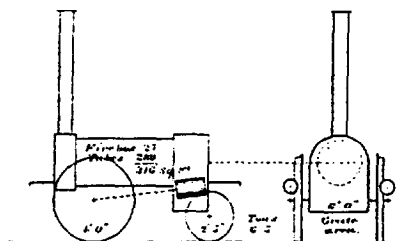


Fig. 7. — Northumbrian, 1830.

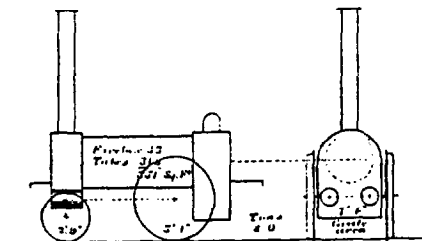


Fig. 8. — Planet, 1830

limètres d'épaisseur sur les côtés et (fig. 24) garnissage réfractaire à l'avant; le haut de la boîte à feu était relié par un tube à la vapeur de la chaudière, et les côtés à son eau par deux tubes latéraux. Deux cylindres inclinés, de 200 millimètres de diamètre, fixés à la boîte à feu, attaquaient directement l'essieu d'avant, à roues de  $1^{\text{m}},40$ . Cette locomotive a marché huit ans sur le Liverpool-Manchester Ry; elle est exposée à Kensington.

1830. — La Northumbrian (fig. 7) avec foyer de  $2^{\text{m}},50$ , grille de  $0^{\text{m}},56$ , prototype des foyers actuels, tubes de  $26^{\text{m}},9$ , et cylindres fixés à la boîte à feu.

La Planète (fig. 8), avec cylindres horizontaux intérieurs sous la boîte à fumée, essieu moteur à l'arrière; type resté en vigueur jusqu'à ce que les dimensions de la locomotive, et l'instabilité causée par le porte à faux du foyer obligèrent, en 1836, à l'addition d'un deuxième essieu porteur (fig. 10) poids 12 tonnes, cylindres de 300 millimètres de diamètre, roues motrices de  $1^{\text{m}},50$ . Foyer de  $3^{\text{m}},06$ , grille de  $0^{\text{m}},69$ , tubes de  $29^{\text{m}},6$ .

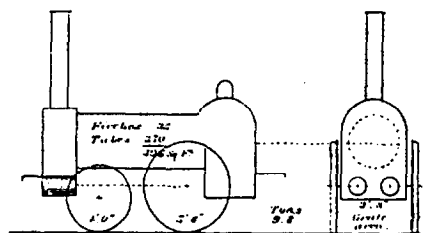


Fig. 9. — Bury, 1837.

1837. — Machines de Bury à quatre roues, longtemps employées exclusivement sur le London and Birmingham Ry, puis abandonnées pour les machines plus fortes à six roues. Foyer de  $3^{\text{m}},25$ . Grille de  $0^{\text{m}},91$ , tubes de  $34^{\text{m}},4$ .

1841. — Locomotive à longue chaudière (fig. 11) construite par Stephenson, avec trois essieux, tous sous le corps cylindrique: longerons en une seule tôle, au lieu de fer et bois, comme dans les types précédents. Cylindres boulonnés aux longerons avec tiroirs verticaux commandés directement par les excentriques au lieu d'être horizontaux et commandés par un renvoi, disposition devenue universelle, sauf en Amérique. Foyer de  $5^{\text{m}},76$ . Grille de  $0^{\text{m}},97$ , tubes de  $88^{\text{m}},2$ .

1850. — Locomotives express de M. Mac Connell (fig. 12), à roues libres de  $2^{\text{m}},13$ ,

cylindres intérieurs de 406 millimètres de diamètre. Foyer de  $13^m,58$  cubes de  $107,^m2$ .

1864. — Locomotives express de Connor (fig. 13), pour le Caledonian Ry. Roues

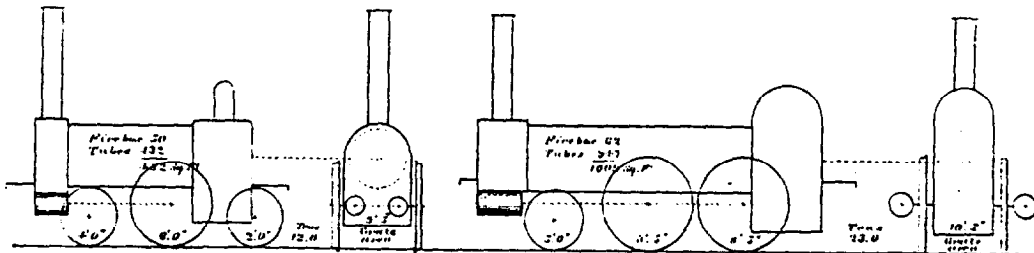


Fig. 10. — Machine à six roues, 1836.

Fig. 11. — Machine à longue chaudière, 1846.

libres de  $2^m,44$ ; cylindres de 406 millimètres; très employées sur ce réseau jusqu'à nos jours; premières machines à roues de  $2^m,44$  sur voie ordinaire. Foyer de  $8^m2,26$ , tubes de  $100^m2$ , grille de  $1^m2,29$ .

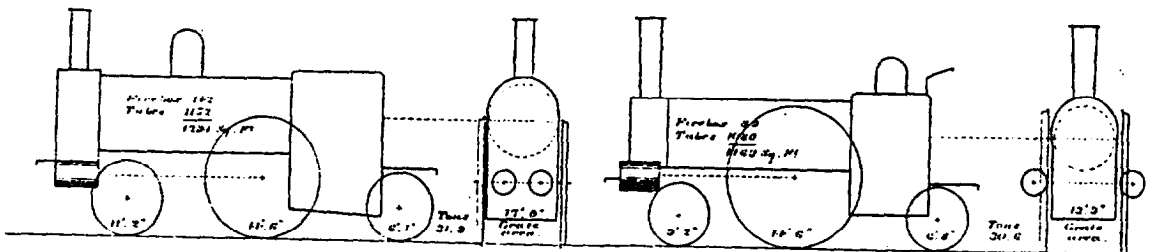


Fig. 12. — London and North Western, 1850.

Fig. 13. — Caledonian, 1864.

1870. — Express de Stirling (fig. 14) à roues libres de  $2^m,44$ , cylindres extérieurs de 460 millimètres. Charge de l'essieu moteur 18 tonnes, avec bogie à quatre roues, aussi chargé de 18 tonnes. Foyer de  $10^m2,12$ , grille de  $1^m2,64$ , tubes de  $86^m2,4$ , poids  $44^t,9$ .

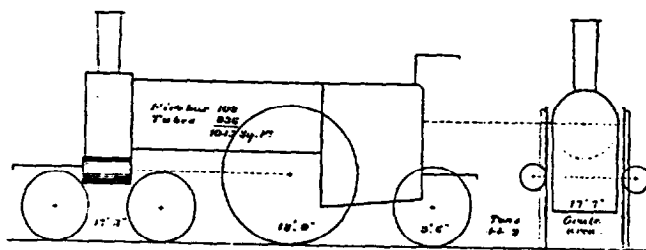


Fig. 14. — Great Northern, 1869.

1895. — Type actuel des express du Great Western (fig. 16) à cylindres de 360 millimètres, quatre roues couplées de  $2^m,10$ , poids 31 tonnes. La disposition des essieux des machines type Marié, du Paris-Lyon (1878) (fig. 15) donne une plus grande stabilité et une meilleure répartition des charges sur les roues motrices, sans obligation de charger l'arrière de la machine d'une masse de fonte allant jusqu'à 3 tonnes. Ce type de machine

s'est répandu sur le continent et sur le London and North Western (machines Compound), mais avec des tubes moins longs et des boîtes radiales à l'avant.

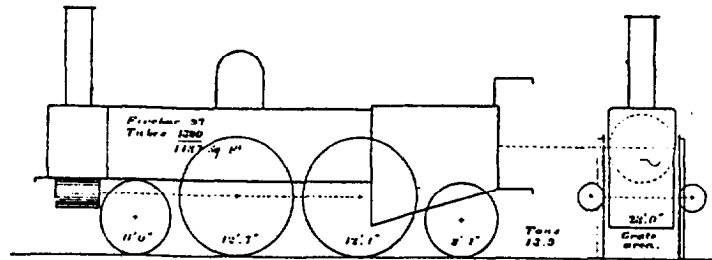


Fig. 15. — Paris-Lyon, 1878. Foyer de 9<sup>m2</sup>; grille 2<sup>m2</sup>,13; tubes 129<sup>m2</sup>.

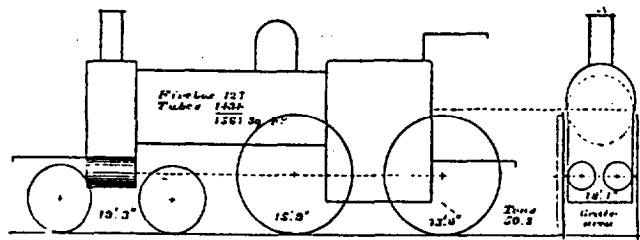


Fig. 16. — Great Western, 1894. Foyer de 11<sup>m2</sup>,8; grille de 1<sup>m2</sup>,63; tubes de 133<sup>m2</sup>.

Le tableau ci-dessous spécifie les principales caractéristiques des locomotives précédemment décrites.

Dates.		Diamètre des cylindres. Mm.	Diamètre des roues motrices. Mètres	Poids de la machine. Tonnes.	Timbre. Kilogr.
1829	La <i>Fusée</i> . . . . .	200	1,40	4	3,5
1830	Planet . . . . .	280	1,50	8	3,5
1836	Machines à 6 roues. . . . .	300	1,50	12	3,5
1843	— . . . . .	380	1,80	18	5,6
1850	— . . . . .	400	2,10	32	7
1864	— . . . . .	445	2,40	30,5	9
1870	Machine à 8 roues . . . . .	460	2,40	45	10
1886	— . . . . .	460	2,10	42	11,5
1895	— . . . . .	480	2,10	48	12
1895	— . . . . .	510	2,10	51	12,5

**CHAUDIÈRE.** — (1830). Les chaudières avaient leurs tôles rivées à recouvrement et se corrodèrent aux rivures par la flexion locale des tôles à chaque mise en pression. (1845) Introduction des rivures longitudinales à couvre-joints simples puis doubles, comme aujourd'hui. Rivures transversales télescopiques à recouvrement. (1860) Essais de joints soudés au lieu de rivures, rapidement abandonnés. (1875) Remplacement des tôles de fer par les tôles d'acier doux, plus résistantes et homogènes. Goussets, puis tirants rivés au corps cylindrique pour armer la chaudière, remplacés par de longs boulons, avec écrous intérieurs et extérieurs, allant de la plaque d'avant à celle d'arrière.

