
L'ÉVOLUTION
DE LA
LOCOMOTIVE A GRANDE VITESSE EN FRANCE
de 1878 à 1914
ET L'INFLUENCE DE L'ÉCOLE ALSACIENNE⁽¹⁾

Par M. A. HERDNER.

MES CHERS COLLÈGUES,

Une tradition déjà ancienne, établie et continuée par mes prédécesseurs, m'impose aujourd'hui un premier devoir : celui de traiter devant vous un sujet emprunté à l'industrie à laquelle j'ai consacré mon activité professionnelle. Je vous parlerai donc de Chemins de fer, plus spécialement de Matériel et de Traction, voire même de Traction électrique. Mais ce serait en quelque sorte renier tout mon passé que de ne pas vous entretenir d'abord, et surtout, de ce merveilleux instrument qu'est la Locomotive à vapeur, si remarquable par sa souplesse, si précieuse par son indépendance, et qu'il y a plus de quarante ans déjà Couche, dont je m'honore d'avoir été l'élève, appelait un chef-d'œuvre de mécanique.

Dans l'histoire de son développement, l'année 1878, qui connut une exposition universelle tient une place d'une exceptionnelle importance. C'est, en effet, dans l'enceinte ou aux abords de cette exposition que la plupart de mes contemporains se souviennent d'avoir rencontré la première locomotive française à bogie, les premières applications des freins continus, la première locomotive compound. C'est de l'année 1878 que date l'abandon définitif et complet des locomotives à roues libres pour la conduite des trains express et rapides de l'ensemble du réseau français. C'est enfin l'année 1878 qui vit paraître le premier numéro de la *Revue Générale des Chemins de fer*, l'organe technique attitré des Compagnies. Si j'ajoute que cette même année 1878 fut celle de mes débuts sur les locomotives de la Compagnie du Midi, vous

1) Nous reproduisons sous ce titre la partie essentielle du discours inaugural prononcé le 10 janvier dernier, devant la Société des Ingénieurs civils de France, par M. A. HERDNER, Président pour 1919.

conviendrez que j'ai les meilleures raisons de la considérer comme marquant, mieux que toute autre, dans l'histoire du développement de la locomotive, ce que j'oserai appeler la fin du moyen âge et le commencement des temps modernes.

C'est de quelques-uns des progrès les plus remarquables qui ont illustré les temps modernes que je me suis proposé de vous entretenir ce soir. Désireux cependant de ne pas abuser de votre bienveillante attention, et obligé de limiter mon sujet, je ne les considérerai que dans leur application aux locomotives de grande vitesse. Plus que toutes autres elles ont le don de retenir l'attention du public, plus que toutes autres elles ont celui d'exercer la sagacité des constructeurs, tant par la diversité des problèmes à résoudre que par la difficulté de satisfaire à des exigences souvent contradictoires.

Les machines à roues libres, dont l'Exposition de 1878 a marqué l'abandon en France, étaient d'incomparables coureuses. Aux essais organisés par la Compagnie P.-L.-M. à la suite de l'Exposition de 1889 et dont notre ancien Président, le regretté Baudry, nous a rendu compte dans son discours inaugural, c'est une vieille Crampton rajeunie par l'application d'une chaudière Flamant, la machine 604 de la Compagnie de l'Est, qui réalisa la vitesse la plus grande : le 21 juin 1890, entre Montereau et Sens, elle couvrit un kilomètre en 25 secondes, réalisant ainsi sur ce kilomètre une vitesse moyenne de 40 m-sec., soit de 144 km-h. Les autres locomotives, toutes à deux essieux accouplés, qui participèrent aux essais, n'atteignirent que des vitesses maxima comprises entre 124 et 138 km-h. Mais l'unique essieu moteur des anciennes machines à roues libres n'imposait aux rails qu'une charge de 10 à 12 t. (Fig. 1), et

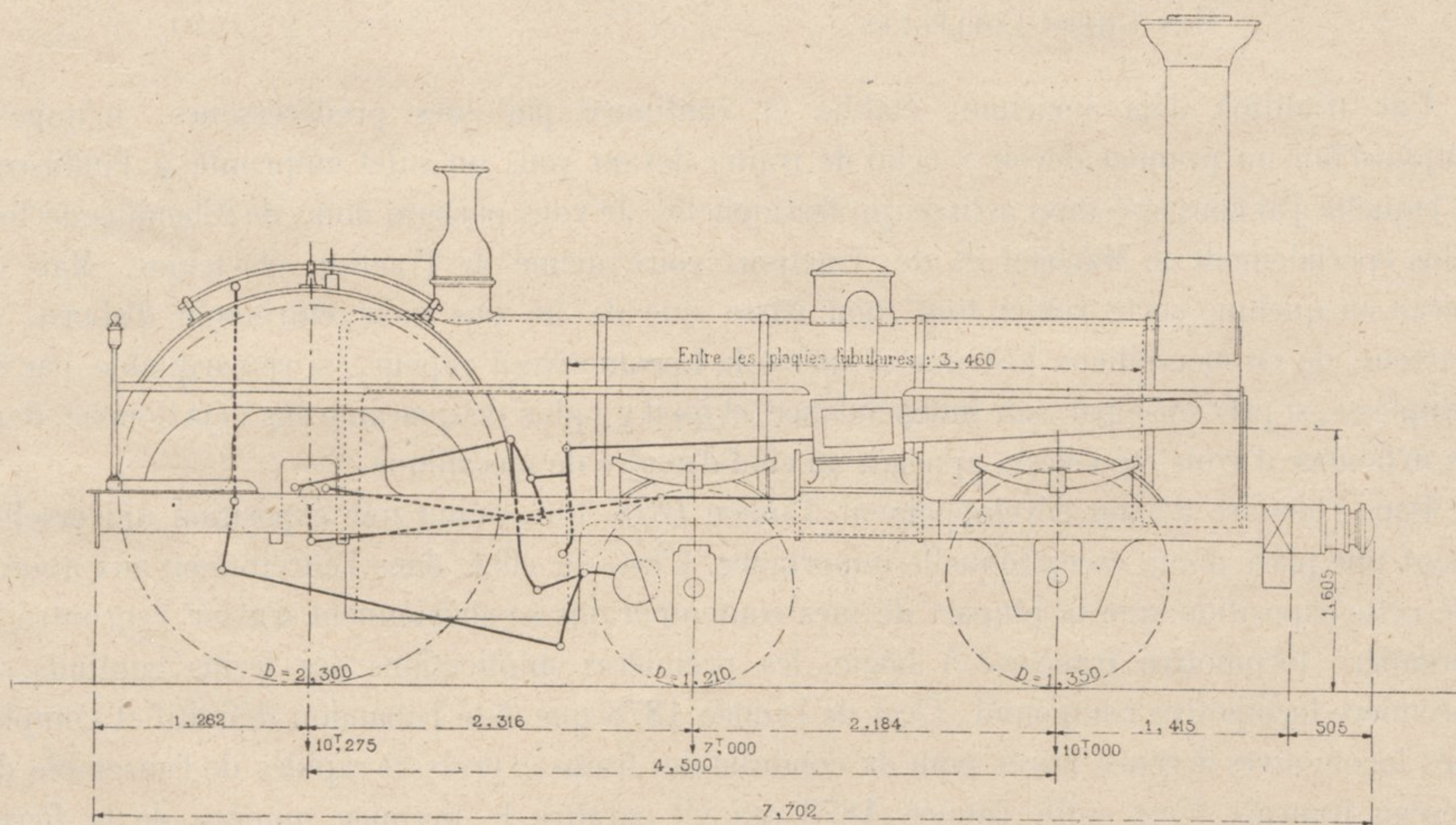


Fig.1 - Chemins de fer de l'Est - Locomotive Crampton, type de 1852, d'après M. Demoulin.

leur défaut d'adhérence, qui rendait fort pénibles leurs démarrages, les condamnait à ne remorquer sur les meilleurs profils que des tonnages qu'on jugerait aujourd'hui dérisoires.

En accouplant à l'essieu moteur des locomotives à grande vitesse l'un des deux autres essieux

dont elles étaient réglementairement pourvues, on augmentait d'un coup de 100% leur adhérence disponible, et comme il n'y avait alors aucune raison d'accroître leur puissance dans une proportion égale, on se ménageait, pour les besoins à venir, une importante réserve de poids adhérent. Augmentée des surcharges successivement imposées, avec l'agrément des services de la voie, aux essieux accouplés, cette réserve devait suffire pendant plus de trente ans aux accroissements successifs de puissance que réclamait le tonnage toujours croissant des express.

Ces accroissements de puissance, trois moyens distincts, mais dont aucun n'était exclusif des deux autres, permettaient de les obtenir. Le premier consistait à accroître la puissance de vaporisation des chaudières, grâce à une modification appropriée de leurs dimensions essentielles ; le second, à élever la pression de régime de la vapeur travaillante, c'est-à-dire le timbre des chaudières ; enfin, le troisième, à améliorer le rendement de la vapeur en travail mécanique, rendement qui laissait incontestablement beaucoup à désirer.

C'est d'augmenter la puissance de vaporisation des chaudières qu'on se préoccupa uniquement tout d'abord. La Compagnie d'Orléans, qui fut des premières à faire usage de locomotives à grande vitesse à deux essieux accouplés, avait commencé par étendre surtout leur surface de chauffe, d'une part, en installant un bouilleur Ten-Brink dans leur foyer, d'autre part, en allongeant leurs tubes à fumée dont la longueur fut portée à 5 m. entre plaques tubulaires. Plus tard, à la faveur d'un quatrième essieu qu'elle fut conduite à placer à l'arrière de la boîte à feu, en vue de supprimer un porte-à-faux nuisible, fâcheusement amplifié par des balanciers de suspension, elle augmenta également leur surface de grille qui de 1 m², 40 fut successivement portée à 1 m², 62 et à 1 m², 71.

