

CHEMINS DE FER

LE DÉVELOPPEMENT DES CHEMINS DE FER
et l'évolution de la locomotive à grande vitesse.

(Suite et fin.)

III. — La locomotive s'est presque toujours trouvée en avance sur la constitution des voies ou des ouvrages d'art, qui ont longtemps limité son poids, sa puissance et sa vitesse. C'est d'ailleurs le cas encore dans certains pays de l'Europe continentale où les charges par essieu sont limitées à un taux souvent inférieur de 45 % aux chiffres admis, en Amérique surtout, grâce

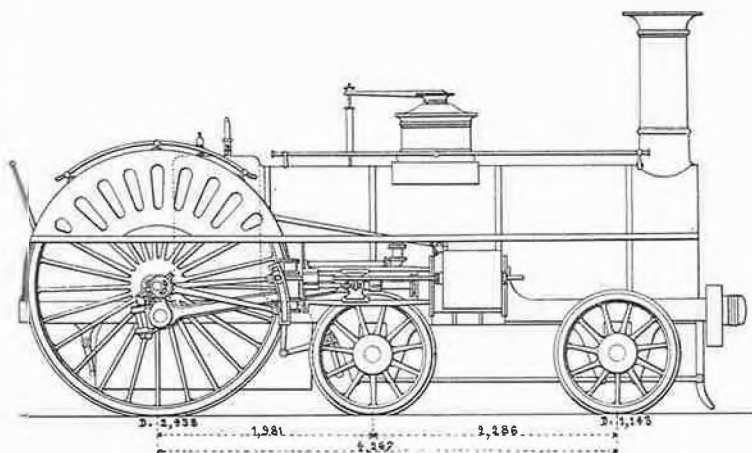


FIG. 6. — Machine Crampton primitive;
London and North Western Railway (1847).

au grand rapprochement des traverses. Les locomotives à vapeur, même les plus puissantes, ont en tout cas ce grand avantage d'offrir, pour une charge déterminée par essieu moteur ou accouplé, une faible proportion de poids non suspendu (20 à 25 % par exemple, au maximum), circonstance favorable pour réduire la fatigue des voies.

L'évolution de cette machine a surtout, nous l'avons vu, porté sur l'accroissement des charges remorquées, mais le problème de la vitesse, pour les locomotives à voyageurs, s'est posé le premier et en somme s'est trouvé résolu de bonne heure, autant du moins que le permettaient les voies. Depuis 1875 par exemple, pour limiter nos exemples à la France, les vitesses maxima de marche des meilleurs trains rapides — sur les lignes qui en possédaient déjà — ont augmenté de 30 à 35 % seulement (mais les arrêts aujourd'hui beaucoup plus espacés, une meilleure organisation et une plus grande tension des services, des marches plus serrées, de notables perfectionnements, une signalisation plus complète, l'emploi des freins continus, ont accru dans une plus forte proportion les vitesses commerciales), tandis que les charges remorquées ont quadruplé ou même quintuplé. Le confort des trains modernes est avant tout le résultat de l'accroissement de puissance des locomotives. En outre, la vitesse n'est plus l'apanage de quelques trains de 1^{re} classe à composition restreinte : elle s'est généralisée et, on peut dire, démocratisée ; les conditions d'exploitation sont tout autres.

Ces notions générales et indiscutées aujourd'hui étant posées, il nous a paru intéressant de rappeler ici, une fois pour toutes, quelques-unes des anciennes machines étudiées en vue d'obtenir de grandes vitesses, dont deux d'entre elles n'ont été que des tentatives exceptionnelles, mais dont la plupart ont effectué

pendant longtemps des services réguliers, ont eu leur heure de célébrité et n'ont disparu que devant le tonnage croissant des trains et, pour deux types d'entre elles, avec la suppression de la voie large de Brunel. Quelques-unes étaient fort en avance sur leur temps et ont réalisé des vitesses qui n'ont pas été dépassées, même sur des voies bien plus solides. Beaucoup sont entrées dans l'oubli, certaines ont toujours été inconnues en France et leurs plans ne se trouvent que dans de rares archives. Nous en choisirons un certain nombre, en ne mentionnant que celles ayant des roues motrices d'un diamètre égal ou supérieur à 2^m 30, en omettant toutefois, comme trop connues, les locomotives relativement récentes de certains grands réseaux britanniques (Great Western, Great Northern, etc.).

On ne sera pas surpris d'ailleurs que la majorité des exemples cités soient d'origine anglaise. Il n'est, en effet, pas contestable que les réseaux de la Grande-Bretagne ont été organisés les premiers en vue des grandes vitesses, peut-être stimulés par les résultats obtenus sur la voie large. En France, à l'époque considérée, exception faite pour les deux exemples que nous citerons, on se préoccupait davantage de développer la puissance des machines à marchandises ou pour fortes rampes (machines Engerth, Petiet, etc.).

Considérée en tant que simple machine de vitesse et indépendamment du poids à remorquer, la locomotive, nous l'avons dit plus haut, n'a pour ainsi dire pas progressé depuis 70 ans. Dès 1852, il existait des types de machines absolument évolués à ce point de vue ; encore ne faut-il pas oublier la légèreté des voies de cette époque, armées de rails en fer courts, et même non éclissés au début. Sait-on que des vitesses de 125 à 128 kilom.-heure, bien contrôlées, ont été obtenues couramment avant 1860 sur la voie large de Brunel (fig. 3) et que la vitesse de marche sur le Great Western atteignait normalement 110 kilom., mais naturellement avec des charges relativement peu élevées.