**Tubes.** — (1829). Les tubes de *La Fusée* étaient en cuivre sans viroles. (1833) Rempla-

cement du cuivre par le laiton : trous de la plaque tubulaire agrandis de 1<sup>mm</sup>,5 pour faciliter l'introduction des tubes. (1866) Tubes mandrinés et rabattus puis garnis de viroles au foyer seulement, principalement pour en protéger les bouts de la flamme. Emploi des tubes en fer puis en acier doux avec des eaux s'y prêtant et, souvent, une légère courbure vers le haut pour qu'ils s'arquent tous dans le même sens par la dilatation et ne se touchent pas. (1890) Écartement des tubes porté à 20 millimètres et en rangées verticales, pour faciliter le dégagement de la vapeur. Introduction des tubes à ailettes *Serve*. Chaudière *Flaman* du chemin de fer de l'Est (fig. 31) avec grand dôme de vapeur longitudinal et corps cylindrique rempli par les tubes donnant une grande surface de chauffe sans exagérer la longueur des tubes.

Le tableau ci-dessous donne les principales caractéristiques de l'évolution des tubes.

Années.	SURFACE DE CHAUFFE.			TUBES.			Diamètre du corps cylindrique.	Diamètre des cylindres.	Diamètre des roues motrices.	Poids de
	Total.	Foyer.	Tubes.	Nombres.	Diamètre.	Longueur.				
	M <sup>2</sup> .	M <sup>2</sup> .	M <sup>2</sup> .		Mm.	Mèt.	Mèt.	Mm.	Mèt.	Tonnes.
1830 Planet. . . . .	32,6	3,06	29,54	107	40	2,10	0,90	280	1,50	8
1836 Locomotives à six roues . . . . .	11,81	2,81	38	124	40	2,13	1,05	300	1,50	12
1843 Locomotives de Crewe . . . . .	70,62	4,74	62	158	44	3,15	1,07	380	1,80	18
1858 Dame du Lac. L. N. W. . . . .	101,9	7,9	94	192	48	3,25	1,20	400	2,30	27
1862 Caledonian Ry. . . . .	103	8	100	192	48	3,45	1,18	440	2,50	31
1853 Bristol. Exeter. Voie de 2 <sup>m</sup> ,10. . . . .	117,5	11,5	406	180	44	3,40	1,30	415	2,70	45
1850 Bloomer. L. N. W. . . . .	120,2	13,2	107	195	54	3,60	1,23	400	2,10	32
1883 Brighton Ry. . . . .	133,4	10,4	128	331	40	3,15	1,37	460	2	39
1894 Great Western Ry. . . . .	144,8	11,8	133	266	44	3,50	1,30	500	2,10	50
1880 Tunnel de la Mersey . . . . .	151	11	140	199	50	4,40	1,40	525	1,40	68
1892 New - York - Chicago Express. . . . .	164,4	14,4	150	258	50	3,60	1,46	470	2,20	55
1890 Tunnel de Saint-Clair. Detroit. . . . .	212,6	15,6	197	281	57	4,05	1,53	560	1,25	87

*Échappement.* — L'échappement fut d'abord (fig. 1 à 4) dirigé dans la cheminée directement, sans tuyère spéciale; en 1827, *Hackworth* employait (fig. 17) la tuyère mais sans boîte à fumée, disposition qui conduisit *Stephenson* à celle de la *Fusée* (fig. 18), origine des dispositifs actuels, dont l'évolution est représentée par les figures 19 à 23. En 1860, *Macallan* introduisit sur le Great Eastern l'échappement variable. Le *petticoat* (fig. 21), adopté d'abord en Amérique, puis sur le continent, donne un tirage plus également réparti sur l'ensemble des tubes et plus énergique aux tubes inférieurs : on obtient le même résultat (fig. 22) en garnissant le haut de la boîte à fumée d'une tôle de rabat, avec, en avant, un déflecteur ajustable. L'échappement annulaire d'*Adams* (fig. 23), qui entraîne l'air par une nappe de vapeur très étendue et vers le bas de la

boite à fumée, égalise aussi et augmente le tirage. Enfin, en 1837, Webb améliorait encore cette égalisation en divisant la boite à fumée, par une cloison horizontale médiane, en deux parties ayant chacune leur tuyère et leur cheminée.

*Pare-étincelles.* — C'est en 1864 que fut appliqué le pare-étincelles *Moriarty*, constitué par un cône renversé en toile métallique allant de la tuyère à la cheminée : on a remplacé depuis la toile par des tôles perforées ou des grils plus solides et avertissant quand il s'y produit un trou ; puis, aux États-Unis, on a complété ces pare-étincelles par l'agrandissement de la boite à fumée (fig. 22), jusqu'à 1<sup>m</sup>,30 de long, ce qui permet de diminuer le diamètre des trous des tôles perforées sans en réduire la section.

*Cheminée.* — Les cheminées, en général cylindriques, sont parfois coniques, mais

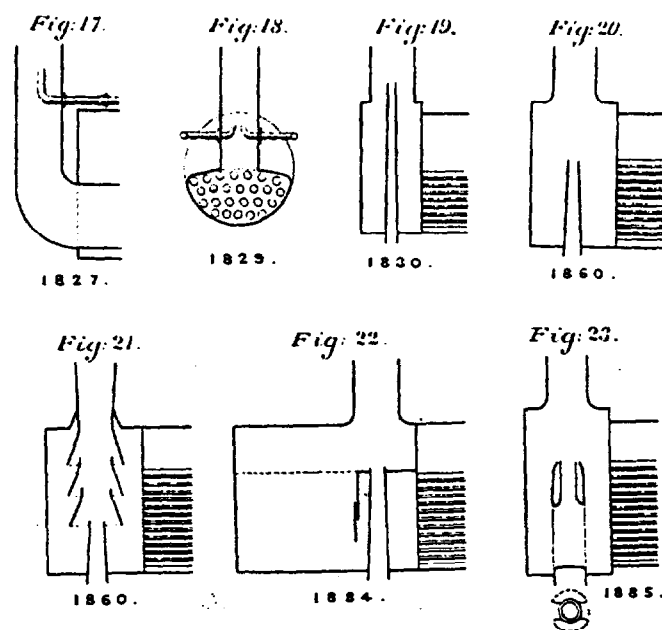


Fig. 17 à 23. — Évolution de la boite à fumée.

sans grand avantage à cause de leur faible longueur. En Belgique, avec les grandes grilles à menus, on a adopté, pour adoucir le tirage, de grandes cheminées carrées en fonte.

*Foyer.* — La Northumbrian, qui suivit immédiatement la Fusée, fut la première locomotive à foyer semblable à ceux des machines actuelles, mais sans l'emploi de l'armature à poutrelles du ciel, amorcée seulement par (fig. 25) quatre barrettes longitudinales : puis, à mesure qu'augmentaient la pression de la vapeur et les dimensions du foyer, ces barres s'allongèrent (fig. 26) jusqu'à prendre en 1830 (fig. 27) leur forme actuelle de poutrelles appuyées sur les tôles d'avant et d'arrière du foyer. On remarquera, dans ce foyer de 1830, l'emploi d'un bouilleur divisant la grille en deux parties, dispositif qui, d'abord très répandu, ne tarda pas à disparaître. En 1862, certains foyers avaient jusqu'à 2<sup>m</sup>,10 de long ; on eut alors recours aux poutrelles transversales (fig. 29), puis (fig. 30) aux entretoises, plus légères, avec les deux rangées de l'avant libres de céder aux dilatations. Les foyers des locomotives américaines, de 3 mètres de

long, sont armés, sur le tiers avant de leur ciel, par des poutrelles transversales qui en permettent la dilatation, et, pour le reste, au moyen d'entretoises fixes. Ces entretoises sont d'un emploi général sur le continent, mais vissées et rivées, et non pas boulonnées au ciel du foyer, comme dans les foyers *Belpaire*. Quand elles se rompent, la vapeur et l'eau se précipitent au travers de leurs trous sur le feu qui s'éteint en général sans