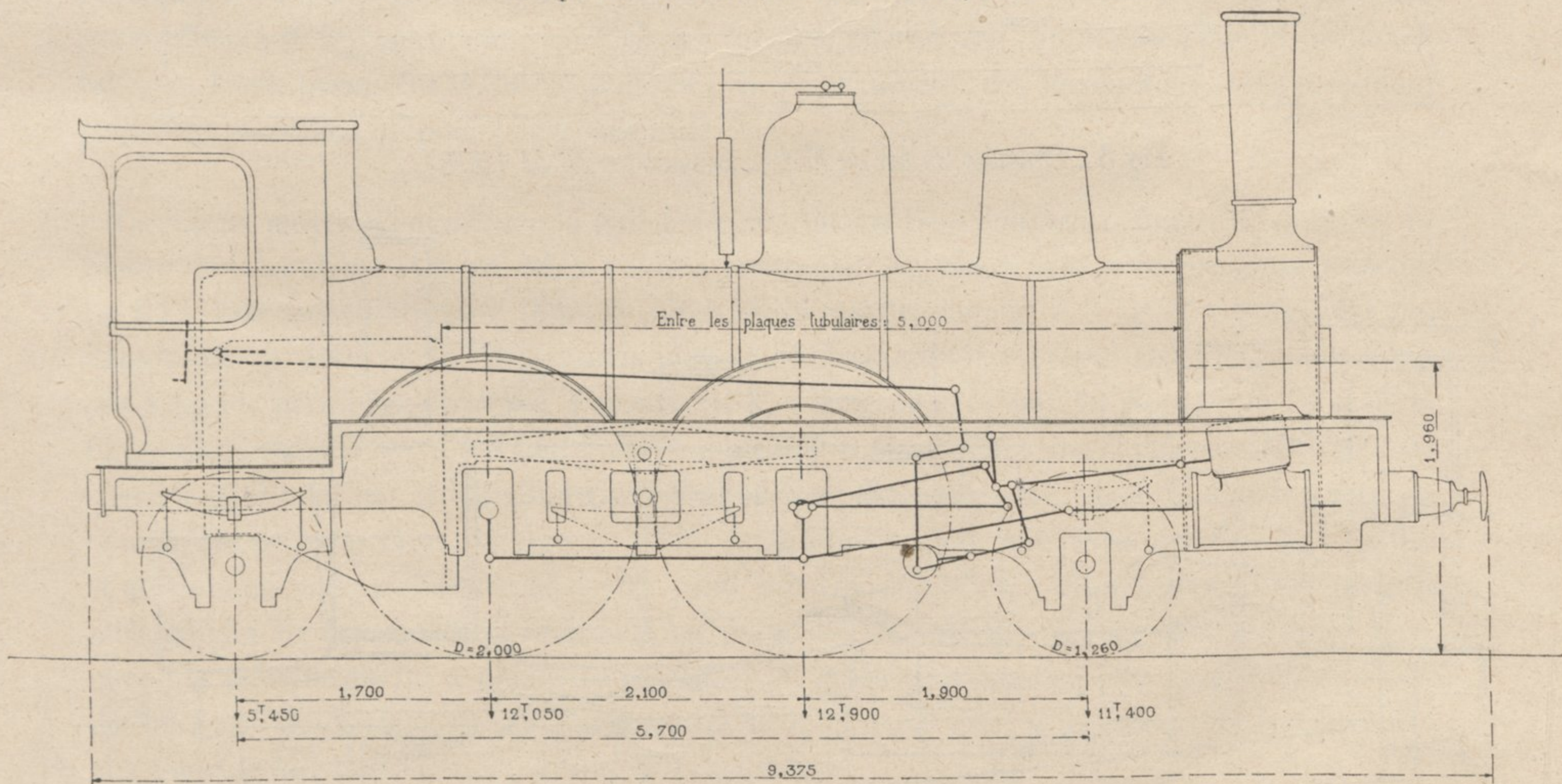


Fig. 2 - Chemin de fer d'Orléans - Locomotive type Forquenot (1876).

Ainsi fut constitué le type de locomotive à grande vitesse que, du nom de son inventeur, on appela le type Forquenot (Fig. 2). Très remarquable pour l'époque, il assura sur les grandes artères du réseau d'Orléans, jusqu'à la fin du dernier siècle, un irréprochable service.

Très semblable à la précédente, et pourvue d'une surface de chauffe sensiblement égale, la machine à grande vitesse à quatre essieux de la Compagnie de Lyon présentait une surface de grille notablement plus grande qui, de 2 m², 21 en 1878, fut portée peu après, pour les machines de la série 111 à 400, à 2 m², 32.

Préoccupées d'éviter l'addition d'un quatrième essieu, mais non moins désireuses de limiter les porte-à-faux, les Compagnies de l'Est, du Midi, du Nord et de l'Ouest s'étaient bornées, à l'encontre des précédentes, à agrandir les dimensions de la grille, et par conséquent du foyer,

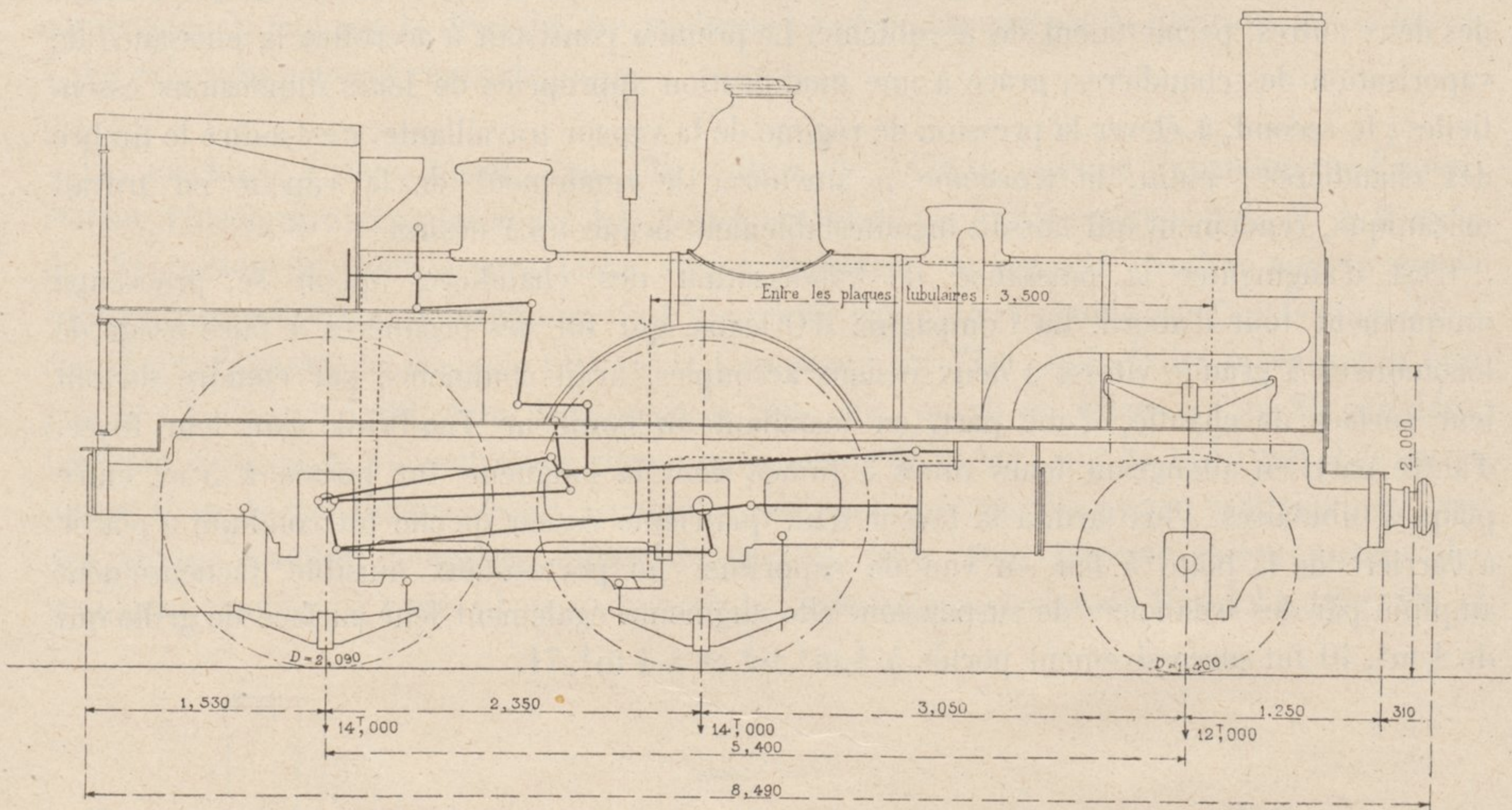


Fig. 3 - Chemins de fer du Midi - Locomotive N° 51 (1878).

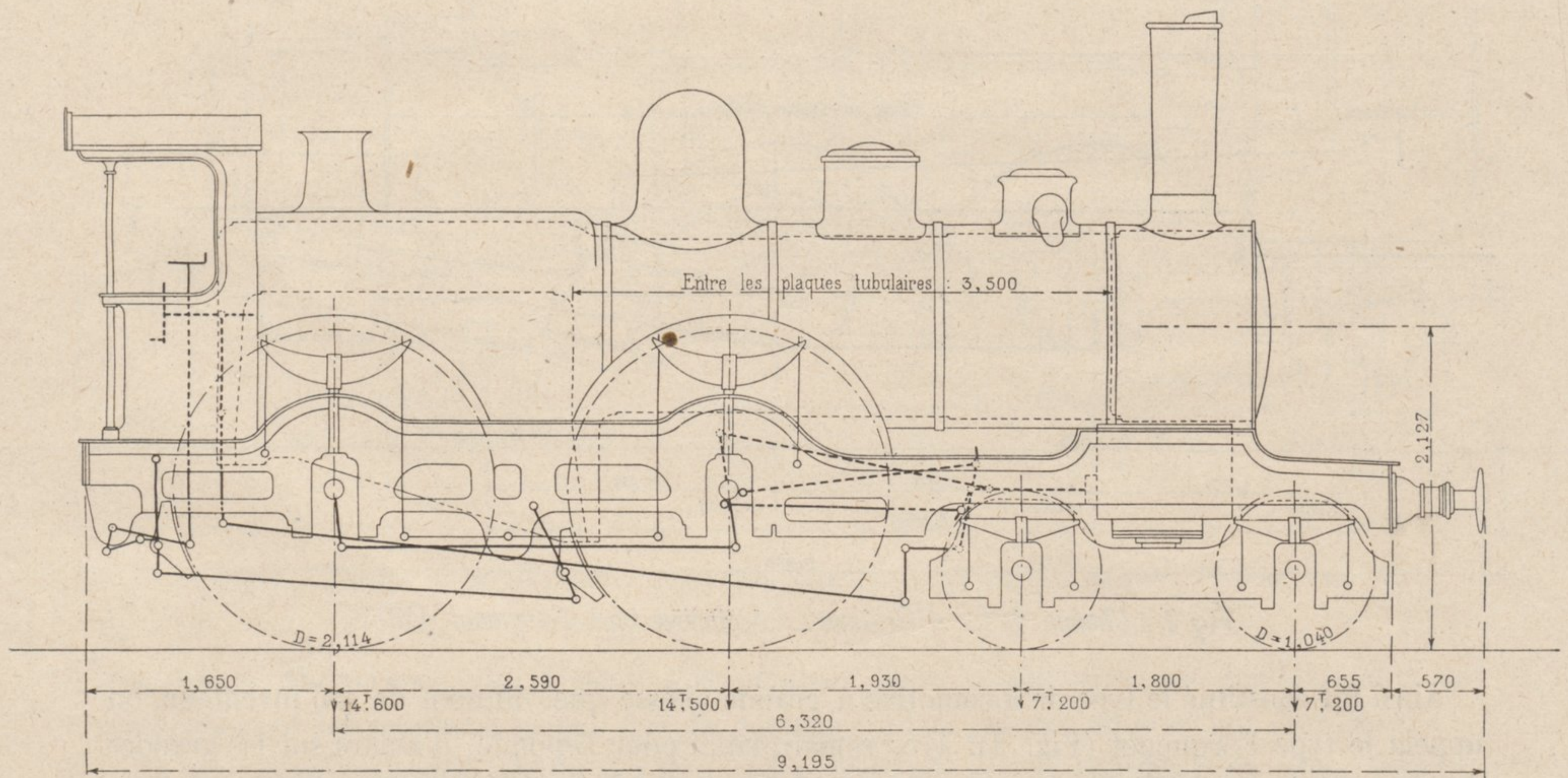


Fig. 4 - Chemin de fer du Nord - Locomotive Outrance N° 2861 (1877)

tout en conservant au faisceau tubulaire les dimensions linéaires et superficielles qu'il avait dans les chaudières d'autrefois (Fig. 3). Et lorsqu'en vue d'accroître la stabilité de ses dernières « Outrances », la Compagnie du Nord décida de leur appliquer un bogie (Fig. 4), au lieu et place de l'essieu porteur que comportaient les premières, elle ne jugea pas utile de saisir cette occasion d'augmenter leur surface de chauffe par un allongement des tubes.