Ces machines étaient toutes à essieux indépendants, comme il convenait pour des diamètres de roues aussi grands. En principe, le nombre d'essieux accouplés de la locomotive doit être en raison inverse du diamètre des roues motrices, et la pratique usuelle le vérifie. Ainsi, l'essieu moteur est indépendant quand le diamètre des roues dépasse 2^m 20 ; on compte généralement deux essieux accouplés pour les diamètres de 1^m 90 à 2^m 15, trois pour les diamètres de 1^m 75 à 2 mètres, et quatre pour les diamètres de 1^m 45 à 1^m 70 en moyenne. Pour une chaudière de

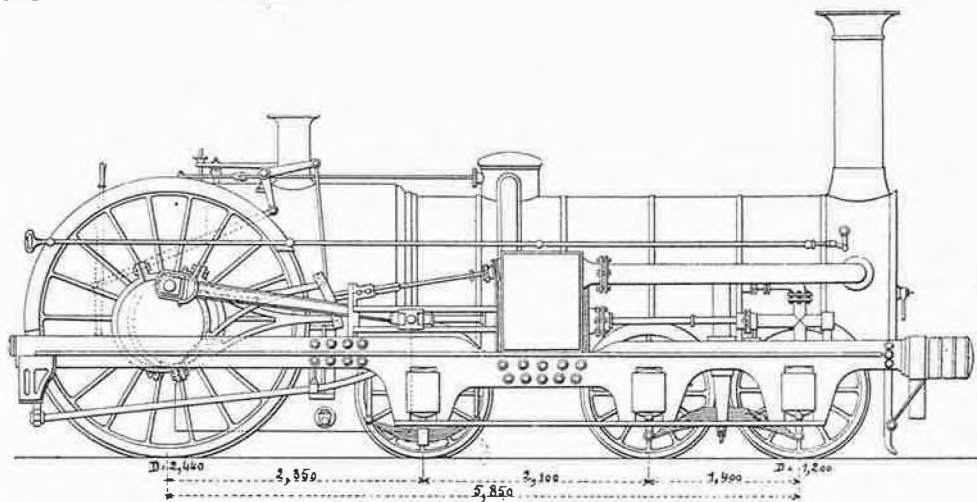


FIG. 7. — Grande machine Crampton du London and North Western Railway;
type « Liverpool » (1849).

puissance donnée, l'effort de traction variera en raison inverse de la vitesse, soit très sensiblement du diamètre des roues, toutes choses égales d'ailleurs, si la machine est bien proportionnée. D'autre part, l'effort de traction dépend du poids adhérent et conséquemment du nombre d'essieux accouplés.

L'accouplement de plusieurs essieux, pour les grandes vitesses, ne peut se concevoir pratiquement que pour des roues de diamètre modéré, comme c'est le cas des machines actuelles (types 2-3-0 ou 2-3-1). C'est ainsi que « la Parisienne » qui figurait à l'Exposition de 1889, comportant six roues accouplées de 2^m 50, et une chaudière de faible puissance, ne saurait rentrer dans le cadre de cette étude et constituait une absurdité de prin-

(1) Voir le *Génie Civil* du 19 janvier 1924 (t. LXXXIV, n° 3, p. 60).

cipe. En outre, son porte à faux considérable à l'avant la rendait dangereuse en vitesse; elle ne pouvait donc réaliser pratiquement les vitesses que l'on obtenait couramment avec les locomotives à quatre roues accouplées de 2 mètres, des types courants à l'époque.

MM. Blavier et Larpent avaient d'ailleurs commis la même erreur, mais aggravée, en accouplant deux paires de roues de 2^m 85 pour leur machine « l'Aigle » (encore une locomotive d'Exposition) qui ne fit jamais de service, surtout en raison de sa chaudière compliquée et absolument insuffisante, passant sous les essieux moteurs.

Les machines françaises à roues libres ont été retirées du service des lignes principales avant que le renforcement des voies ait permis un accroissement suffisant de la charge des essieux moteurs, et par conséquent du volume et du poids de leurs chaudières. Aussi n'en fut-il jamais construit de puissantes, et sont-elles restées à l'état de modèles, depuis longtemps rétrospectifs. Dès que le poids des express augmenta, tous les efforts se portèrent sur la machine à quatre roues accouplées. Le type Crampton semble en partie responsable de la défaveur qui s'est attachée de si bonne heure à ces machines.

Il ne permettait pas un développement suffisant du foyer ni de la chaudière; à moins d'employer à l'arrière un lest important et constituant un poids mort, toute surcharge de l'essieu moteur entraînait une augmentation de poids proportionnelle sur l'essieu porteur avant. Ces machines étaient condamnées d'avance à rester cristallisées dans leur cadre primitif avec un poids adhérent insuffisant. En un mot, si bien étudiées qu'elles fussent, elles n'étaient pas susceptibles de développement ni de progrès, et leur emploi limitait le poids des trains et des voitures.

Il en a été différemment en Angleterre, où les voies ont été renforcées de bonne heure et ont permis des charges de 18 à 20 tonnes sur l'essieu moteur placé au centre, presque à l'aplomb du centre de gravité. Aussi certaines d'entre elles, comportant un bogie à l'avant et munies de chaudières aussi puissantes que les locomotives à quatre et six roues accouplées, grâce aussi à l'emploi de charbons excellents et d'un tirage intensif, à l'usage

rationnel de la sablière à vapeur, ont-elles pu subsister beaucoup plus longtemps et assurer jusqu'à une date relativement récente, le service des trains rapides sur trois ou quatre grands réseaux à profil facile.