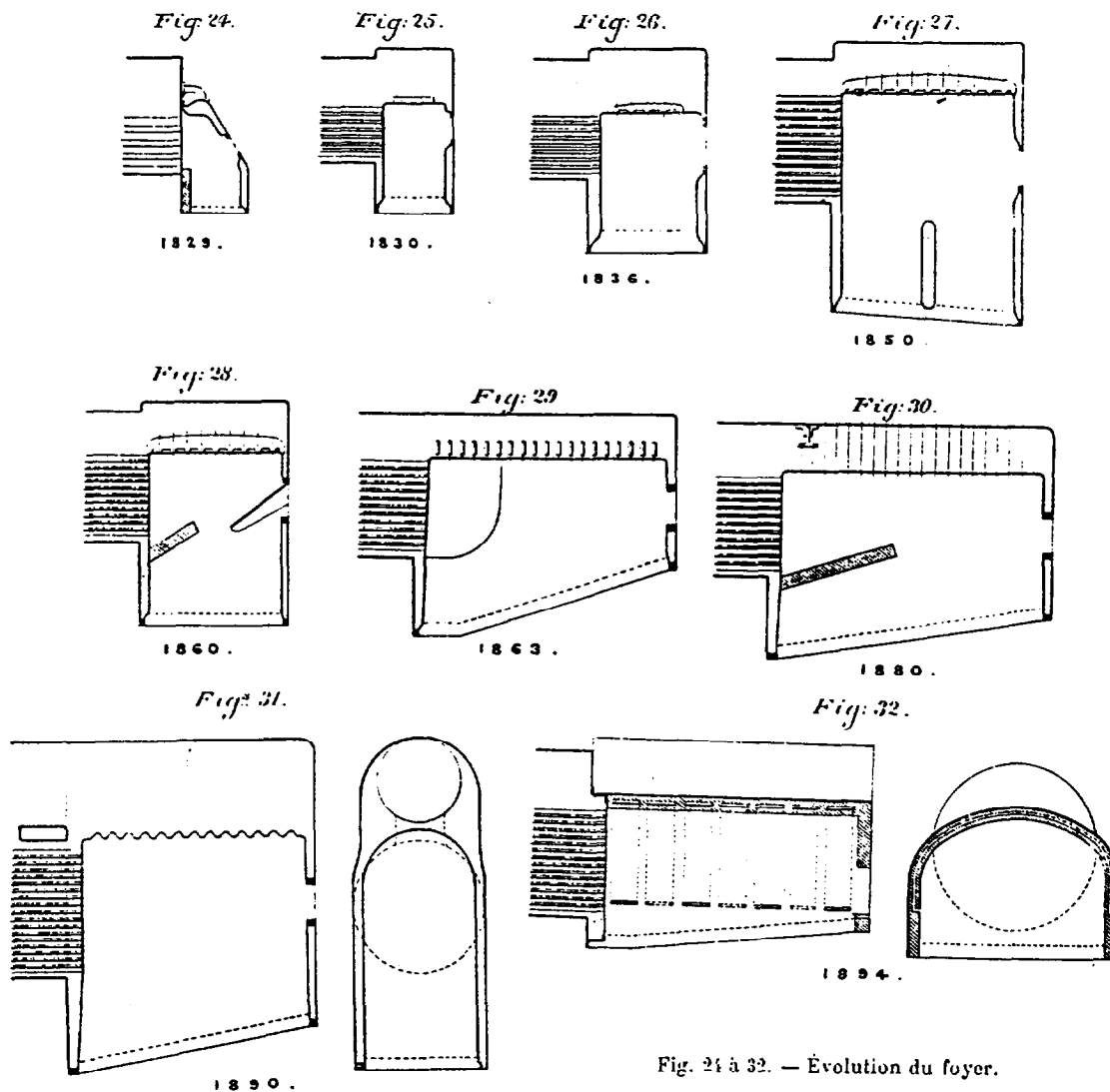


Fig. 24 à 32. — Évolution du foyer.

provoquer d'explosion, comme dans le cas représenté par la figure 33, où le ciel s'est affaissé de 0<sup>m</sup>,30 sans se déchirer. Les explosions fig. 34 et 35 sont dues, comme l'affaissement fig. 33, à un manque d'eau, et démontrent bien l'infériorité de ces anciens types à armature. Dans la chaudière Flaman (1890 fig. 31) on profita de l'élévation de la boîte à feu pour faire le ciel du foyer cylindrique en tôle d'acier ondulée sans armature. En 1894, *Docteur* introduisit (fig. 32) ses foyers sans murailles d'eau,



à garnitures de briques réfractaires, massives sur la tôle d'arrière, de 100 millimètres d'épaisseur sur les parois et le ciel, avec creux de  $25 \times 250$  millimètres, formant des canaux d'appel d'air ouverts à l'atmosphère alternativement à gauche puis à droite du foyer, et distribuant l'air uniformément au-dessus de la grille. Ces courants d'air rafraichissent en outre parfaitement les briques, et les tôles des foyers sont moins chaudes que celles des boîtes à feu ordinaires. On augmente la surface de chauffe des

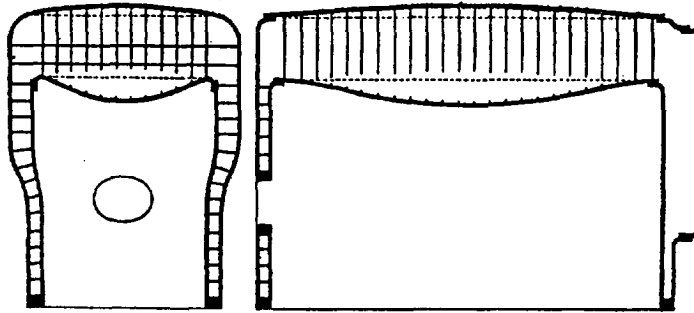


Fig. 33 — Affaissement d'un foyer Belpaire sans explosion.

tubes de celle ainsi enlevée au foyer. La vaporisation de la chaudière reste aussi puissante sans augmentation de la température du gaz dans la boîte à fumée, le large appel de l'air au foyer permet un échappement plus doux, et le renouvellement d'une garniture ne coûte que 100 francs. On avait déjà essayé des foyers de ce genre sur les chemins hongrois (Verderber) en 1879, suisses et prussiens (Bork, 1890).

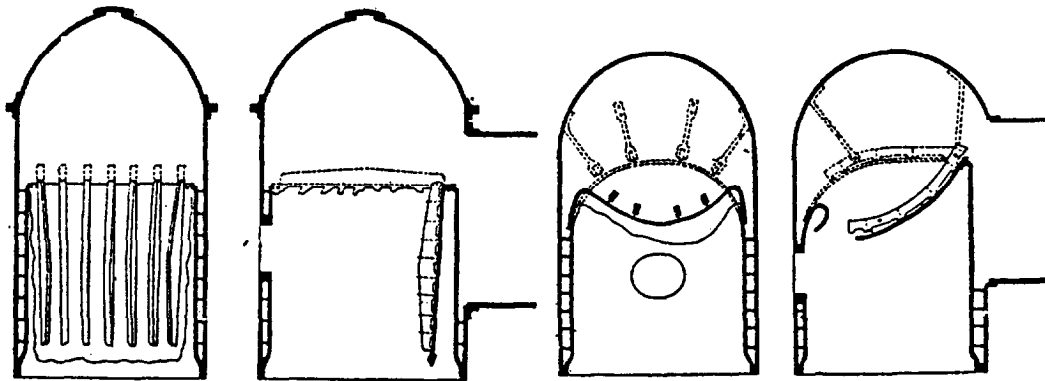


Fig. 34. — Explosion de l'irk (1846).

Fig. 35. — Explosion d'un foyer du type Bury.

Les figures 36-39 montrent l'évolution du mode d'attache du foyer au bas de la boîte à feu par simple embouti rivé dans la *Fusée* (fig. 36) puis par des cadres de plus en plus massifs et larges. Les entretoises latérales en cuivre, de 20 millimètres d'épaisseur dès l'origine de la locomotive, ont maintenant 25 millimètres, avec, souvent, un amincissement au milieu, pour mieux céder aux dilatations du foyer, et percées d'un petit trou axial dénotant leur rupture par une fuite de vapeur. On fait parfois les deux rangées supérieures des entretoises en acier, pour les avoir plus résistantes.

En Amérique, les foyers sont en tôles d'acier doux, qui n'ont pas eu de succès en Angleterre.

*Grille.* — Constituée d'abord (fig. 40) sur les machines du Stokton-Darlington 1823, par des petits carrelots de 30 millimètres de côté, les barreaux de la grille ont pris successivement, en 1836 et 1840, les formes représentées par les figures 41 et 42. En 1843,

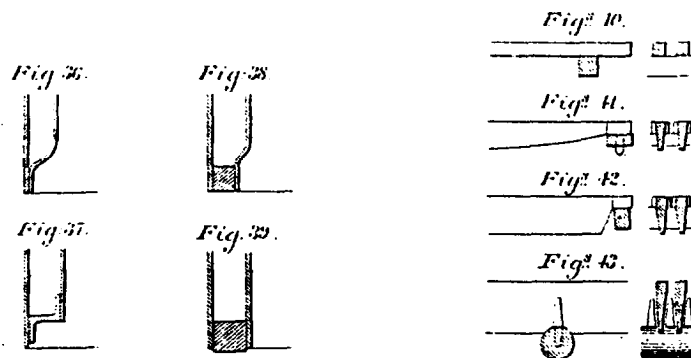


Fig. 36 à 43. — Évolution du cadre du foyer et de la grille.

M. Ramsbottom leur donna la forme figure 43, avec supports en forme de peigne. Les barreaux sont presque toujours en fer et inclinés pour faciliter la descente et la distillation du charbon. En Amérique, en Allemagne, et surtout en Belgique, l'emploi de menus et poussières inférieures a conduit à l'adoption de grandes grilles débordantes, avec feu en couche mince, ayant jusqu'à 7 mètres carrés de surface.

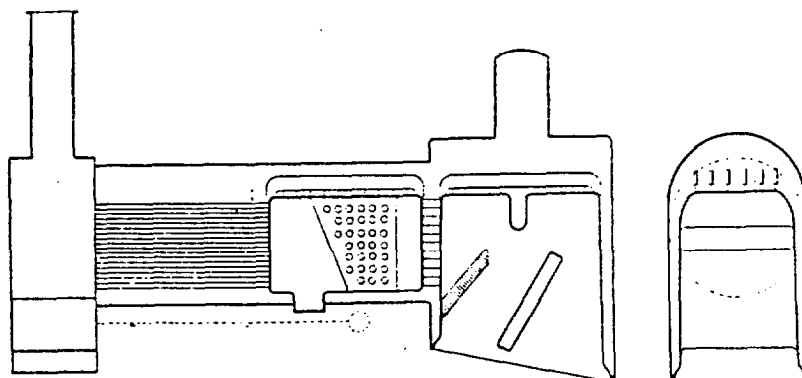


Fig. 44. — Beattie, 1839.