Ces dispositions divergentes des chaudières, dont quelques-unes conduisaient à des rapports de surface de chauffe à surface de grille jusqu'alors inconnus en France, firent ressortir, d'une part, l'influence largement prépondérante de la surface de la grille sur la vaporisation horaire, d'autre part, l'insuffisance des formules empiriques qui prétendaient exprimer cette vaporisation en fonction du produit de la surface de chauffe par la surface de grille, comme s'il eût été possible de faire varier impunément, en raison inverse l'un de l'autre, deux éléments dont le rôle est si essentiellement différent.

Les mêmes dispositions divergentes permirent de se rendre compte que si les tubes à fumée de grande longueur étaient de nature à accroître le rendement du kilogramme de combustible, les tubes courts procuraient un rendement plus avantageux du mètre carré de grille. Les expériences poursuivies de 1885 à 1890 aux Ateliers de la Compagnie de Lyon sous la direction de M. Henry, et dont notre savant Collègue, mon ami Georges Marié, rendit compte en 1894 dans les *Annales des Mines*, eurent pour objet de préciser cette double influence de la longueur des tubes à fumée, non seulement sous différents tirages, mais encore avec des faisceaux tubulaires diversement constitués et différentes formes de foyers. Ces expériences, aujourd'hui classiques, mirent en lumière les avantages offerts, tant au point de vue de la puissance qu'à celui du rendement économique, par les voûtes en briques dont l'emploi commençait à se répandre, ainsi que par les tubes à ailettes qui, appliqués pour la première fois vers 1890, permirent d'alléger quelque peu les chaudières des locomotives, sans préjudice pour leur puissance, ni pour leur rendement.

Le second moyen d'augmenter la puissance des locomotives consistait, disais-je, à élever le timbre des chaudières. Or, en 1878, celui-ci continuait d'évoluer avec une prudente lenteur. De 6 kg, 500 aux environs de 1845, il s'était élevé respectivement à 7 kg et à 8 kg, 500 aux Expositions de 1855 et de 1867. Sur la plupart des locomotives exposées en 1878, il n'excédait pas 9 kg et, parmi les machines à grande vitesse, celles des réseaux du Nord français et de la Haute-Italie étaient les seules qui fussent destinées à fonctionner sous une pression normale effective de 10 kg par centimètre carré. Il est juste d'ajouter que, dès l'année suivante, la Compagnie de Lyon faisait timbrer à 10 kg ses premières locomotives de la série 111 à 400 et que son exemple ne tarda pas à être suivi sur l'ensemble du réseau français. Des progrès plus rapides ne devaient être réalisés à ce point de vue qu'une dizaine d'années plus tard, quand la métallurgie fut à même de produire, en fabrication courante et régulière, des tôles d'acier extra-doux suffisamment homogènes pour pouvoir être avantageusement substituées aux tôles de fer dans la construction des chaudières.

Je passe au troisième moyen sur lequel je m'étendrai beaucoup plus longuement.

Avant 1878, et en dehors de quelques essais infructueux entrepris sur des enveloppes de Watt, on n'avait cherché à accroître le travail rendu par la vapeur dans les cylindres des locomotives que par l'emploi de mécanismes distributeurs théoriquement plus parfaits, et

notamment de mécanismes à deux tiroirs, tels que ceux de Gonzenbach, de Meyer et de Polonceau, pour ne citer que des inventions françaises. Mais ces tentatives n'avaient abouti qu'à des mécomptes, et l'on s'explique ainsi que sur les locomotives exposées en 1878, tant par les grands réseaux français que par les réseaux étrangers, on ne trouvât aucune trace du souci d'augmenter leur puissance par une amélioration du rendement. Seule une modeste machine à six roues accouplées, de 24 tonnes en ordre en marche, présentait à cet égard une disposition intéressante et entièrement nouvelle. (Fig. 5). C'était une de celles que notre éminent Collègue, M. Mallet, avait été chargé d'étudier pour le petit chemin de fer de Bayonne à Biarritz et que, grâce à son insistance, il avait obtenu l'autorisation d'établir en compound. Par cette innovation hardie qui est l'honneur de sa carrière, et à laquelle l'Exposition de 1878 assurait une publicité si opportune, M. Mallet donnait aux spécialistes du monde entier, accourus pour s'instruire, la plus utile et la plus féconde des leçons de choses.

Cependant, tout d'abord, cette leçon ne fut pas comprise.

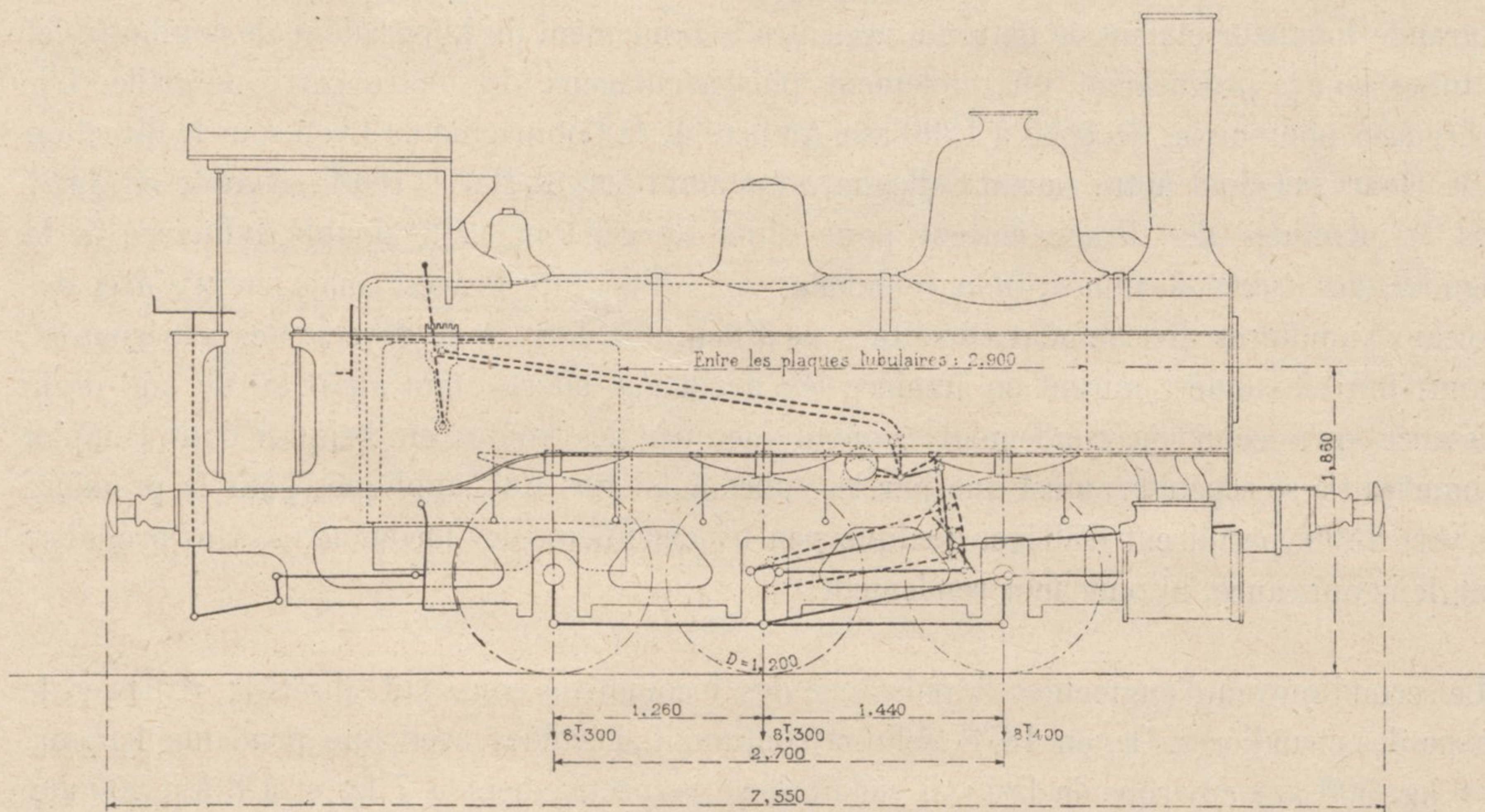


Fig. 5. - Chemin de fer de Bayonne à Biarritz - Locomotive système Mallet (1878).

Elle ne fut pas comprise, parce que la locomotive de M. Mallet n'avait fonctionné que sur un réseau minuscule où les éléments de comparaison faisaient totalement défaut.

Elle ne fut pas comprise, parce qu'on s'obstinait à n'y voir que la solution imparfaite et inélégante d'un problème purement géométrique, celui d'une détente suffisamment prolongée succédant à une admission sans laminage et suivie d'un échappement qui ne fût pas trop prématuré.

Elle ne fut pas comprise, surtout, parce que les belles recherches de Hirn sur l'action thermique des parois des cylindres et des pistons étaient encore ignorées du plus grand nombre ; parce que ses collaborateurs, les Hallauer, les Leloutre, les Grossetesté, les Walther-Meunier, les Dwelshauvers-Dery et toute cette phalange d'expérimentateurs consciencieux et habiles qu'on appela depuis, l'École Alsacienne, n'avaient pas encore réussi à triompher du scepticisme de leurs contemporains, volontiers réfractaires aux enseignements de la thermodynamique.