Ces locomotives, dont quelques-unes (que nous n'envisageons pas ici) ne datent en réalité que de 1889 ou même 1892, auraient pu obtenir des vitesses bien supérieures à celles que leur étaient demandées et que pouvait admettre le tracé des lignes.

Les schémas accompagnant cette note, et relatifs aux locomotives des types précurseurs dont nous avons prévu l'examen, les

représentent fidèlement telles qu'elles sont sorties des mains des constructeurs et, dans quelques cas aussi, après les refontes qu'elles ont subies ultérieurement pour les moderniser.

Ces machines paraissent aujourd'hui, à part le diamètre de leurs roues motrices, et même pour la voie large, de dimensions restreintes, mais on ne doit pas perdre de vue qu'elles étaient, d'une manière générale, plus poussées que les grosses locomotives modernes et recevaient un combustible de choix, parfois même du coke. On a, en effet, souvent mis à profit l'augmentation de surface des grilles pour brûler des charbons de moins bonne

qualité et ne permettant pas, sans entraînement, des tirages aussi intensifs. Sur le Nord, les Crampton étaient conduites par des mécaniciens d'élite qui savaient en tirer un parti remarquable.

Les locomotives dont nous voulons parler se partagent en deux classes, selon que l'essieu moteur était placé à l'arrière du foyer, ou au milieu, sous le corps cylindrique, et encadré par les roues porteuses.

Les premières appartiennent toutes au type breveté de 1845 à 1847 par l'ingénieur anglais Crampton, mais elles n'ont jamais été appréciées dans leur pays d'origine, où elles n'ont eu que des applications très tem-

poraires. Reprises en France un peu plus tard, elles n'ont acquis leur type définitif et pratique que sous la direction des Ingénieurs de l'Est et du Nord, notamment par M. Petiet qui a su en faire une machine restée classique et qui a assuré longtemps le service des express les plus rapides de l'époque.

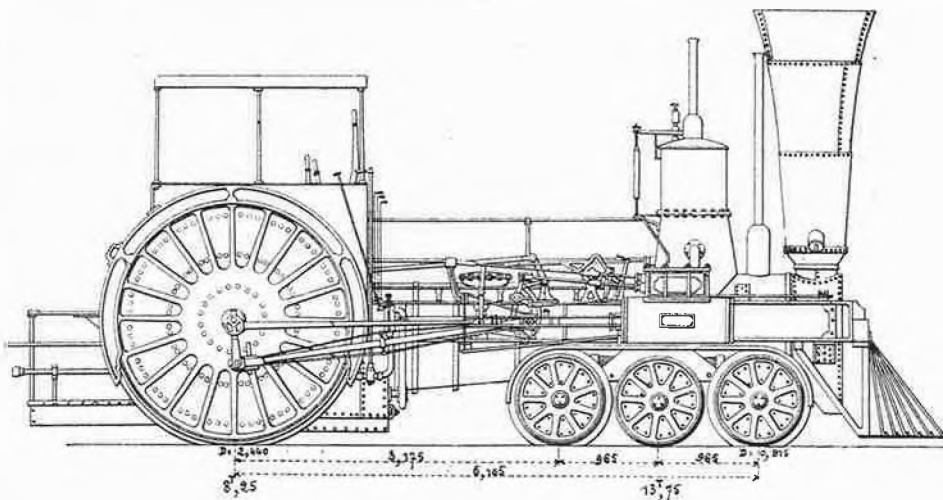


FIG. 8. — Machine du *Camden and Amboy Railroad* (U. S. A.) (1848).

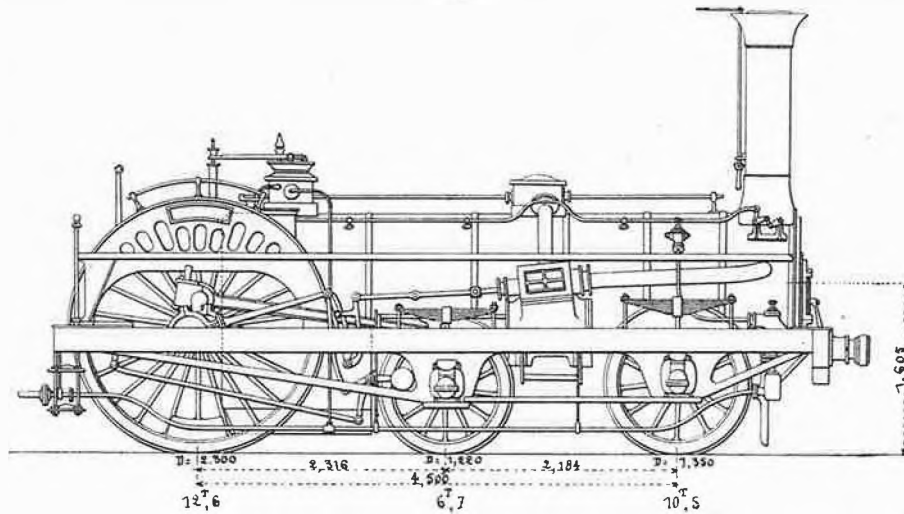


FIG. 9. — Machine Crampton du *Nord* (1853).