*Combustible.* — On employa d'abord le coke, parce qu'il faisait peu de fumée. En 1842, Hall parvint à brûler du charbon au moyen de jets d'air au foyer et du tirage par un souffleur dans la boîte à fumée. En 1833, Beattie construisit, pour le London and South Western, le type de chaudière représenté par la figure 44, à chambre de combustion auxiliaire entre le foyer et les tubes, bouilleurs transversal au foyer, longitudinal dans la chambre de combustion, voûte réfractaire au foyer, avec admission d'air par une porte perforée: L'on obtenait ainsi une combustion fumivore, mais par des complica-

tions inutiles et bientôt abandonnées. Il en fut de même de la chaudière *Mac Cannel* (fig. 45), essayée sur le London and North Western, à foyer prolongé par une chambre de combustion et très profond : 1<sup>m</sup>,60; ce foyer avait un grand bouilleur longitudinal qui augmentait sa surface de chauffe, mais pas assez pour compenser l'abaissement de puissance vaporisatrice du ciel occasionnée par son grand éloignement de la grille. De 1860, date l'emploi simultané, par *Markman*, Midland Ry, de la voûte réfractaire

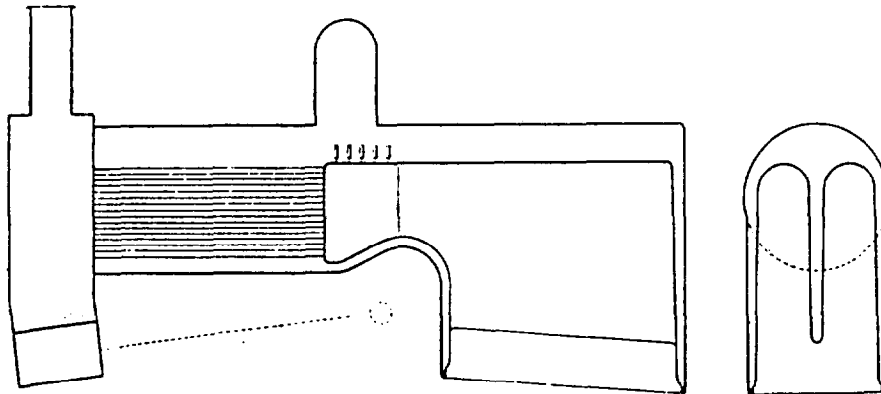


Fig. 45. — Mac Cannel. 1853.

et de l'auvent (fig. 28), brassant les gaz, empêchant l'air de passer directement aux tubes. La grille doit avoir une surface suffisante pour marcher en échappement doux et feu mince. En 1863, *Urquhart* employa avec succès, sur les chemins du sud de la Russie, du pétrole brut, injecté et pulvérisé avec un mélange d'air et de vapeur dans un moufle

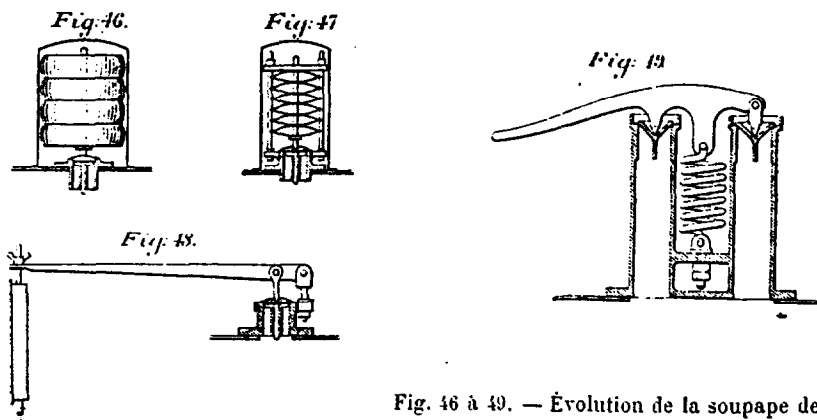


Fig. 46 à 49. — Évolution de la soupape de sûreté.

en briques réfractaires sur grille fermée; en 1891, *Holden* introduisit sur le Great Eastern Ry son système mixte : injection d'une pulvérisation de pétrole, de vapeur et d'air sur un feu mince incandescent de charbon mélangé de chaux, qui donne une combustion intense, très facile à régler. On brûle économiquement poids égaux de charbon et de pétrole.

*Soupape de sûreté.* — On employa d'abord sur la *Fusée* (fig. 46) une soupape à charge directe par poids, puis (fig. 47) par ressorts, et, en 1830, par ressorts et levier

(fig. 48). C'est en 1856 que *Ramsbottom* inventa le type double à ressort central, d'un usage presque universel aujourd'hui (fig. 49). Le timbre des chaudières est passé de 3<sup>m</sup>,5, en 1812, à 14 kilogrammes en 1894.

*Manomètres.* — Jusqu'en 1849, date des manomètres à tube de *Bourdon* et à membrane ondulée de *Schaeffer*, la soupape de sûreté servait de manomètre.

*Châssis.* — Dans les toutes premières locomotives (1812-1825), la chaudière servait de châssis. Le châssis de la *Fusée* était (fig. 50) en barres de fer de 82 millimètres de large sur 25 millimètres d'épaisseur, avec plaques de garde en fonte rivées

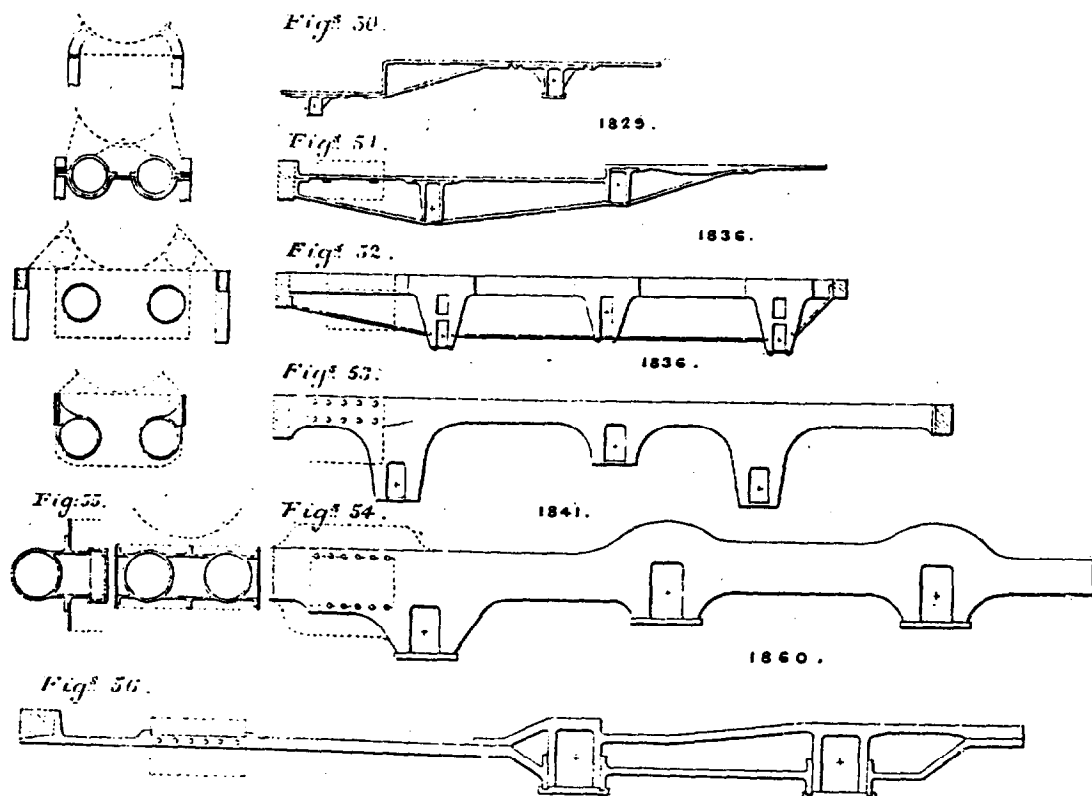


Fig. 50 à 56. — Évolution des châssis.

sur les longerons, chargées par des ressorts comme aujourd'hui; en 1836 (fig. 51), *Bury* renforça ces châssis à barres; puis on les fit (fig. 52) en bois et fer : ils sont encore universellement employés aux États-Unis sous la forme figure 56 : une barre de 100 millimètres de côté, s'étendant des cylindres au premier essieu moteur, où elle est renforcée par une seconde barre de  $100 \times 80$ , avec gardes forgées sur la première barre. Ces châssis, plus étroits de 0<sup>m</sup>,15 que ceux à longerons, gênent pour le logement des foyers : ils ont été abandonnés en Europe pour le type à longerons introduit par *Stephenson* dès 1841 (fig. 53). Leur épaisseur a passé de 20 à 30 millimètres. En 1843, on laissa la chaudière libre de se dilater en glissant sur les longerons à l'arrière par les patins du foyer; en 1855, on remplaça les traverses en bois d'arrière et d'avant par des traverses en tôle de 30 millimètres d'épaisseur; en 1863, on supprima les arceaux qui

supportaient le corps cylindrique de la chaudière, bien assez rigide par lui-même. Dans la forme actuelle (fig. 54), les cylindres intérieurs arment d'eux-mêmes l'avant du châssis, dans lequel les cylindres extérieurs sont solidement encastrés, fixés par une boîte en fonte : on fait aujourd'hui les longerons d'une seule tôle laminée en acier doux, et d'une section de  $95 \times 400$  millimètres. Le châssis, tout intérieur, a remplacé presque partout les châssis doubles ou mixtes, c'est-à-dire avec longerons à l'intérieur des roues de l'essieu coudé seulement. Aux États-Unis, les deux cylindres extérieurs sont boulonnés entre eux par leurs appendices, qui constituent un centre pour le pivot du bogie. Enfin, peu à peu, l'on a élevé l'axe de la chaudière jusqu'à 2<sup>m</sup>,70 au dessus du rail, aux États-Unis, sans nuire à la stabilité de la locomotive, dont

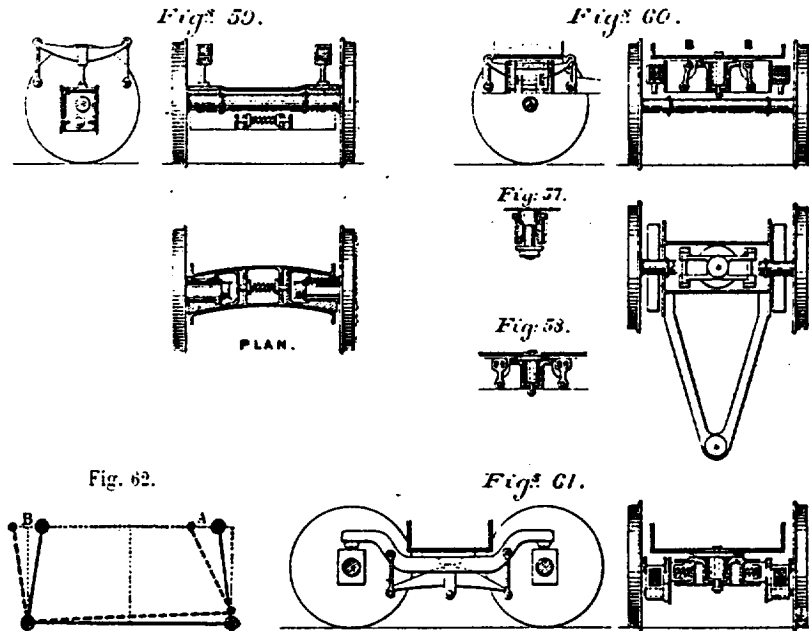


Fig. 57 à 62. — Évolution du bogie.

la chaudière ne représente que la moitié du poids, et dont le centre de gravité total reste encore ainsi beaucoup plus bas que celui d'un wagon en pleine charge.