C'est à peine si, à cette époque déjà éloignée, la théorie que Hirn opposait aux anciennes théories génériques, et qu'il ne craignait pas d'appeler théorie expérimentale, commençait à pénétrer dans l'enseignement, où l'emploi des formules relatives à la détente adiabatique et au titre de la vapeur, c'est-à-dire à sa teneur en eau qu'on supposait croître pendant la détente, était encore souvent considéré comme le dernier mot du progrès. Encore moins avait-elle pénétré dans les bureaux d'études des constructeurs qui, pour toutes les comparaisons utiles, continuaient, et avec raison, de faire usage des formules relatives à la détente isothermique des gaz réputés permanents.

Ce n'est pas qu'on ne se fût rendu compte, et depuis longtemps, que la dépense d'eau des locomotives était très supérieure à la dépense théorique déduite de l'analyse des diagrammes. Mais, trop importants pour pouvoir s'expliquer par des fuites par les pistons et les tiroirs, les excédents constatés avaient été attribués par les premiers expérimentateurs à des entraînements d'eau par l'orifice du régulateur. De là la légende de la vapeur « extrêmement aqueuse », à 30, 40, 50 0/0 d'eau, et plus, qu'étaient censées consommer normalement les locomotives.

Or, rien n'est tenace comme une légende. En vain Clarke avait-il montré que l'importance relative des excédents d'eau dépensés croissait à mesure que diminuait l'admission, fait manifestement incompatible avec l'hypothèse de l'eau entraînée. En vain d'autres expérimentateurs furent-ils conduits, par des expériences semblables, à des conclusions analogues. Rien n'y fit : la légende continua de courir. Leloutre lui-même, en 1892, n'avait pas réussi à s'en affranchir et aujourd'hui encore je n'oserais affirmer qu'elle est morte.

Quant aux résultats négatifs auxquels avait conduit l'emploi des distributions à deux tiroirs, dont le principal objectif était l'accroissement du degré de la détente, on les avait vaguement attribués à des insuffisances de compression et à des frottements supplémentaires qui, en tout état de cause, ne pouvaient affecter le rendement en travail indiqué.

La publication du second volume de la théorie mécanique de la chaleur de Hirn, paru en 1876, fut comme un éclair dans ces ténèbres : Couche, qui dans son fascicule de 1875 semblait avoir renoncé à donner une explication satisfaisante de l'insuccès des détentes prolongées, adopte avec enthousiasme la nouvelle théorie, et dans son remarquable Livre VII, intitulé *Puissance et Effet utile des Locomotives*, parlant de Hirn, dont le nom sans cesse revient sous sa plume, il laisse échapper ce cri d'admiration :

« Savant physicien, savant ingénieur, vivant au milieu des machines à vapeur, qui était mieux préparé que lui pour rattacher les faits aux principes ? ».

Cependant Hirn, contrairement à une opinion très répandue, n'est pas le premier qui ait énoncé, ni même démontré le principe de la non-adiabaticité des parois des cylindres. Dans un de ses mémoires si documentés sur *l'Évolution pratique de la Machine à vapeur* qui lui ont valu deux fois, à deux ans d'intervalle, le prix annuel de notre Société, M. Mallet nous apprend que le fait matériel des échanges de chaleur entre la vapeur travaillante et le métal des cylindres était mentionné, dès 1838, dans le cours professé à l'École Centrale par Léonce Thomas, un Collègue depuis longtemps disparu. Bien mieux, à l'aide d'un modèle de machine à vapeur à cylindre de verre, Thomas rendait visible pour ses élèves les condensations et les réévaporations successives, comme devait le faire cinquante ans plus tard M. Bryan Donkin, au moyen d'un dispositif qui, successivement perfectionné et transformé en appareil de mesure, reçut de Hirn, en 1889, le nom de *Révéléateur Donkin*.

Si extraordinaire que paraisse aujourd'hui la regrettable infécondité de cet enseignement, elle s'explique par ce fait que l'expérience de Thomas n'avait qu'une valeur qualitative, et que les échanges de chaleur dont elle démontrait l'existence étaient considérés comme n'ayant sur la quantité de travail recueilli qu'une influence négligeable. Combes, dont Thomas s'était fait le collaborateur en 1843, le déclare expressément. « Il n'est guère possible en effet », écrivait-il vingt ans après cette collaboration, « de communiquer de la chaleur à la vapeur » dans l'acte de l'expansion qui a lieu trop rapidement pour que la vapeur se réchauffe » sensiblement dans son ensemble aux dépens des parois des cylindres qui seraient à une » température plus élevée ».

Reech, qui fut Directeur de l'École du Génie Maritime et qui avait reconnu dès 1850, au cours d'essais dont il avait été chargé, la nécessité d'attribuer un rôle thermique aux parois des cylindres, se montrait à cet égard beaucoup moins optimiste. « Nous ne connaissons pas », écrivait-il à cette occasion, « l'importance numérique du principe que nous venons d'ériger ; » elle doit être assez grande pourtant, si nous en jugeons non seulement d'après nos expériences, mais encore d'après l'observation incidente que voici... : Supposons » que la vapeur admise ait une force élastique de 1 atmosphère, le diamètre du cylindre étant de 400 mm. « ... Dans le cas où on arriverait à constater que la couche humide de vapeur liquéfiée » pendant l'introduction est d'un dix-septième de millimètre sur la paroi ronde seulement, » cela suffirait pour doubler la dépense de calorique sans rien ajouter à la force motrice » recueillie ». Mais le remarquable rapport de l'éminent ingénieur, de cet Alsacien que n'eût pas désavoué l'École Alsacienne, n'a été rendu public qu'en 1889, en annexe à la thermodynamique de Madamet. Il est regrettable que Hirn n'en ait pas eu connaissance. « Non » seulement j'aurais rendu justice avec joie à qui de droit », écrivait-il au sujet d'une antériorité de moindre envergure, « mais avec un pareil premier jalon devant moi, j'aurais pu procéder » beaucoup plus rapidement dans les expériences pénibles de recherches auxquelles j'ai eu » à me livrer quant à la machine à vapeur ».

Quoi qu'il en soit, c'est à l'École Alsacienne qu'il était réservé de déterminer l'importance numérique du principe érigé vingt-cinq ans plus tôt par Reech. Les nombreuses et importantes applications qu'elle fit de la méthode calorimétrique de Hirn, et dont le Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse se fit l'écho, plus spécialement à partir de 1873, sont des modèles d'analyse expérimentale où sont étudiés, dans les conditions les plus variées, les phénomènes thermiques qui s'accomplissent dans les cylindres. Quand, à la suite de ces publications et d'un certain nombre d'autres, dues notamment à la plume autorisée de M. Mallet et à celle de notre regretté collègue Dwelshauvers-Dery, on acquit une notion plus exacte de l'importance des quantités de chaleur alternativement absorbées et rendues par les parois des cylindres ; quand on dut reconnaître que, loin d'être négligeables, ces quantités de chaleur sont deux, trois, quatre fois plus importantes que celles qui sont converties en travail ; quand on fut convaincu que, comme le disait si justement Hirn : « l'évaporation instantanée de l'eau qui » recouvre les parois des cylindres au début de l'échappement est la cause la plus désastreuse » de la perte de chaleur dans les machines à vapeur » ; quand on se fut enfin rendu compte que l'étendue de ce désastre grandit avec l'écart des températures entre lesquelles évolue la vapeur dans un même cylindre, c'est-à-dire avec le degré de la détente qu'elle y subit, alors, peu à peu, la lumière se fit dans les esprits.

On commença alors à comprendre que les avantages essentiels de la double expansion ne

sont pas d'ordre géométrique, mais d'ordre thermique ; qu'elle est avant tout un moyen efficace et pratique de limiter l'étendue du désastre signalé par Hirn, de rendre économiques les détente prolongées, donc plus avantageuses les pressions élevées, en un mot d'augmenter notablement le rendement des moteurs. De plus en plus, on se persuada que les heureux résultats précédemment obtenus par l'application des détente successives aux machines fixes et marines ne pouvaient être l'apanage exclusif d'une classe particulière de moteurs. De plus en plus, on se fit à l'idée que la petite locomotive du petit chemin de fer de Bayonne à Biarritz, si froidement accueillie tout d'abord, pouvait être le point de départ d'un important progrès, et que le nouveau système de détente que lui avait appliqué M. Mallet méritait tout au moins les honneurs d'un loyal et bienveillant essai.

Quand je dis que l'on commença à comprendre, je dois à la vérité de reconnaître que ce n'est pas la France qui commença. Comme j'ai déjà eu l'occasion de le dire dans cette enceinte, M. Mallet ne fut pas prophète dans son pays. Son exemple ne fut d'abord suivi qu'à l'étranger, notamment en Russie et en Angleterre. Parmi ses premiers imitateurs, j'ai plaisir à citer Borodine, alors Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction du Sud-Ouest Russe, qui fut membre de notre Société. Sa première locomotive à double expansion, obtenue par voie de transformation d'une locomotive préexistante, date de 1880 et les essais calorimétriques auxquels il la soumit, suivant la méthode et d'après les indications de Hirn, sont relatés dans un important mémoire dont il nous réserva la primeur et qui lui valut le prix Nozo en 1888.

Mais alors que la plupart des constructeurs étrangers ne créaient que des locomotives compound à deux cylindres, d'un rendement assurément très remarquable, mais d'une puissance trop étroitement limitée par le gabarit, alors que Webb, du *London and North Western*, préoccupé surtout d'augmenter le poids adhérent des locomotives sans accoupler leurs essieux, ne faisait que des locomotives à trois cylindres, depuis longtemps disparues, la France adoptait, en quelque sorte d'emblée, le principe du compoundage à quatre cylindres dont l'application généralisée devait permettre d'augmenter les vitesses et les charges des trains de toute nature dans une mesure jusque-là inconnue.

La première locomotive à quatre cylindres qui ait circulé sur le réseau français est la machine 701 de la Compagnie du Nord, construite à Belfort par la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques. La commande en avait été sollicitée en 1884 par M. de Glehn, administrateur de cette Société, qui élevé à l'école des Normand, les constructeurs bien connus du Havre, s'était montré désireux de transporter sur une locomotive un système de détente qu'il avait vu appliquer avec tant de succès dans leurs ateliers.

Créée en vue d'essais et restée seule de son espèce, la locomotive N° 701 du Nord (Fig. 6) est une locomotive à grande vitesse pourvue de deux essieux moteurs indépendants dont l'un est actionné par deux cylindres intérieurs de haute pression, l'autre par deux cylindres extérieurs de basse pression, situés en arrière des premiers. La surface de sa grille est de 2 m², 27 et, comme celle des dernières « Outrances », sa chaudière n'est timbrée qu'à 11 kg par centimètre carré, ce qui, soit dit en passant, ne l'empêcha pas de rester pendant plus de vingt ans la plus économique des locomotives du réseau du Nord.