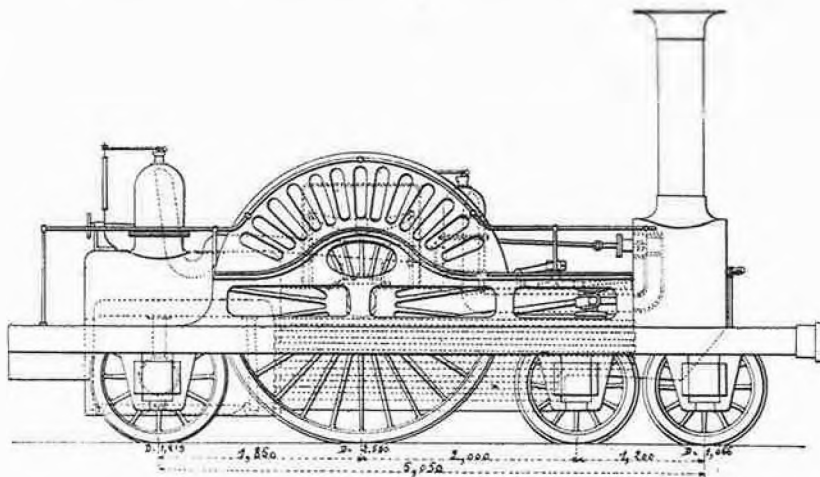


FIG. 10. — Machine de *Trewithick* (1850).

Ce type de machine, si désuet soit-il, a cependant, encore récemment, inspiré un certain nombre de dispositions qui lui ont survécu. Perdant d'ailleurs ainsi une de ses principales caractéristiques : l'abaissement extrême de la chaudière, il a pour ainsi dire donné naissance aux locomotives à quatre roues accouplées de l'Est et du Midi qui ont immédiatement précédé les compounds et qui étaient en somme des machines Crampton dans lesquelles on accouplait l'essieu milieu. Les cylindres restaient placés au centre et commandaient l'essieu arrière placé derrière le foyer. Celui-ci était profond et bien mieux disposé que dans l'ancienne machine, la chaudière bien plus puissante.

On doit même reconnaître que les compounds à quatre cylindres des 2-2-0 des réseaux français, en dérivent aussi sous certains rapports, les cylindres haute pression, par exemple, restant placés vers le milieu et actionnant l'essieu arrière. En fait, les innovations complètes sont assez rares, en ce qui concerne la locomotive, les types successifs s'échelonnant, pour chaque pays ou pour chaque école, sans transitions très brusques. Les études originales de Crampton et de Petiet ont donc eu, malgré tout, une influence importante et qui s'est prolongée longtemps, inséparable de l'histoire de la locomotive, du moins dans notre pays.

La figure 6 représente le premier type de locomotive construit en 1847 sur les plans de Crampton, pour un réseau britannique. Il se distingue surtout des machines ultérieures du même type par la disposition du châssis qui est intérieur; les roues motrices avaient un diamètre de 2^m 44. A part quelques détails, il offre déjà la plupart des caractéristiques du type.

Considéré comme trop faible pour le service qui lui était demandé, ce modèle fut remplacé, en 1849, par la machine de la figure 7 (London and North Western) offrant un foyer beaucoup plus vaste, un poids adhérent et total plus considérable. Elle comportait trois essieux porteurs avec un empattement rigide de 5^m 85 et des roues motrices de 2^m 44 comme la précédente. Cette locomotive, plus puissante et plus lourde que les Crampton françaises ultérieures, trop lourde même pour l'époque, fut rapidement retirée du service comme fatiguant les voies, tant en raison de son centre de gravité trop bas, que de son grand empattement fixe et de son poids mal distribué.

On avait construit auparavant, aux Etats-Unis (1848), un type de machine que nous ne citons qu'à titre de curiosité, mais qui se rattache par son principe au type que nous examinons. Les trois essieux porteurs sont très rapprochés et encadrés dans un châssis spécial élastique. Cette étrange locomotive (fig. 8) circula quelque temps sur le Camden and Amboy Railroad, mais sa chaudière insuffisante la condamnait à une prompt disparition.

La Compagnie de l'Est construisit, à partir de 1852, des machines du type Crampton à roues de 2^m 30 offrant une iden-

tité presque absolue avec le type du Nord dont on trouvera un schéma, figure 9. Ce dernier réseau donna d'une manière générale la préférence aux roues de 2^m 10, mais compta cependant à son effectif une série de machines à roues de 2^m 30. Elles ont constitué un type demeuré longtemps classique, resté en service pendant plus d'un quart de siècle sur la grande ligne. On pouvait leur reprocher une stabilité excessive qui, jointe à leur grande rigidité, avait tendance à désorganiser les voies, encore légères, de l'époque. En outre, l'abaissement de la chaudière ne permettait pas de donner assez de profondeur au foyer d'ailleurs trop petit et elles devinrent de bonne heure insuffisantes pour le remorquage des trains express; leur démarrage était surtout difficile.

La Compagnie P.-L.-M. a également compté à son effectif des machines du type Crampton analogues aux précédentes. Il en fut aussi construit quelques-unes pour des lignes rhénanes et même pour les chemins de fer russes, mais elles ne constituaient plus là qu'une importation non raisonnée, la largeur de la voie permettant d'obtenir toute la stabilité alors jugée désirable, et les vitesses

étant fort peu élevées, avec les autres types de machines.