*Bogie.* — Le bogie à quatre roues à l'avant de la locomotive a été introduit en Amérique en 1833, par Stephenson, sur une machine pour la Saratoga and Shenectady Ry, et son adoption resta définitive, justifiée, d'ailleurs, par l'irrégularité des voies américaines, irrégularités auxquelles le bogie se prête sans intéresser la masse de la locomotive; puis ces bogies se sont peu à peu répandus en Angleterre et sur le continent, avec l'augmentation de la puissance et de la vitesse des machines. Les premiers bogies avaient (fig. 57) un pivot sphérique, remplacé bientôt par un pivot droit, avec portée sur une épaisse couronne de caoutchouc, supprimée aujourd'hui (fig. 61), après avoir constaté que les ressorts des essieux suffisaient pour assurer au bogie sa facilité d'oscillation verticale. Son jeu latéral, d'environ 40 millimètres de part et d'autre de son axe, contrôlé par des ressorts horizontaux, facilite l'entrée en courbe par une

impulsion déviatrice graduelle des rails sur la locomotive. Quand la charge n'est pas trop lourde pour un seul essieu, on emploie (fig. 60) le *Bissel*, à jeu latéral contrôlé par des ressorts (fig. 61), ou par des menottes inclinées (fig. 62). Avec ce dispositif, également employé pour les bogies à quatre roues, l'entrée en courbe incline plus fortement la menotte A, extérieure à la courbe, en augmentant la charge des roues intérieures, ce qui accroît la stabilité de la machine et diminue d'autant la charge des roues intérieures, ce qui facilite leur glissement. La figure 58 représente une autre disposition de ces menottes, oscillant chacune, à leur partie supérieure, sur deux axes, qui agissent comme des osselets, avec plus de douceur que les ressorts et sans frotte-

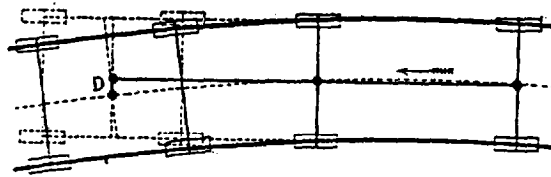


Fig. 63.

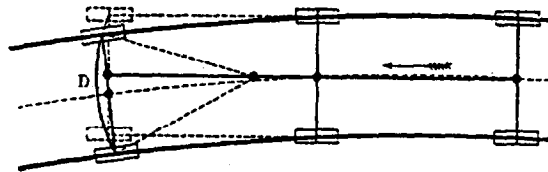


Fig. 64.

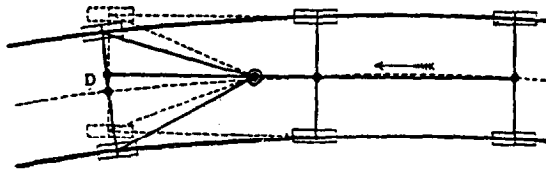


Fig. 65.

ment. On a remplacé aussi parfois les Bissel par un essieu à *boîtes radiales* : la figure 59 représente celui de *Webb*, à glissières cylindriques décrites du rayon même du Bissel, et rappel par ressort. Les figures 63 à 65 représentent les entrées en une courbe de 30 mètres avec bogie, Bissel et boîtes radiales, d'une locomotive ayant un empâtement rigide de 2<sup>m</sup>,55, et 2<sup>m</sup>,55 d'écartement entre l'essieu d'avant et le centre du bogie ou de l'essieu mobile : le déplacement latéral D est le même dans chacun de ces cas, mais l'impulsion déviatrice est mieux supportée, avec plus de douceur et de stabilité, par les deux roues extérieures du bogie.

*Boîtes à graisse.* — Les premières boîtes à graisse, à fusées extérieures (fig. 60), avaient des coussinets octogonaux retenus longitudinalement par deux pitons : on les fit bientôt cylindriques (fig. 67), à l'exception d'un plat central pour les maintenir dans la boîte ; puis on remplaça le graissage en dessus par le graissage en dessous (fig. 68), plus accessible, avec éponge pressée sous la fusée par des ressorts. La boîte à graisse

est souvent d'une seule pièce et le coussinet garni d'antifriction. Enfin, dans le cas des boîtes à fusées intérieures, la suspension s'accroche presque toujours sous la boîte, comme en figures 67 et 68.

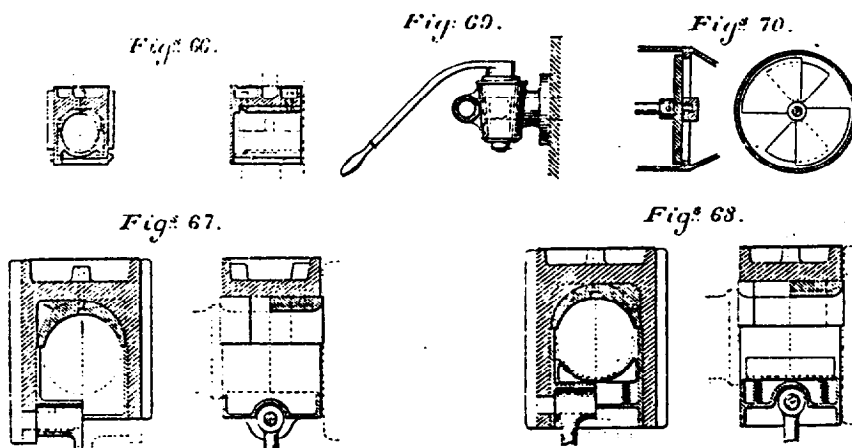


Fig. 66 à 70. — Évolution de la boîte à graisse et du régulateur.

*Régulateurs.* — Le régulateur ou prise de vapeur de la *Fusée* consistait (fig. 69) en un simple robinet; en 1830, vint le papillon (fig. 70) à deux ouvertures, tournant de 90° et installé dans le dôme; on le fit ensuite annulaire pour éviter les fuites par l'usure trop inégale du centre à la périphérie. En 1841, Stephenson introduisit le type

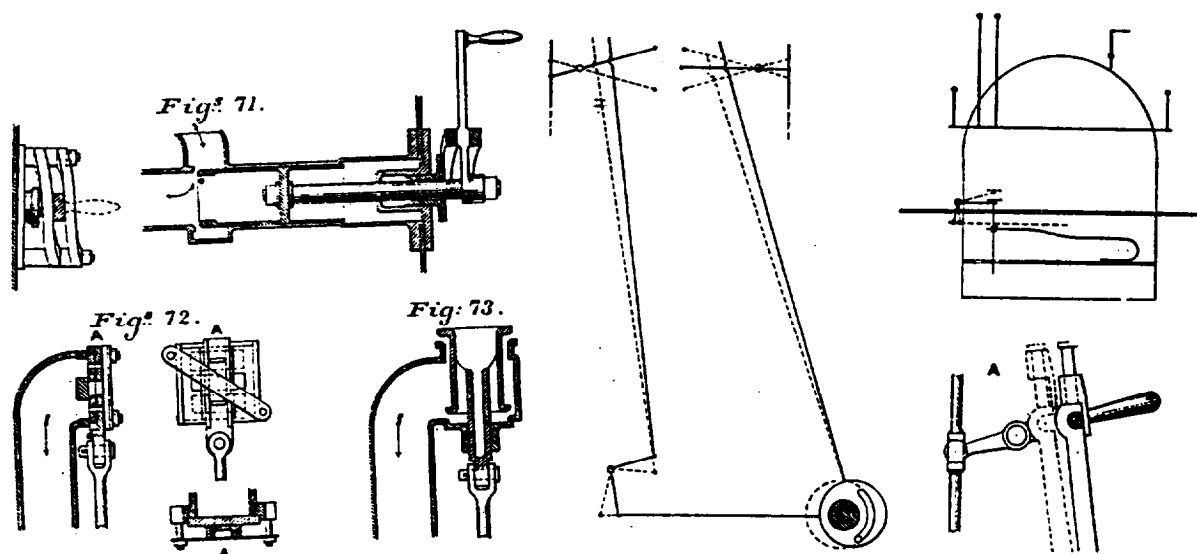


Fig. 71 à 73. — Évolution du régulateur.

Fig. 74. — Mécanismes de la *Killingworth* et de la *Darlington*.

à grille, d'abord horizontal et à six lumières, puis vertical et à quatre lumières (fig. 72), avec, aujourd'hui, tiroir auxiliaire A, qui, s'ouvrant avant le grand, en facilite ainsi la manœuvre par l'équilibrage des pressions de la vapeur sur ses deux faces. Le régulateur cy-

lindrique (fig. 71), manœuvré par la montée de son levier sur une rampe hélicoïdale, a été installé en 1813 sur les machines de Crewe; il n'est pas équilibré, et la pression de la vapeur tend sans cesse à l'ouvrir. Dès 1850, on employa comme régulateur des soupapes à double siège, actuellement très usitées en Amérique. Dans le type (fig. 73), la vapeur entre par le haut, ce qui la rend plus sèche : la pression tend à la fermer et M. Marshall cite le cas d'une machine abandonnée arrêtée par fermeture spontanée de son régulateur.