Mise en service au commencement de l'année 1886, soumise de 1886 à 1888 à des essais nombreux et variés, elle figura à l'Exposition universelle de 1889 et fut transformée, peu après, par la substitution d'un bogie à l'unique essieu porteur qui la soutenait à l'avant.

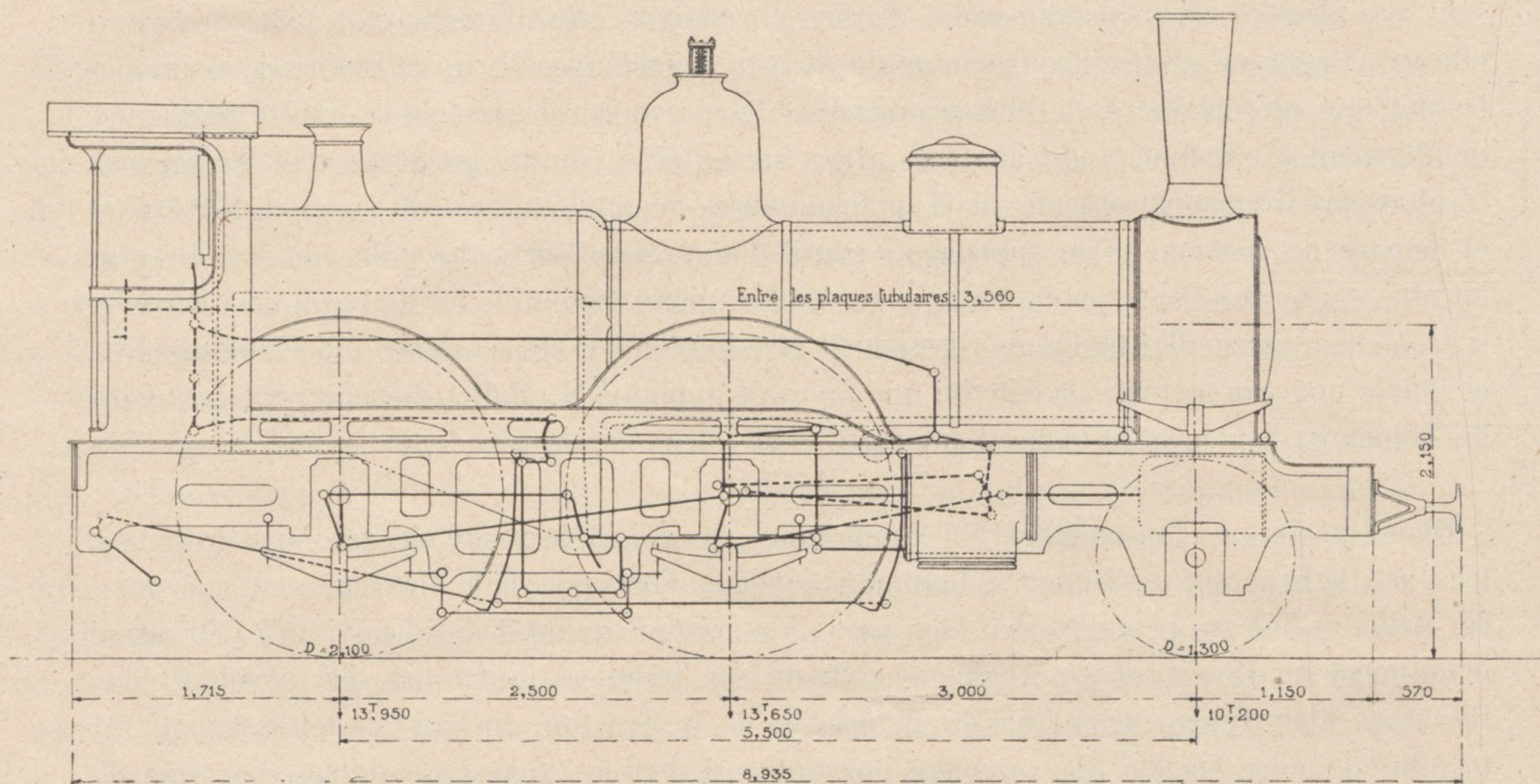


Fig. 6 - Chemin de fer du Nord - Locomotive N° 701 (1886).

L'indépendance complète des attirails H. P. et B. P. qui caractérise cette machine reflète une opinion très répandue parmi les anciens constructeurs. Persuadés que l'accouplement introduit dans le fonctionnement des locomotives un surcroît de résistance énorme, ils ne l'avaient accepté qu'avec regret pour la grande vitesse, et la possibilité de le supprimer leur paraissait justifier, à elle seule, la répartition des manivelles motrices d'une locomotive à plus de deux cylindres, entre deux essieux différents.

M. Henry, Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie P.-L.-M., avait exprimé un autre avis, confirmé plus tard par les expériences de M. du Bousquet, notre regretté ancien Président. Pour lui, les inconvénients de l'accouplement n'étaient pas à mettre en balance avec les avantages qu'il procure, tant au point de vue de l'utilisation du poids adhérent et de la rapidité des démarrages, qu'à celui de la régularité du travail dans les cylindres et de l'équilibrage des organes en mouvement relatif. Aussi, lorsque vers 1887, la Compagnie de Lyon entreprit à son tour l'étude d'une locomotive à grande vitesse compound à quatre cylindres et à deux essieux moteurs, fut-il décidé de prime abord que ceux-ci seraient rendus solidaires l'un de l'autre par des bielles d'accouplement.

Les locomotives C 1 et C 2 (Fig. 7) qui résultèrent de cette étude, et dont la première fut exposée au Champ de Mars en 1889, différaient encore de la machine 701 du Nord par le timbre de leur chaudière, porté d'emblée à 15 kg par centimètre carré, par le nombre de leurs essieux porteurs disposés comme ceux des locomotives antérieures de la série 111 à 400, par le porte-à-faux de leurs quatre cylindres, placés en batterie, enfin par la liaison de leurs mécanismes distributeurs gouvernés par un appareil de changement de marche unique. Mais, de même que la 701 du Nord, les C 1 et C 2 de la Compagnie de Lyon ne furent pas reproduites, et pour leurs constructions ultérieures les deux Réseaux s'empruntèrent l'un à l'autre les dispositions qui semblaient avoir donné les meilleurs résultats.

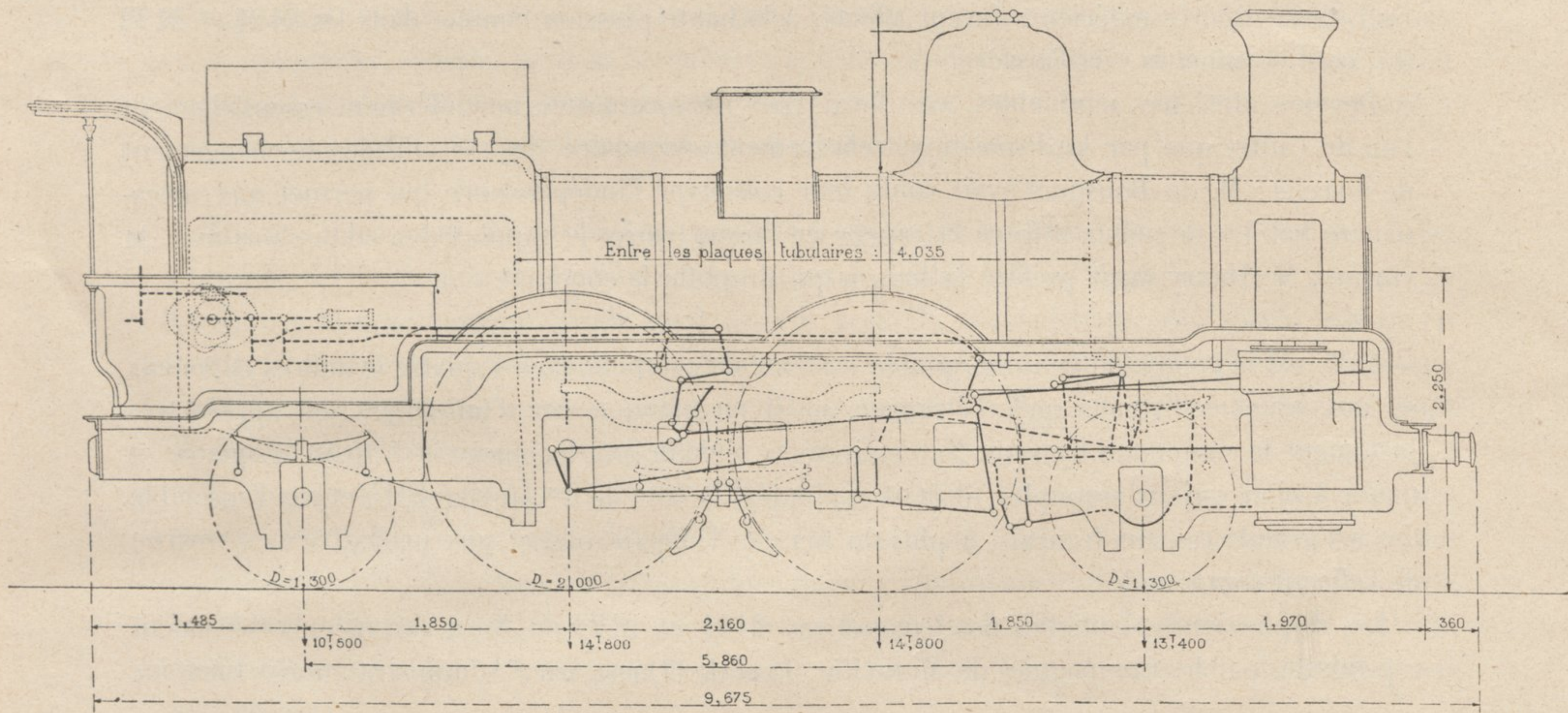


Fig. 7 - Chemins de fer P.L.M - Locomotive C.1 (1889).

C'est ainsi que les locomotives 2121 et 2122 de la Compagnie du Nord dont la première fut mise en service au mois d'août de 1891 et dont la seconde figura en 1893 à l'Exposition de Chicago, eurent leur chaudière timbrée à 14 kg et leurs deux essieux moteurs accouplés (Fig. 8).