En réalité, la machine Crampton n'a jamais reçu qu'en France, où on l'avait très bien mise au point, ses lettres de naturalisation. Ailleurs, on préféra la machine à essieu moteur indépendant placé sous le corps cylindrique et encadré par les essieux porteurs (comme d'ailleurs en France sur le P.-O. et l'Ouest, mais avec des roues de diamètre relativement petit — types Buddicom et Polonceau). Nous en examinerons ci-dessous quelques types, réellement bien en avance sur leur temps et dont certains représentants circulent peut-être encore sur des lignes d'embranchement.

La locomotive représentée figure 10 montre jusqu'à quel point, en 1850, on redoutait d'élever le centre de gravité des machines.

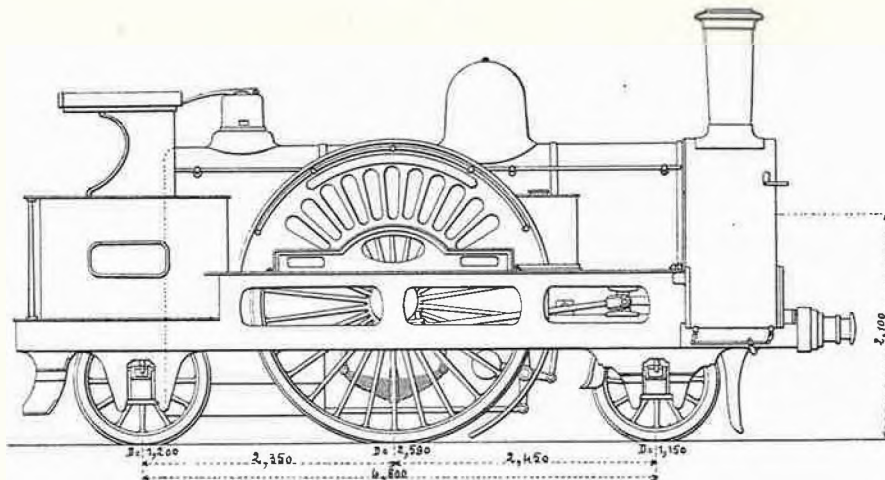


FIG. 11. — Machine de Trewithick refondue en 1878 (London and North Western Railway).

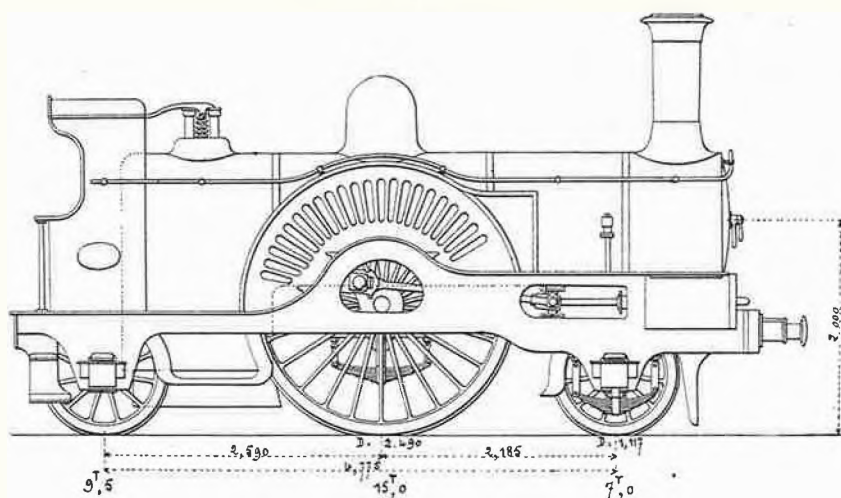


FIG. 12. — Machine du Caledonian Railway (1859); refondue.

Les roues avaient le diamètre considérable de 2^m 59, mais la chaudière rapetissée et contournée était disposée pour passer sous l'essieu moteur. Est-il nécessaire de dire que cette machine, due à Trewithick, n'a jamais, sous sa forme primitive, pu remorquer un véritable train, sa vaporisation étant absolument insuffisante et la disposition de son foyer défectueuse. Aussi fut-elle transformée, après une longue période de repos, en 1878, sous la forme représentée figure 11, entièrement modernisée,

et on doit la retenir comme la locomotive montée sur les plus grandes roues motrices qui aient jamais été adoptées sur la voie normale. Elle fit ainsi un service régulier.

Nous avons encore vu cette machine en 1913, au dépôt de Crewe, parfaitement entretenue et à l'état de neuf, attelée d'une manière permanente aux voitures spéciales mises à la disposition du haut personnel de la Compagnie pour les tournées d'inspection.

Afin de suivre un ordre à peu près chronologique, nous

citerons maintenant deux types de locomotive construits pour la voie large de 2^m 13, restés uniques de leur espèce, et qui ont donné dans leur temps des résultats bien remarquables, indiquant ce qu'il eût été possible d'obtenir dans la suite avec un tel écartement des rails.

La première (fig. 1), du Great Western Railway, date de 1850 et représente l'agrandissement d'une machine à trois essieux mise en service vers 1848. Elle est à double châssis et cylindres intérieurs, mais, grâce à la largeur de la voie, l'entr'axe de ces derniers était assez grand pour que le corps cylindrique descendit près de l'essieu coudé.