MÉCANISME. — La *Killingworth* (1815) avait chacun de ses tiroirs commandé par (fig. 73) un excentrique à toc et réversible; la *Darlington* (fig. 74) n'avait qu'un seul excentrique à toc, avec tiges attaquant les leviers des tiroirs par un enclenchement A.

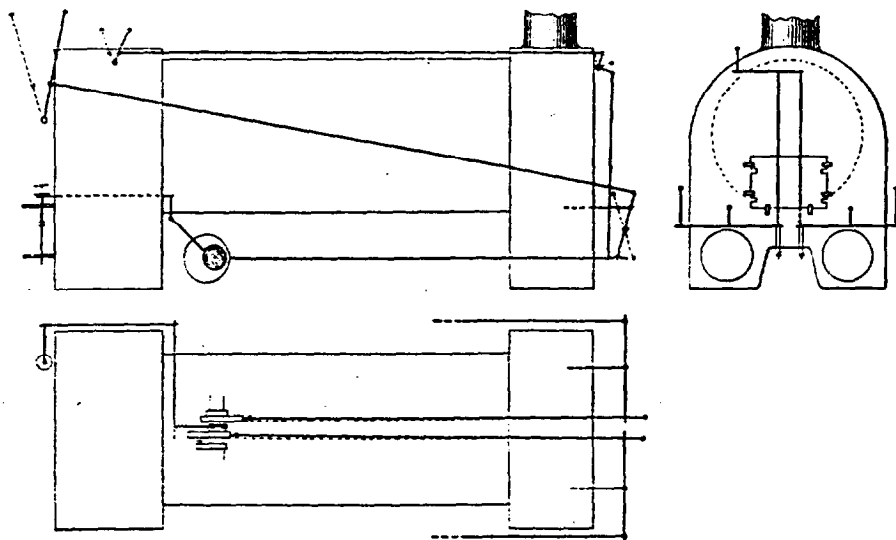


Fig. 73. — Mécanisme de la Fusée.

La *Fusée* avait (fig. 73) deux excentriques d'une seule pièce, rainurés sur leur axe et manœuvrés par une pédale entre deux tocs, l'un pour la marche avant, l'autre pour l'arrière et relevage des tiges, avant le changement de marche, par le renvoi indiqué en figure 76. En 1836, on remplaça cette distribution par le type à quatre excentriques et à fourches séparées (fig. 77), puis, en 1841, réunies par Stephenson sur la tige du tiroir (fig. 78), et enfin transformées (fig. 79) en coulisse par *William Howe*, aussi en 1841. La coulisse de Howe et ses dérivés sont presque d'un emploi universel aujourd'hui: on ne peut guère citer, comme faisant exception, que la distribution radiale de Joy.

*Tiroirs.* — Le tiroir ordinaire (fig. 80) subit, avec les pressions et les dimensions actuelles, des frottements très considérables. *Richardson* l'a équilibré au moyen de quatre garnitures mutuellement enclenchées A B (fig. 81) et appuyées sur une glace supérieure par des ressorts; puis on a essayé les tiroirs-pistons, notamment ceux de *Smith* (fig. 82) à trois segments C, guidés radialement, appuyés par la pression même de la vapeur, et pouvant céder aux coups d'eau. La lumière n'est interrompue que par trois portées au droit des joints de ces segments; une garniture auxiliaire D, coupée



en un point seulement, rendue élastique par des fentes radiales et appuyée par un ressort circulaire intérieur, recouvre les intervalles segmentés C; le tout est solidement

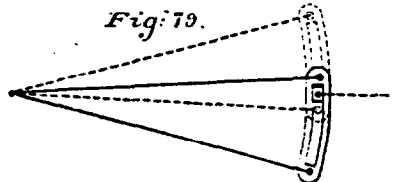
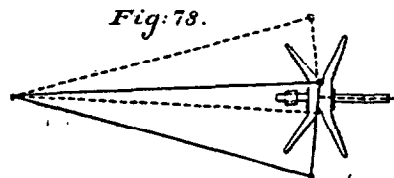
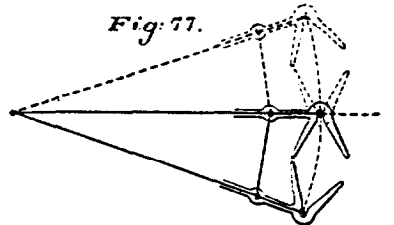
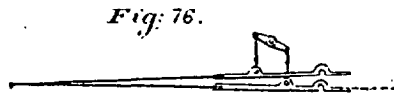


Fig. 76 à 79. — Évolution du mécanisme.

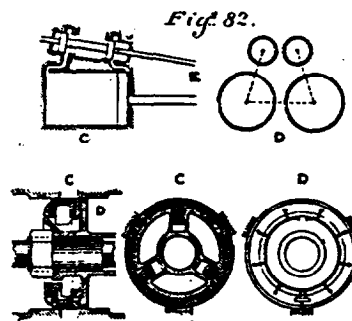
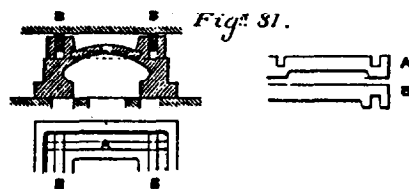
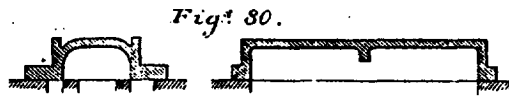


Fig. 80 à 82. — Évolution du tiroir.

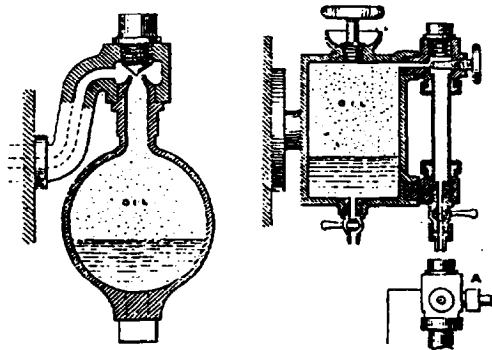


Fig. 83 et 84. — Graisseurs.

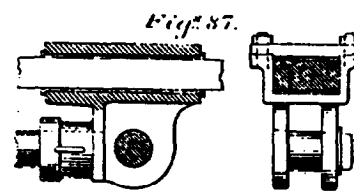
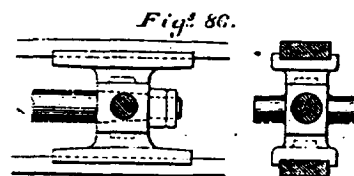


Fig. 85 à 87. — Glissières et crosses.

maintenu par le serrage des deux couvercles du piston. Ces tiroirs, inclinés comme en E, donnent un échappement très libre.

*Graisseurs.* — En 1860, *Ramsbottom* appliqua sur les locomotives son graisseur continu (fig. 83), à déplacement automatique goutte à goutte par la condensation de sa vapeur prise au cylindre, et s'arrêtant avec la machine; ce graisseur est souvent remplacé, depuis 1880, par des types du même genre, mais à goutte visible dans un tube de niveau en verre (fig. 84) et admission de vapeur latéralement en  $\Lambda$ ; cette vapeur est prise à la chaudière, de sorte que le graissage continue quand on marche en pente avec régulateur fermé.

*Glissières et crosses.* — Les glissières, d'abord quadruples (fig. 85), se sont réduites à

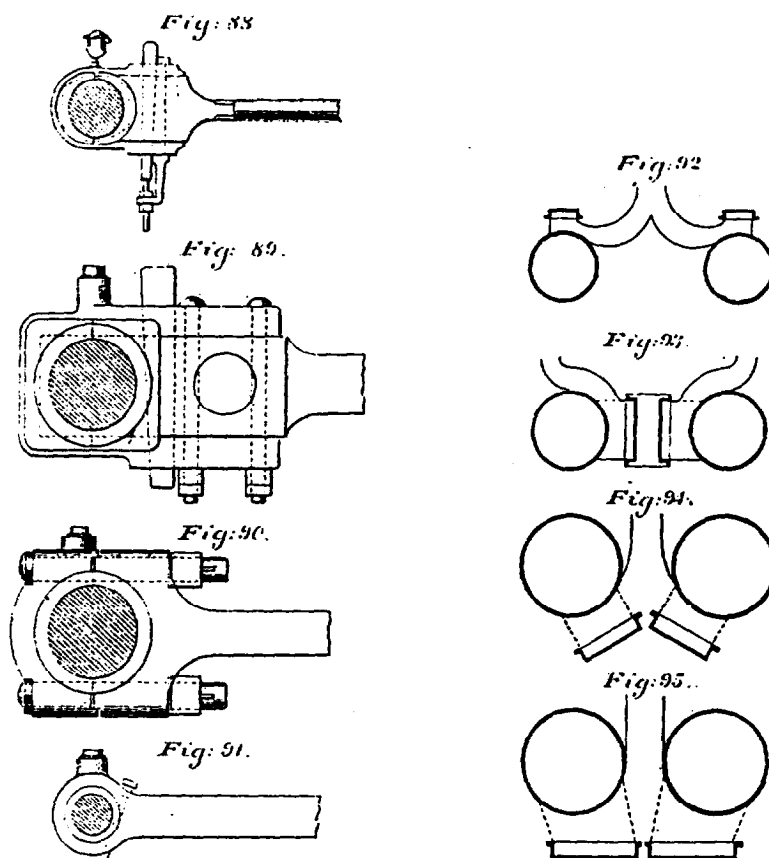


Fig. 88 à 91. — Bielles.

Fig. 92 à 95. — Boîtes à tiroirs.

deux en 1860 (fig. 86), puis, dans bien des cas, à une seule (1880, fig. 87), comme en Amérique, avec leurs extrémités fixées au cylindre et à une traverse du châssis.