De même, dans les locomotives C 11 et C 12 de la Compagnie de Lyon, mises en service en 1892, l'essieu porteur d'arrière fut supprimé et celui d'avant remplacé par un bogie. En

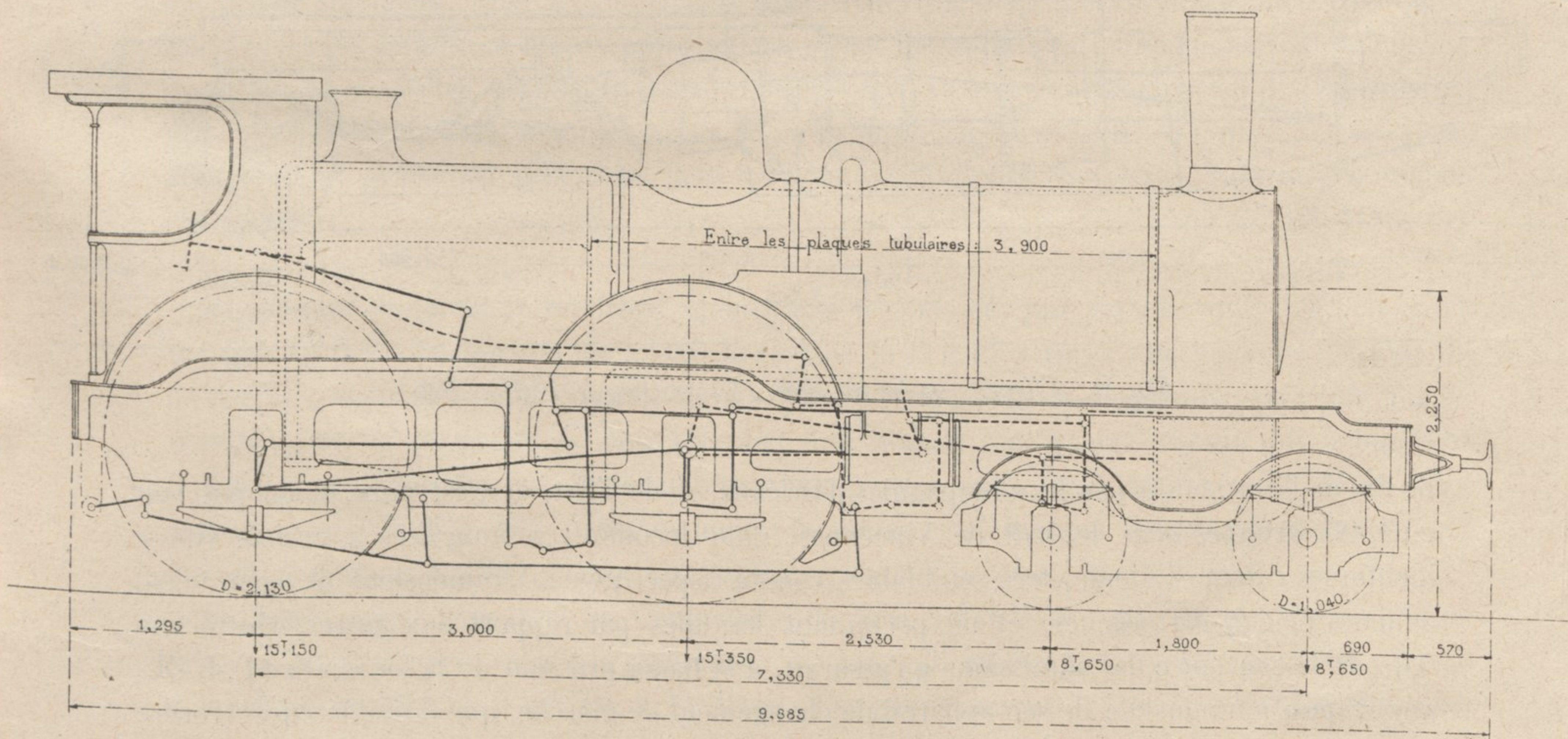


Fig. 8 - Chemin de fer du Nord - Locomotive N° 2121 (1891).

outre les cylindres extérieurs furent affectés à la haute pression comme dans les 2121 et 2122 du Nord et ramenés vers l'arrière.

Devenus ainsi très semblables, ces deux types de locomotive ne différaient essentiellement l'un de l'autre que par la disposition, relativement secondaire, des mécanismes de changement de marche : M. du Bousquet avait voulu leur conserver l'indépendance qui permet aux mécaniciens habiles de mieux utiliser la vapeur en faisant varier le rapport des admissions avec la vitesse ; M. Henry avait préféré la liaison qui simplifie la conduite.

Telle est la genèse de ce remarquable système de compoundage à quatre cylindres et à deux essieux moteurs distincts qu'à l'étranger, où il ne manqua pas d'imitateurs, on appela très justement le compound français. Successivement étendu aux locomotives à trois, à quatre et même à cinq essieux accouplés, il était appliqué à la date du 1^{er} janvier 1915 et sur l'ensemble des six grands réseaux français, à plus du tiers de l'effectif total et aux neuf dixièmes environ de l'effectif compoundé.

Les dispositions essentielles des locomotives 2121 et 2122 du Nord furent successivement reproduites par les Compagnies du Midi (Fig. 9) et de l'Ouest, par l'Administration des Chemins

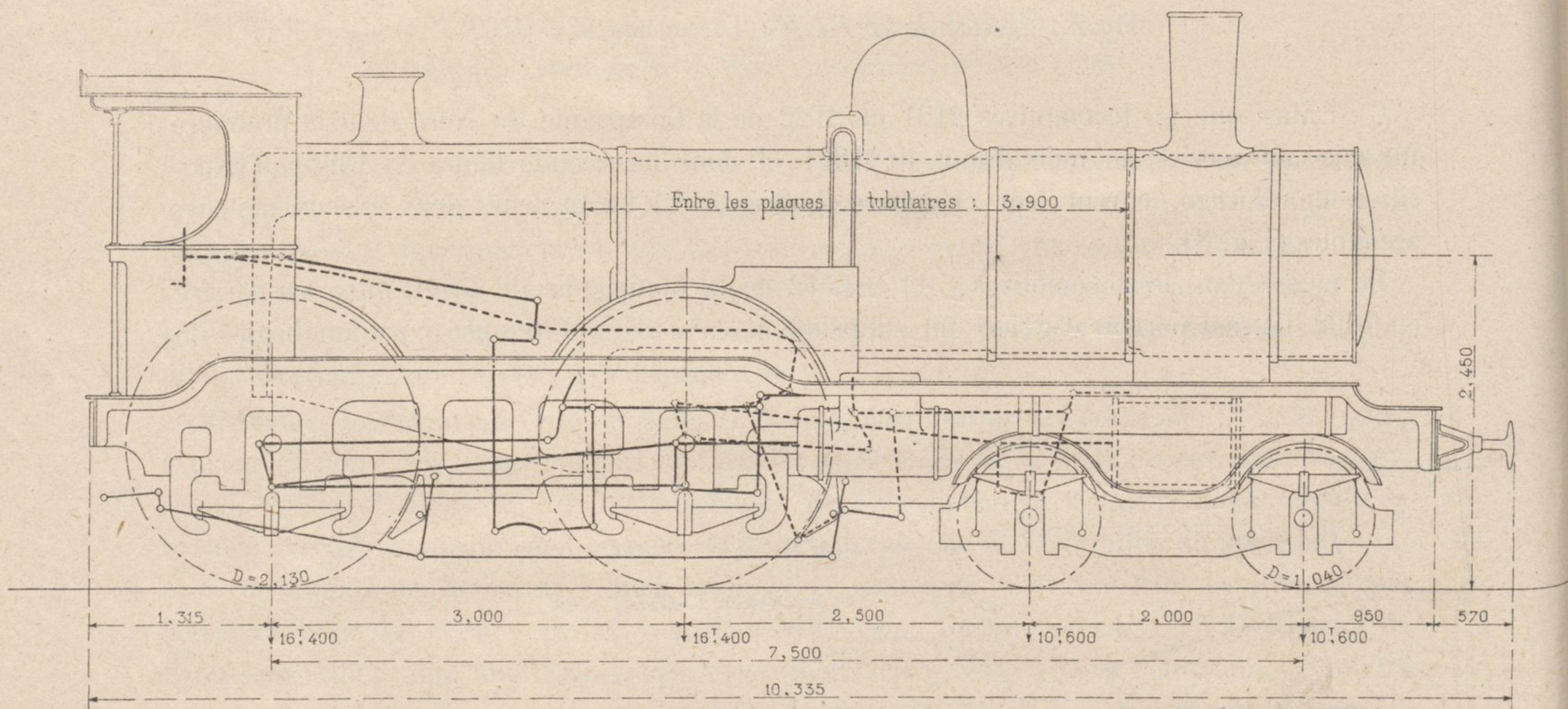


Fig. 9 - Chemins de fer du Midi - Locomotive N°1751 (1896)

de fer de l'État, enfin par les Compagnies d'Orléans et de l'Est, et c'est ainsi qu'on put voir en 1900, groupés sous le hall de Vincennes, cinq locomotives françaises à grande vitesse identiques comme système, très semblables comme aspect général, dimensions et agencement de leurs principaux organes, et ne présentant les unes par rapport aux autres, abstraction faite de la constance des admissions qu'assurait, à la basse pression de la locomotive P.-L.-M., une disposition nouvelle de son appareil de changement de marche, que des différences d'ordre tout à fait secondaires.

Un accord aussi complet sur un type de locomotive, justifié par l'identité des services à

assurer, était un fait inconnu jusqu'alors dans l'histoire de nos chemins de fer. Nous l'avons vu se renouveler, depuis, pour la locomotive à trois essieux accouplés et à bogie, compound à quatre cylindres de la Compagnie du Midi, qui, mise en service en 1896 et exposée à Vincennes en 1900, fut successivement adoptée par tous les réseaux.

Mais les chemins de fer n'échappent pas à la loi générale qui oblige la plupart des industries à transformer incessamment leur outillage. Si remarquable que soit par lui-même un type de locomotive et avec quelque faveur qu'il ait été accueilli à ses débuts, son succès n'a qu'un temps. Parfois il est démodé après une courte carrière, sans qu'aucun progrès d'ordre technique ait été réalisé depuis sa création, uniquement parce que les besoins en vue desquels il avait été étudié se sont étendus ou modifiés.

Et ce qui est vrai dans le temps ne l'est pas moins dans l'espace. Les conditions d'établissement des lignes à desservir, la nature et l'intensité du trafic à envisager, le climat des régions traversées, la nature des combustibles qu'on y consomme et des eaux qu'on y rencontre, le souci de ne pas multiplier les pièces de rechange sont autant de facteurs qui influent puissamment sur les dispositions d'ensemble ou de détail qu'il convient de donner aux locomotives.