Les roues motrices, qui étaient sans boudins dans les premières machines, avaient 2^m 44 de diamètre. Ces locomotives étaient classées comme devant remorquer, en service régulier, 150 tonnes à la vitesse moyenne de marche de 85 kilom.-heure (n'oublions pas qu'il s'agit de la voie de 7 pieds.) Elles auraient développé près de 1 200 C. V. à l'indicateur. Grâce au grand diamètre de leurs roues, non seulement motrices mais porteuses — ces dernières avaient 1^m 40 — ces machines étaient très roulantes et atteignaient couramment, en service, des vitesses de 120 kilom. Elles remorquaient fréquemment les grands express du Great Western en double traction, remorquant alors des trains de 250 à 280 tonnes.

Elles ont été refondues en 1878 et munies d'une chaudière un peu plus puissante (fig. 2), puis démolies définitivement en 1892. Comme la voie large était condamnée depuis longtemps par la Compagnie, on n'avait pas sensiblement amélioré son armement depuis l'origine, ce qui n'a pas permis de donner, à beaucoup près, aux locomotives appelées à y circuler, l'extension dont elles étaient susceptibles.

Le Bristol and Exeter, également célèbre dans les annales des chemins de fer, et aussi à voie de 2^m 13, a mis en service en 1853 un type de machine à roues libres, dû à Parsons, certainement la plus remarquable et la plus propre aux grandes vitesses qui ait jamais été conçue ou construite. Cette locomotive, qui semble n'avoir aucune relation avec l'époque qui a vu sa mise en service, comprenait une paire de roues motrices de 2^m 74 de diamètre, jamais atteint antérieurement ni depuis, non munie de boudins, encadrée entre deux bogies, ce qui était plutôt une nouveauté il y a 70 ans. Vu les distances peu considérables à parcourir sur ce réseau, cette machine était du type tender, une partie de l'approvisionnement d'eau étant placée dans des caisses situées sous la chaudière.

De fait, cette locomotive, unique par ses proportions et ses dispositions d'ensemble, bien qu'également loin d'utiliser les possibilités de la voie de 2^m 13, a réalisé couramment, sur des voies encore médiocres et légères, dans les meilleures conditions de stabilité, des vitesses de 80 milles (128 kilom.-heure) sans avoir jamais été poussée à fond, en raison du tracé des lignes. Elle a été modifiée et refondu en 1866, comme le représente la

figure 4, et a circulé sous cette forme jusqu'à la disparition de la voie large sur le réseau considéré. Nous avons rappelé, dans le numéro précédent, les services accélérés qu'elle a assurés.

L'influence de la voie de Brunel a été autrefois considérable en Angleterre, en ce sens qu'elle a excité la concurrence des réseaux à voie normale, en présence des vitesses extraordinaires pour l'époque qui y étaient réalisées. Il a fallu cependant attendre la période récente et le renforcement définitif des voies (qu'a toujours ignoré la voie large) pour obtenir des résultats comparables.

Nous citerons, comme premier exemple, une série de machines du Caledonian Railway montées sur des roues motrices de 2^m 50, et à cylindres extérieurs. La figure 12 les représente telles qu'elles ont été refondues en 1878. Elles étaient encore en service, il y a quelques années, et peut-être même n'ont-elles pas disparu à l'heure actuelle. Leur empattement restreint, surtout avec des cylindres extérieurs, et

l'absence de bogie à l'avant n'ont jamais permis, croyons-nous, d'utiliser le grand diamètre de leurs roues pour les vitesses dont elles semblaient susceptibles. Elles ont, en tout cas, effectué de très bons services d'express jusqu'au jour où le poids croissant des trains les a reléguées sur les lignes secondaires.

La figure 13 est relative à une machine très peu connue, mise en service en 1861 sur le London and North Western (roues motrices de 2^m 34, cylindres intérieurs). Elle fut remplacée peu après par une machine (fig. 5) devenue classique, due à Ramsbottom, montée sur des roues de 2^m 32 et était encore en service tout récemment; il en subsiste probablement des spéci-

mens. Ce sont ces locomotives qui ont été reprises sur la grande ligne, en 1888, lors des services concurrents sur Edimbourg, dont nous avons parlé précédemment et comme seules capables alors, sur ledit réseau tout au moins, des vitesses à obtenir. Bien qu'elles eussent des cylindres extérieurs légèrement inclinés, pas de bogie et un empattement total de 4^m 70 seu-

lement, elles ont pu réaliser de grandes vitesses, grâce à la perfection et à la solidité de voies déjà entièrement renforcées et modernisées à cette époque.

La dernière de ces machines un peu spéciales que nous rappellerons, représentée figure 14, est due à M. Sturrock (1862) et a circulé sur le Great Northern. C'est une des premières (sinon la première) machines express à bogie destinées à la voie normale en Europe.

Elle offre un intérêt particulier en ce sens que, si anormal que cela puisse sembler, cette machine a servi indirectement de prototype pour les premières « Outrance » du Nord. M. Sturrock créa en effet, peu après, une locomotive assez semblable, également à châssis extérieur et cylindres intérieurs; l'essieu moteur fut reporté un peu sur l'avant, l'essieu porteur arrière remplacé