*Bielles.* — Introduction, en 1836, pour les têtes de bielles motrices, du coin de serrage à vis (fig. 88), puis fixation, en 1846, de l'étrier, non par le coin même, mais (fig. 89) par des boulons; remplacement, en 1880, par *Stroudley*, sur le London Brighton, de cet étrier par un chapeau (fig. 90) retenu par deux boulons de 50 millimètres, avec jeu de serrage de 5 millimètres sur les coussinets cylindriques: type simple et léger. Dès 1863, *Ramsbottom* faisait ses bielles d'accouplement à bagues (fig. 91): on leur donne aujourd'hui presque toujours la section en I, pour leur permettre de résister aux

fouettements, à craindre avec leurs grandes longueurs, jusqu'à 3 mètres, et la rapidité de leurs vibrations : jusqu'à 13 par seconde.

*Cylindres.* — C'est à Stephenson (1841) que l'on doit les premiers cylindres intérieurs boulonnés ensemble sous la boîte à fumée et entretoisant le châssis; en 1870, Stroudley coula les deux cylindres d'une seule pièce pour en éviter le joint. Les cylindres intérieurs sont presque exclusivement employés en Angleterre; les extérieurs, aux États-Unis.

*Boîtes à tiroirs.* — Dans les premières machines (1830) les tiroirs étaient extérieurs horizontaux (fig. 92), et commandés par un renvoi, comme aujourd'hui en Amérique. En 1841, Stephenson les plaça (fig. 93) verticalement entre les cylindres, puis on fut, par l'augmentation du diamètre des cylindres, jusqu'à 460 millimètres, amené à les disposer sous les cylindres obliquement (fig. 94) (1847), ou horizontalement (1885) (fig. 95), disposition qui draine naturellement le cylindre, facilite l'échappement et

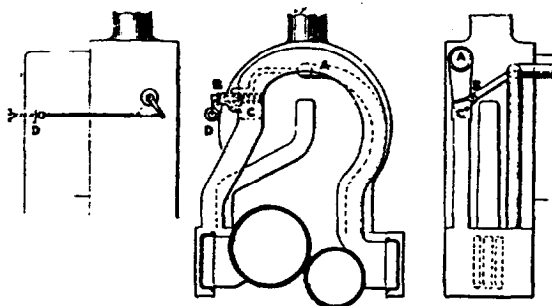


Fig. 96. — Compound Worsdell.

réduit l'usure parce que le tiroir, sollicité par son propre poids, ne porte pas sur sa glace dans la marche à régulateur fermé.

*Locomotives compound.* — C'est en 1898 que *M. Mallet* fit fonctionner, sur le chemin de Bayonne-Biarritz, les premières locomotives compound à deux cylindres, puis, en 1880, *M. Von Borries* les importa sur les chemins hanovriens, avec quelques perfectionnements. En 1881, *M. Webb* mit en service, sur le London and North-Western, ses locomotives à trois cylindres; un de basse pression et deux de haute pression, extérieurs, attaquant séparément leur essieux; en 1885, *Worsdell* fit fonctionner sur le Great Western Ry ses machines à deux cylindres avec valve de démarrage, puis, en 1887, avec von Borries, et sur le North-Eastern, des compound avec (fig. 96) une valve de démarrage automatique, où l'échappement passe du petit cylindre de haute pression dans le réservoir *A* de même volume, puis au grand cylindre, après la demi-course du petit. Au départ, on admet directement, par *B*, un peu de vapeur de la chaudière au cylindre de basse pression, en même temps que le clapet *C*, commandé par la même manette que *D*, ferme la communication avec les deux cylindres de manière à empêcher la vapeur de la chaudière de passer au réservoir; puis, après quelques tours, *C* s'ouvre automatiquement et *B* se ferme par la pression de la vapeur d'échappement accumulée au réservoir, de sorte que l'on marche en compound. L'emploi des compound procure, dit-on, une économie de combustible de 15 à 20 p. 100, attribuable en partie à l'emploi de pressions plus élevées. Pour faciliter les

démarrages, dont la faiblesse est un des inconvénients de ces machines. *M. Herr*, du Northern Pacific, a proposé l'emploi d'une double valve de démarrage permettant de

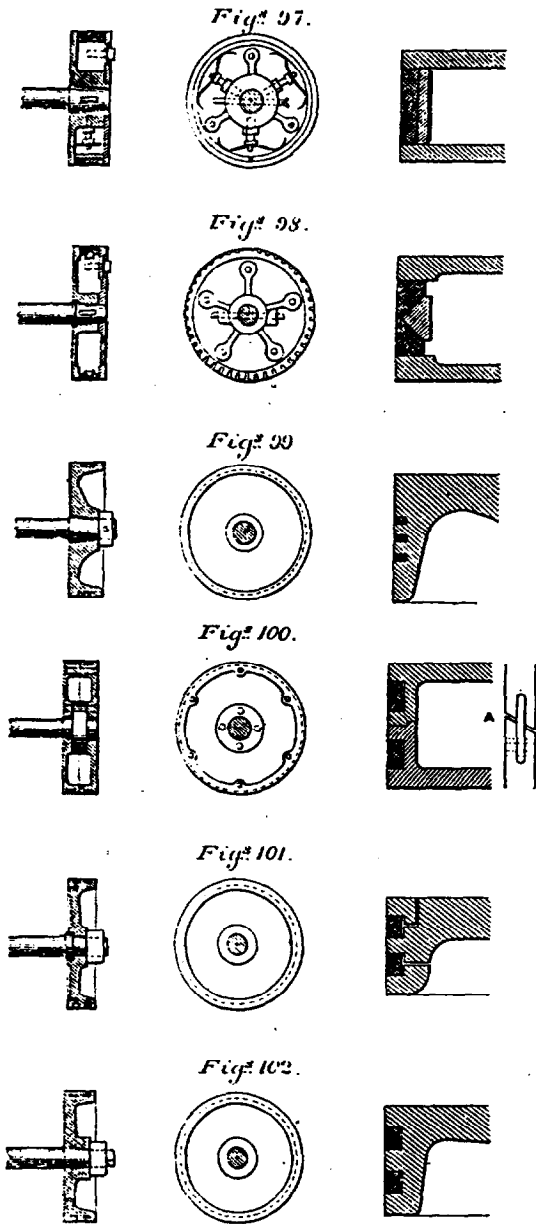


Fig. 97 à 102. — Évolution du piston.

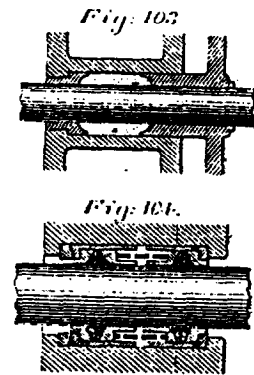


Fig. 103 et 104. — Stuffing boxes.

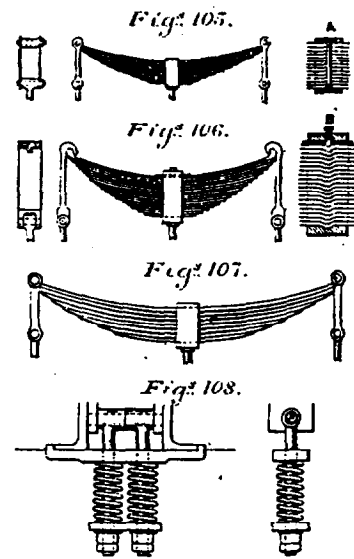


Fig. 105 à 108. — Ressorts.

faire marcher les deux cylindres en compound ou en simple, avec échappement direct et valve réductrice diminuant la pression du grand cylindre pour ne pas exagérer sa puissance en marche simple.

**Pistons.** — Les figures 97 à 102 montrent l'évolution du piston des machines locomotives, à garniture constituée d'abord par deux segments en bronze juxtaposés à joints rompus, avec, en arrière, un troisième segment poussé par des ressorts, ou, en 1838, système Goodfellow (fig. 98) en fonte, de section triangulaire, faisant lui-même ressort, et entaillé de crénelures de profondeur diminuant vers le joint de manière à en égaliser la pression sur tout son pourtour : cette garniture fut très usitée pendant longtemps. En 1852, vint le piston Ramsbottom (fig. 99), avec trois segments de 6 millimètres de large, puis, en 1855, le piston creux en deux pièces (fig. 100), avec segments à couvre-joints A et tenon les empêchant de tourner afin de maintenir le joint au bas du cylindre, complications abandonnées depuis. Miller, en 1855, inventa ses garnitures poussées (fig. 101) par la vapeur même. La figure 102 représente le piston presque universellement adopté aujourd'hui, avec segments en fonte de 20 millimètres de large.

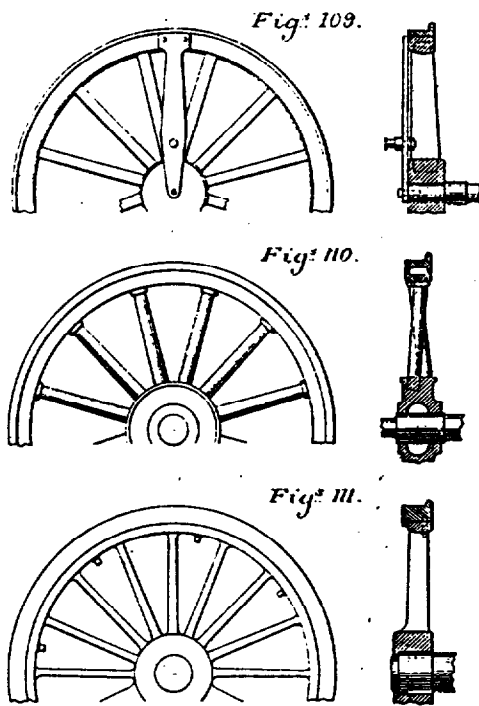


Fig. 109 à 111. — Roues.

segments à couvre-joints A et tenon les empêchant de tourner afin de maintenir le joint au bas du cylindre, complications abandonnées depuis. Miller, en 1855, inventa ses garnitures poussées (fig. 101) par la vapeur même. La figure 102 représente le piston presque universellement adopté aujourd'hui, avec segments en fonte de 20 millimètres de large.