C'est cette diversité des conditions à remplir qui a toujours fait obstacle à la normalisation tant souhaitée par nos constructeurs. Elle a cependant une tendance à s'atténuer et l'unification des principales pièces de rechange, actuellement poursuivie par les réseaux, constituera à ce point de vue un important progrès. Il sera possible d'envisager alors, sous réserve de quelques accessoires dont l'unification ne présente aucun intérêt, sous réserve des modifications successives, si importantes soient-elles, dont l'expérience démontrera l'utilité, sous réserve enfin de la liberté conservée aux réseaux de mettre à l'essai des dispositions nouvelles, la normalisation d'un petit nombre de types de locomotives destinés à assurer des services comparables sur des profils similaires. Aller plus loin dans cette voie — je n'aurai cessé ce soir d'en accumuler les preuves — serait une faute : ce serait paralyser les initiatives individuelles et enclencher le progrès. Loin d'être issus de la fantaisie des Compagnies ou de l'imagination des Ingénieurs, comme on l'affirmait naguère, nos types si variés de locomotives sont, en réalité, les solutions différentes de problèmes différents, dont les données, toujours complexes, sont incessamment changeantes.

Mais revenons à la 2121 du Nord. Quatre ans ne s'étaient pas écoulés que déjà on avait reconnu l'utilité d'augmenter de 12 0/0 la surface de sa grille. Après une nouvelle période de quatre ans, nouvelle augmentation, de 20 0/0 cette fois ; mais le supplément de poids qui en résultait pour la chaudière ne pouvant plus être imposé aux quatre essieux que comportait le type primitif, on dut en ajouter un cinquième, qu'on plaça sous le foyer, à l'arrière des essieux accouplés (Fig. 10). Ainsi fut créée la première *Atlantic* à double expansion qui ait circulé en France, la 2641 du Nord, très remarquée à Vincennes, en 1900.

Quelques années plus tard, les Compagnies du Midi et d'Orléans, qui avaient adopté le même type, en augmentaient encore la puissance : de 2 m², 76 au Nord, la surface de grille s'élevait à 3 m², 08 au Midi, à 3 m², 10 à l'Orléans. En même temps le poids adhérent qui était de 33 t au Nord, atteignait 35 t au Midi, 36 t à l'Orléans. Une prescription ministérielle, dont les dispositions ne devaient être élargies qu'en janvier 1915, limitait alors à 48 t par

essieu la charge statique normalement autorisée. En construisant sa locomotive Atlantic, la Compagnie d'Orléans achevait par conséquent d'épuiser la réserve de poids adhérent qu'elle s'était virtuellement constituée autrefois, par l'abandon des locomotives à roues libres.

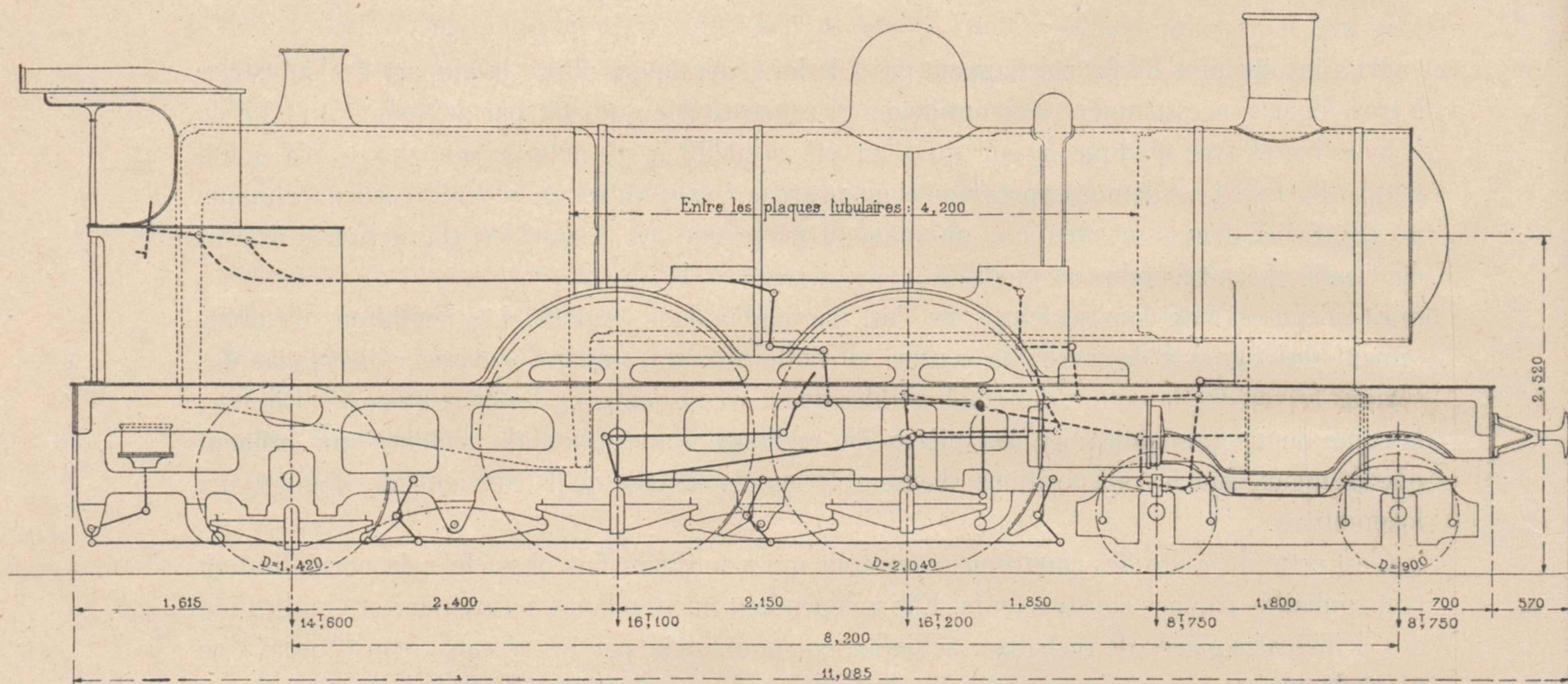


Fig.10 - Chemin de fer du Nord - Locomotive Atlantic N° 2641 (1900).

De cette réserve, cependant très supérieure aux prévisions du début, la machine à quatre essieux avait absorbé la majeure partie, ne laissant disponible pour le développement ultérieur de la machine à cinq essieux, qu'une marge extrêmement restreinte. Aussi le règne des Atlantic fut-il éphémère, et dès l'époque où l'addition d'un cinquième essieu commençait à s'imposer, plusieurs Compagnies jugèrent-elles préférable de l'accoupler avec les essieux moteurs, afin de s'assurer un supplément d'adhérence dont l'utilité commençait à se faire sentir aux démarrages.

Avec l'accouplement d'un troisième essieu, la locomotive à grande vitesse entre dans une phase nouvelle de son évolution. Avant de la suivre dans les transformations qui jusqu'ici ont illustré cette phase, jetons un regard en arrière et, d'un coup d'œil rapide, essayons de mesurer l'étape que, pendant trente ans et plus qu'elle fut à la tête de nos express, la locomotive à deux essieux accouplés nous a permis de parcourir sur la route du progrès.

Doublée du fait du doublement de la grille, majorée d'environ 50 0/0 grâce au doublement du timbre et à l'amélioration des conditions de la détente, la puissance des anciennes machines à roues libres était sensiblement triplée dans les Atlantic. Doublé du fait de l'accouplement, majoré de 50 0/0 grâce à la surcharge progressive des essieux accouplés, leur poids adhérent avait grandi dans une proportion égale.

Qu'avons-nous fait de cet excédent de puissance ?

Dans quelle mesure l'avons-nous appliqué au développement des vitesses ? Dans quelle mesure à l'accroissement des charges ?

Pour répondre à la première question, consultons les anciens tableaux de marche et

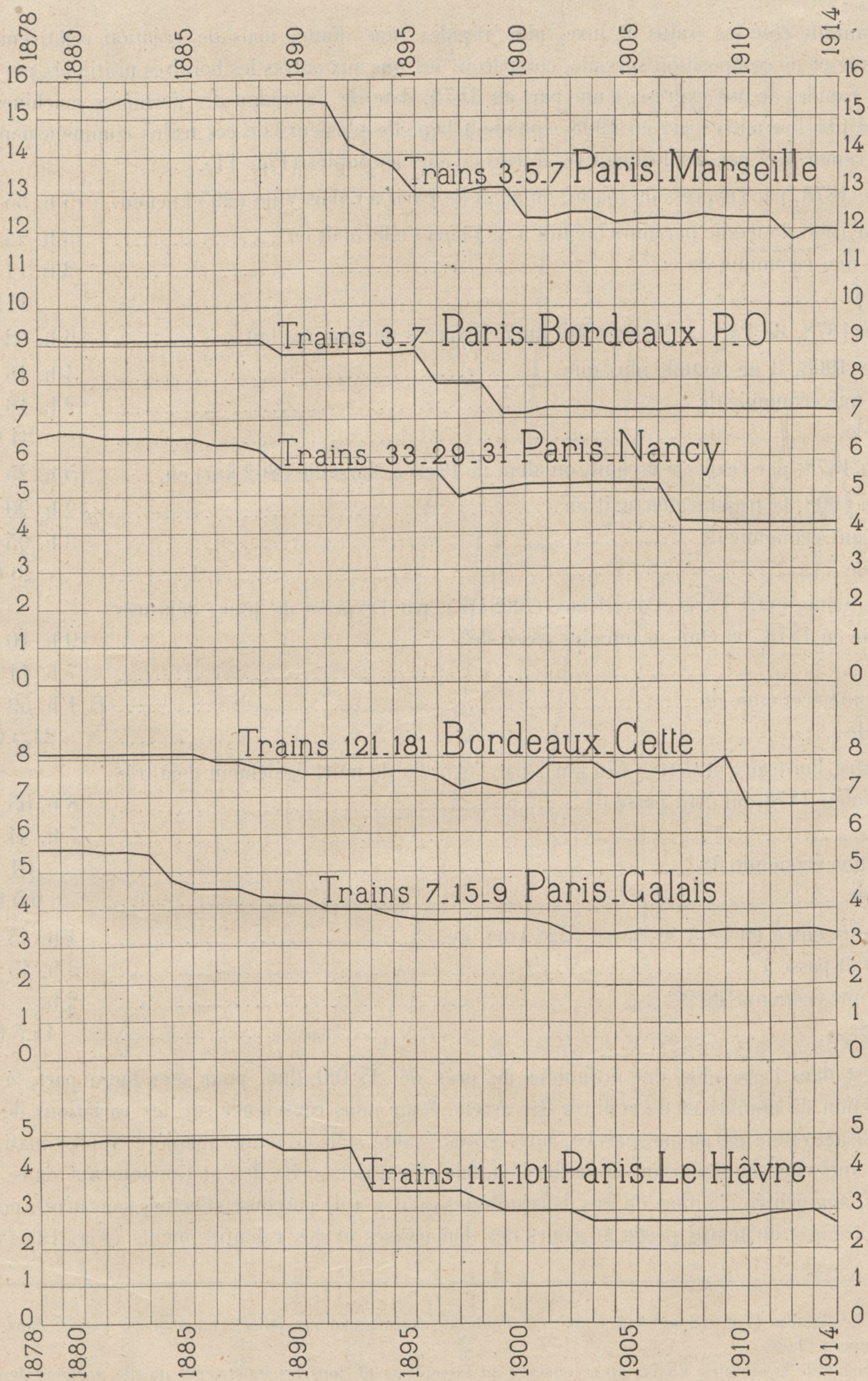


Fig.11 - Variation de la durée du parcours de différents express de 1878 à 1914

laissant de côté les trains de luxe, plus rapides sans doute, mais de création relativement récente et de composition spéciale, comparons les uns aux autres les horaires pratiqués par les plus rapides de nos express, d'une part en 1878, date de l'abandon des dernières machines à roues libres, d'autre part en 1908, époque à laquelle plusieurs de ces trains commençaient à être remorqués par des locomotives à trois essieux accouplés (Fig. 11).