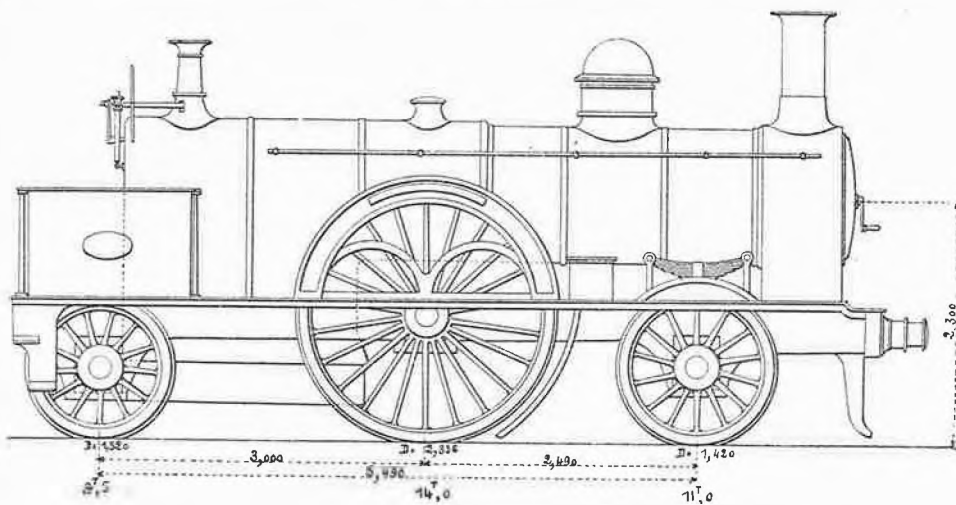


FIG. 13. — Machine du London and North Western Railway (1861).

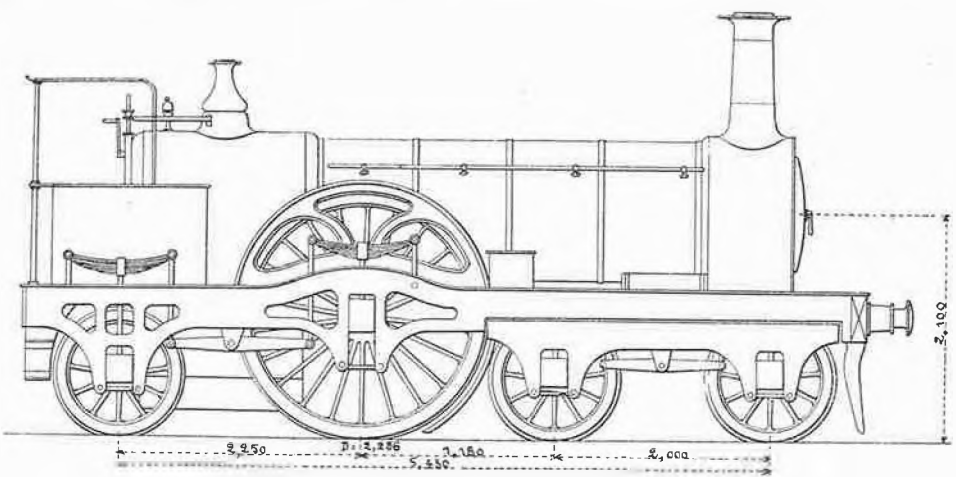


FIG. 14. — Machine du Great Northern Railway (1862).

par un essieu accouplé (roues de 2^m 13) et le bogie par un essieu porteur unique placé dans l'axe de la cheminée (disposition déjà adoptée pour des machines semblables, par ailleurs, à celles de la figure 14). Or, on sait que c'est cette machine qui servit de modèle pour les premières de la série du Nord ci-dessus mentionnée, d'un très bel aspect, et qui avaient alors un foyer profond descendant entre les essieux accouplés; le bogie ne fut ajouté que plus tard. La série a comporté de très bonne heure un foyer plus long, passant au-dessus de l'essieu arrière, destiné surtout à brûler des combustibles de qualité moins bonne, mais insuffisamment profond.

Nous terminons ici cet exposé qui clôt la série des machines que nous nous étions proposé d'envisager et au delà desquelles commence la période moderne qui sort du cadre de cette étude. Nous nous sommes étendu un peu longuement sur la question de la voie large de 7 pieds qui forme une des pages les plus intéressantes de l'histoire des chemins de fer : l'adoption définitive de cette voie, à un moment donné, envisagée ou tout au moins discutée, aurait eu les plus importantes répercussions. Elle a, en tout cas, subsisté plus d'un demi-siècle sans qu'on en ait tiré le parti dont elle était susceptible, par suite des circonstances que nous avons rappelées, mais on peut aujourd'hui comprendre les possibilités de développement qu'elle contenait en germe.

Maurice DEMOULIN,
Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ingénieur principal honoraire
des Chemins de fer de l'Etat.

CHIMIE INDUSTRIELLE

L'INDUSTRIE DU VERRE ET DES GLACES

En prenant possession du fauteuil de président, pour 1924, de la Société des Ingénieurs civils, M. L. Delloye, directeur général des Glaceries de la Compagnie de Saint-Gobain, Chauny et Cirey, a prononcé, sur l'industrie du verre et des glaces, un discours dont nous analysons ci-dessous les parties les plus importantes.

Après avoir rappelé les propriétés générales des verres dont la composition très variée, correspondant à des emplois très divers, explique le rôle important joué, dans cette industrie, par l'habileté et l'expérience des praticiens, l'auteur passe en revue les genres de fours employés pour leur fusion; puis il aborde l'étude des différentes catégories de verres.

VERRES D'OPTIQUE. — Les verres d'optique scientifique doivent posséder comme caractère commun de constituer une matière parfaitement homogène, exempte de toute tension intérieure, et dont les constantes physiques sont parfaitement déterminées.

La fabrication en est délicate, car chaque famille de verres demande à être traitée suivant une méthode différente, et les constantes physiques requises exigent souvent l'emploi de compositions limites, difficiles à fondre, aptes à se dévitrifier facilement, etc.