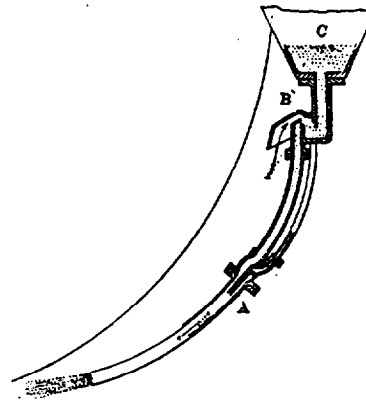


Fig. 112. — Sablière Gresham.

**Stuffing Boxes.** — D'abord à garnitures d'étoupe ou d'amiante (fig. 104) ; on les fait souvent aujourd'hui en garnitures métalliques, comme en figure 104, avec anneaux de métal blanc en section de V poussées entre brides par un ressort hélicoïdal central comprimé par l'écrou du joint.

**Ressorts.** — La *Killingworth* (1815) fut la première locomotive montée sur des ressorts. Ces ressorts prirent, dès 1836, leur forme actuelle (1805), qui se développa comme en figure 106 (1858) et 107, avec lames séparées au centre par des fourrures C, diminuant le frottement des lames les unes sur les autres : mais il faut alors faire ces lames plus épaisses et plus raides, parce qu'elles cessent de se prêter un appui mutuel. En Amérique, les ressorts sont, en général, plus flexibles qu'en Angleterre. Pour les essieux très chargés (18 tonnes) on a employé les ressorts à boudin (fig. 108), plus énergiques que les ressorts à lames, et tirant sur les boîtes à graisse dont ils facilitent ainsi le guidage. Quant aux balanciers compensateurs, d'un emploi peu étendu en

Angleterre, leur usage est universel aux États-Unis, où on les dispose de manière à répartir la charge de la locomotive sur trois points.

*Roues.* — La *Fusée* avait (fig. 109) des roues en bois avec bandage en fer, puis on les fit (fig. 110) (1836) avec moyeu et jante creuse en fonte coulée sur rais en tubes de fer, et bandage en fer de  $40 \times 115$ . En 1837, parurent les premières roues en fer forgé, constituées par la soudure des extrémités des rais au moyeu et à la jante. En 1838, on commença à fixer les bandages, non seulement par leur serrage à chaud, mais aussi par des boulons ou des vis noyées, puis, comme aux États-Unis, par une attache continue, rabattue sur la jante. En 1851, Krupp introduisit les bandages en acier sans soudure, dont l'emploi est aujourd'hui universel. Actuellement, on emploie, pour les

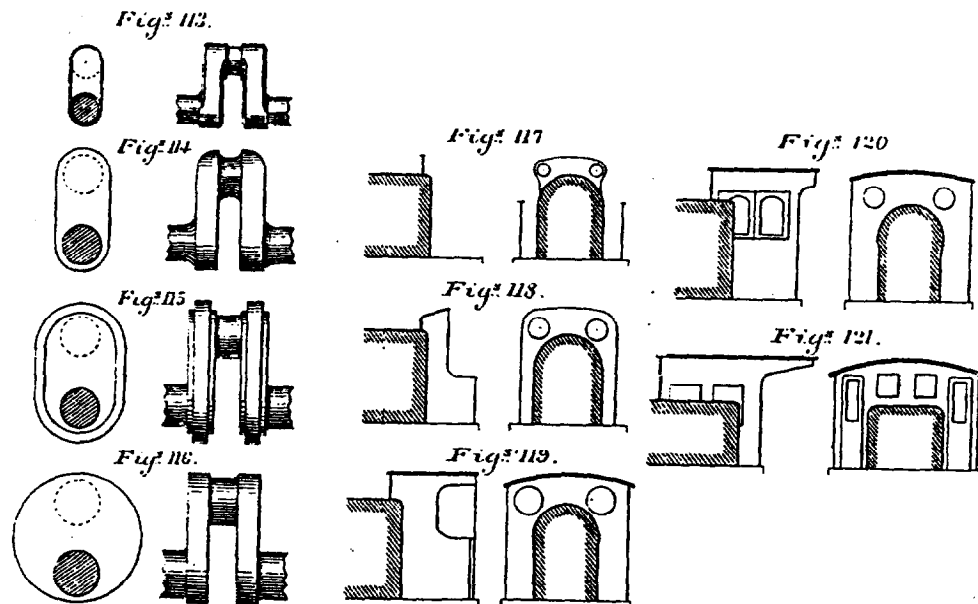


Fig. 113 à 116. — Essieux coudés.

Fig. 117 à 121. — Abri du mécanicien.

roues motrices, des moyeux en acier coulé (fig. 111), avec bandages ayant jusqu'à 100 millimètres d'épaisseur. Les boudins des roues motrices médianes sont parfois amincis jusqu'à ne plus toucher les rails, ce qui diminue considérablement la fatigue de leur essieu coudé.

*Équilibrage.* — L'application des contrepoids aux roues des locomotives date de G. Heaton (1842); dès 1850, leur emploi se généralisa; on les fit d'abord en fonte rapportée, puis forgés avec les roues. Les essais faits pour équilibrer les masses en mouvement alternatif autrement que par les contrepoids aux roues n'ont pas réussi à cause de leur complication.

*Sablières.* — Les sablières ont été employées depuis 1840 pour sabler les rails devant les roues motrices et en augmenter ainsi temporairement l'adhérence. En 1885, M. Gresham employa, pour projeter le sable, un jet de vapeur A (fig. 112), qui l'entraîne de C par l'aspiration d'air B, et le projette directement sous les roues motrices avec assez de force pour qu'il n'en soit pas détourné par le vent.

*Essieux coulés.* — On trouve déjà l'essieu coulé en 1830, sur la locomotive Planet; en 1836, on lui donna la forme figure 113, avec arêtes biseautées à la main; puis, en 1853, celle figure 114 entièrement finie à la machine avec extrémités arrondies pour en diminuer la rigidité et éviter ainsi les ruptures. En 1890, on frette les manivelles (fig. 115) pour les retenir en cas de rupture. En 1887, Worsdell introduisit le type à plateaux manivelles (fig. 116), très résistant et fait entièrement au tour.

*Freins.* — D'abord à main, avec sabots en bois, puis en fonte (1895), les freins de locomotives sont aujourd'hui fréquemment actionnés par la vapeur, avec un mécanisme leur assurant autant de douceur que les freins à main.

*Abri du mécanicien.* — Les figures 117-121, montrent l'évolution de cet abri: de 1852 (fig. 117) à 1890 (fig. 120), avec fenêtres glissantes, puis (fig. 121) aux États-Unis, avec portes donnant accès à l'avant de la locomotive.

*TENDERS.* — Leur capacité augmente sans cesse; ils portent jusqu'à 20 tonnes d'eau pour certains express faisant 180 kilomètres sans arrêt. En 1860, Ramsbottom inventa le remplissage du tender en marche par écope et réservoir entre les rails; on a pu ainsi, entre New-York et Pittsburg, franchir 600 kilomètres sans arrêt.

*VITESSE DES LOCOMOTIVES.* — On atteint aujourd'hui des vitesses de marche de 100 kilomètres à l'heure, non compris les arrêts, avec des maxima de 140 kilomètres; ce maximum a été atteint aux États-Unis avec une machine à cylindres de 430 × 610 et six roues couplées de 1<sup>m</sup>,70, remorquant en palier un train de 136 tonnes, non compris la machine et le tender. Il faut, pour réaliser ces vitesses, une forte adhérence et une grande chaudière: en Amérique on a pu, en surélevant le corps cylindrique à 2<sup>m</sup>,75 au-dessus du rail, lui donner un diamètre de 1<sup>m</sup>,50, avec des roues de 2<sup>m</sup>,15. Le dispositif de Flaman (fig. 31) permet d'augmenter notablement la puissance de la chaudière.

Années.		RAPPORT				Nombre des roues couplées.	Charge par essieu.
		du poids adhérent à l'effort		Diamètres			
		Poids. de traction.		des cylindres.	des roues.		
		Tonnes.		A	Mm.	Mèt.	Tonnes.
1891	Tunnel de Saint-Clair. . . . .	87	7	560	1,27	10	17
1897	Northern Pacific . . . . .	67	7	560 et 860	1,30	8	17
1895	New South Wales . . . . .	59	6	530	1,30	8	15
1884	Southern Pacific . . . . .	57	6	540	1,45	10	11
1878	Paris-Lyon . . . . .	51	4	540	1,25	8	13
1885	Tunnel de la Mersey . . . . .	51	5 1/2	530	1,40	6	17
1897	Tunnel de la Severn . . . . .	47	6	510	1,30	6	16
1882	Locomotives Consolidation. . . . .	45	4	510	1,05	8	11
1894	Highland Ry. . . . .	42	5 1/2	510	1,60	6	14
1862	Rampe de Bhoré Ghaut. . . . .	42	5	510	1,32	6	14
1895	Erie Ry. . . . .	40	9	430	2,18	6	13
1879	Great-Eastern . . . . .	38	5	480	1,47	6	13
1892	New York central . . . . .	36	8	480	2,18	4	18
1883	North British. . . . .	34	8	430	1,80	4	17
1896	North Eastern . . . . .	34	6 1/2	510	2,30	4	17
1894	Great Western . . . . .	31	5 1/2	510	2,13	4	15
1896	Caledonian. . . . .	31	6	465	1,95	4	13
1891	London and North Western. . . . .	30	8	355	2,15	4	15
1895	Midland. . . . .	30	5 1/2	470	2,13	4	15
1895	South Western. . . . .	30	6	480	2,15	4	15
	Moyenne. . . . .		6				

Le tableau ci-dessus donne les principales caractéristiques de vingt locomotives d'une grande puissance. Le rapport A suppose dans les cylindres une pression moyenne de 7 kilogrammes effectifs (3<sup>k</sup>,5 pour les compound).

On remarquera, dans l'évolution de la locomotive, une grande tendance à la simplicités : suppression des dispositifs fumivores, remplacés par une simple voûte en briques, des châssis doubles, des échappements variables, etc.