QUARTZ ET PYREX. — En dehors des verres d'optique scientifique, deux produits doivent encore être mentionnés : le quartz fondu, et les verres très riches en silice, de la famille des borosilicates.

Quartz fondu. — Le quartz serait, à bien des points de vue, le verre idéal; pratiquement exempt de dilatation, inattaquable à tous les acides, il jouit des propriétés optiques les plus intéressantes, et il est perméable aux rayons X. Malheureusement, c'est une matière très difficile à travailler. On ne peut l'obtenir à l'état liquide, mais simplement à l'état pâteux avec des températures voisines de 1900° que, seul, le four électrique peut donner. On est parvenu à en fabriquer des objets, à des prix qui ne sont plus inabordables, et son emploi est appelé à un grand développement dans les laboratoires, en électricité, en optique, etc.

Pyrex. — Vu les difficultés de fabrication et le prix élevé du quartz, on a cherché à obtenir des verres qui, sans en posséder toutes les propriétés, présenteraient cependant de sérieux avantages sur les verres ordinaires. C'est ainsi que des verres à haute teneur en silice, fabriqués suivant diverses formules, ont permis de faire des appareils de laboratoire résistants, et des récipients qui, même sous une épaisseur assez forte, résistent à de brusques changements de température. Ils trouvent leur application dans la stérilisation et la verrerie culinaire. Ces produits ont pris en Amérique un développement considérable, notamment ceux dénommés « Pyrex ».

Verre trempé. — Enfin, on a pu communiquer à des verres ordinaires des propriétés intéressantes, en les soumettant à la trempe. Une application courante est celle des plaques pour niveaux d'eau de chaudières et des voyants pour appareils travaillant sous pression.

VERRERIE INDUSTRIELLE. — Verre à vitre. — On connaît les anciens procédés de fabrication manuelle par soufflage en cylindres, depuis si longtemps classique.

Une composition identique peut donner des verres très différents, de sorte que dans un même four, surtout dans les grands fours à cuve, il se forme des courants de matière ayant des propriétés physiques assez variables. De plus, des écarts de températures de l'ordre de 20 à 30 degrés changent à tel point la viscosité du verre qu'il se travaille tout différemment. Dans le travail à la main, le souffleur voit comment se comporte la matière, réchauffe plus ou moins le manchon en l'introduisant dans l'atmosphère du four; en un mot, il arrive à établir l'équilibre et à répartir la matière, grâce à son habileté professionnelle. Au contraire, la machine, si perfectionnée soit-elle, à laquelle on fournit une masse de verre, ne pourra donner un résultat satisfaisant que si la matière est homogène et possède la température exacte correspondant à la viscosité qui lui convient.

Il n'est donc pas surprenant que cette question, travaillée depuis plus de 30 ans, ait amené la ruine de beaucoup d'entreprises et reste encore aujourd'hui extrêmement délicate à résoudre. D'ailleurs, la suppression des souffleurs ne dispense pas du concours d'un certain nombre d'ouvriers exercés.

Verre à vitre mécanique. — Néanmoins, les verreries mécaniques ont pris aux Etats-Unis et en Europe une place telle qu'elles jouent déjà un rôle important dans la production verrière.

Verre Fourcault. — Un des procédés les plus anciens essayé en Europe est le procédé Fourcault (1). Il comporte l'emploi d'un four à cuve où s'opèrent la fusion et l'affinage du verre qui vient remplir de petits bassins chauffés séparément. Dans chaque bassin flotte une nacelle rectangulaire, dite débiteuse, percée au fond d'une fente longitudinale, dont la longueur correspond à la largeur de la feuille que l'on veut étirer.

Le verre remonte par la fente et forme, à l'intérieur de la débiteuse, une sorte de bourrelet. Pour amorcer l'étirage, on vient souder à ce bourrelet une feuille de verre verticale engagée entre une série de rouleaux lamineurs horizontaux placés au-dessus de la débiteuse, dans une gaine protégeant le verre contre un refroidissement trop rapide et assurant ainsi un recuit suffisant. La feuille continue qui se forme a une épaisseur uniforme dépendant de la viscosité du verre et de la vitesse d'étirage. A l'extrémité supérieure de la gaine, la feuille étirée et refroidie émerge par une fente et lorsqu'elle a acquis une certaine hauteur, les ouvriers la coupent transversalement, détachant ainsi une feuille terminée; le mouvement d'ascension étant lent, cette manœuvre s'effectue sans interrompre l'étirage. On dispose en avant du four à cuve un nombre de débiteuses, variable selon l'importance du four de fusion, afin d'étirer tout le verre produit.

Ce travail conduit à des prix de revient très inférieurs à ceux du verre soufflé à la bouche, à condition que les déchets ne dépassent pas une certaine limite.

Verre de l'American Window Glass. — Le procédé qui tient actuellement la première place aux Etats-Unis et qui est appliqué en Angleterre et en France de façon industrielle est celui de l'American Window Glass Co (2) : le verre produit dans de grands fours à cuve y est puisé au moyen de grandes poches et versé dans des pots réversibles, disposés au-dessus de foyers chauffés au gaz ou à l'huile lourde et situés sous un appareil destiné à l'étirage des cylindres.

(1) Voir, à ce sujet, le *Génie Civil* du 23 juin 1923 (t. LXXX, n° 26, p. 603).

(2) Voir sa description détaillée dans le *Génie Civil* du 25 novembre 1911 (t. LV, n° 4, p. 68).