En 1878, par l'express du matin, on allait de Paris à Calais-Ville (295 km) en.....	5 h. 35 m.
En 1908, le même parcours (réduit à 294 km) s'effectuait en.....	3 h. 24 m.
d'où une économie de.....	2 h. 11 m.
soit de.....	39 0/0
En 1878, de Paris à Nancy (353 km), l'express de jour mettait.....	6 h. 32 m.
En 1908, il ne mettait plus que.....	4 h. 16 m.
d'où une économie de.....	2 h. 16 m.
soit de.....	34 0/0
En 1878, par l'express de nuit, on allait de Paris à Marseille (862 km) en.....	15 h. 25 m.
En 1908, le trajet s'effectuait en.....	12 h. 20 m.
d'où une économie de.....	3 h. 05 m.
soit de.....	20 0/0
De même entre Paris et Bordeaux (582 km), par l'express de jour, déjà très rapide en 1878, on était néanmoins passé de.....	9 h. 10 m.
à.....	7 h. 11 m.
d'où une économie de.....	1 h. 59 m.
soit de.....	21,5 0/0
Entre Bordeaux et Cette (476 km), par l'express de nuit, également déjà très rapide en 1878, on était passé de.....	8 h. 05 m.
à.....	7 h. 34 m.
d'où une économie de.....	31 m.
soit de.....	6,5 0/0
Enfin, entre Paris et le Havre (228 km), de.....	4 h. 45 m.
on était passé à.....	2 h. 45 m.
d'où une économie de.....	2 h.
soit de.....	41,5 0/0

C'est dans l'ensemble une économie de près de 25 0/0 due, pour une large part, à la réduction du nombre et de la durée des arrêts. Pour nous renseigner sur les variations de la vitesse moyenne de pleine marche, nous avons évalué celle-ci d'une manière approximative, mais uniforme, en déduisant de la durée totale des trajets celle des stationnements dans les gares, augmentée d'autant de fois deux minutes qu'il y a de parcours effectués sans arrêt, pour tenir compte du temps perdu au cours des démarrages et des ralentissements (Fig. 12) (1).

(1) Les figures 11 et 12 ont été établies à l'aide de renseignements puisés, en majeure partie, dans les Indicateurs Chaix.

Je remercie la Librairie Chaix, qui a conservé un exemplaire de tous les indicateurs qu'elle a édités depuis l'origine, de l'obligeance avec laquelle elle a bien voulu me mettre à même de consulter cette précieuse collection.

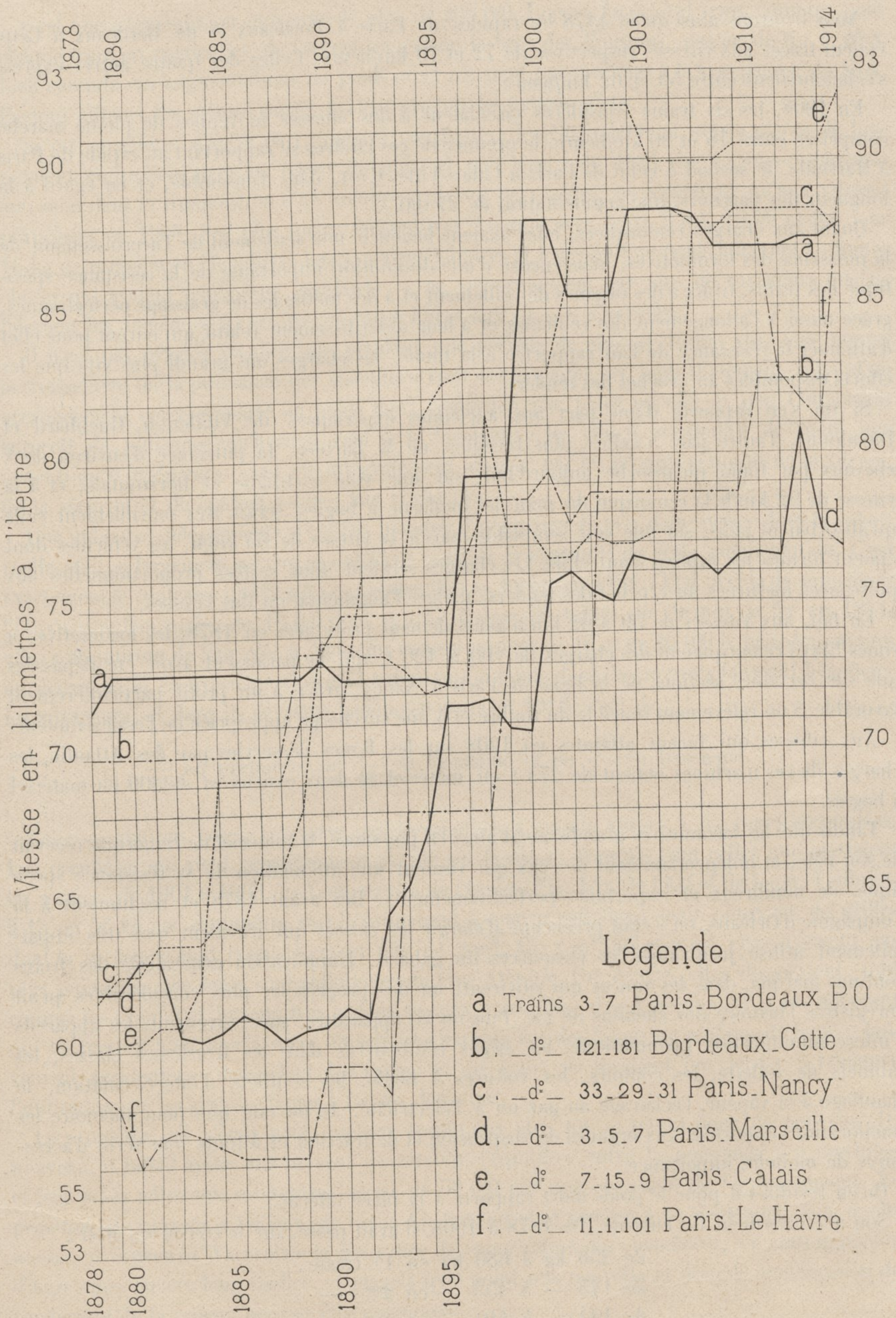


Fig. 12 - Variation de la vitesse moyenne de marche de différents express de 1878 à 1914

Nous trouvons ainsi qu'en 1878 les rapides de Paris à Bordeaux et de Bordeaux à Cette étaient tracés aux vitesses respectives de 72 et 70 km/heure. Celles des quatre autres express s'échelonnaient entre 59 et 62 km/heure.

En 1908, les six trains considérés circulaient à des vitesses moyennes de pleine marche comprises entre 76 et 90 km/heure, le premier de ces chiffres se rapportant au rapide de Paris à Marseille, le second à celui de Paris à Calais-Ville. C'est, dans l'ensemble, et eu égard à la longueur des parcours, une augmentation de 27 0/0.

Quant aux charges remorquées, elles avaient bénéficié non seulement de l'accroissement de la puissance des locomotives, mais encore d'une diminution importante de la résistance spécifique des trains. Grâce à des organes de roulement et à des méthodes de graissage perfectionnés, grâce aussi à l'allongement des véhicules et à leur alourdissement relatif qui eurent pour effet d'atténuer la résistance de l'air rapportée à la tonne, les charges ont grandi plus vite que les efforts disponibles au crochet des tenders.

Si on s'en rapporte d'une part aux anciennes expériences de Vuillemin, Guebhard et Dieudonné, d'autre part à celles, plus récentes, de M. Barbier, la puissance d'environ deux chevaux par tonne qu'absorbe aujourd'hui, sur une voie rectiligne et horizontale, et à la vitesse de 92 km/h la remorque du matériel moderne à bogies, serait très sensiblement celle qu'absorbaient jadis, sur une voie semblable mais à la vitesse de 65 km/h, les véhicules dont étaient formés les express d'autrefois. Les charges seraient donc restées proportionnelles aux puissances mesurées au crochet des tenders, malgré l'augmentation des vitesses.

En fait, aux vitesses de 59 à 62 km/h généralement pratiquées en 1878, les locomotives à roues libres remorquaient des charges de 100 à 120 t, qui ne paraissent avoir été dépassées que sur certaines sections de la ligne de Paris à Nancy, grâce à un profil particulièrement favorable, à un relèvement sensible du timbre et à une surcharge appropriée de l'essieu moteur.

Aux vitesses qui furent atteintes en 1908 sur les lignes desservies par des Atlantic, les charges de ces machines étaient de 275 t en matériel à deux essieux et de 300 en matériel à bogies.

Tandis que les locomotives grandissaient ainsi en puissance, le matériel de remorque recevait de son côté, et indépendamment de ceux qui visaient une atténuation de sa résistance spécifique, de nombreux et importants perfectionnements. Dès avant 1878 et notamment à la Compagnie d'Orléans, on s'était préoccupé d'élargir les caisses qui n'avaient que très imparfaitement utilisé jusqu'alors les ressources du gabarit. L'application généralisée des freins continus marqua, dans les années qui suivirent, un des progrès les plus considérables qu'ait enregistrés l'histoire des chemins de fer. Puis on vit apparaître, successivement, les appareils d'intercommunication pneumatique, les sièges rembourrés dans les troisièmes classes, les cabinets de toilette, les couloirs, les voitures à bogie, les soufflets d'intercirculation, le chauffage à la vapeur, l'éclairage au gaz ou à l'électricité. Je ne cite que pour mémoire les améliorations apportées aux organes de suspension et de traction et à toute une série d'accessoires de moindre importance.

Qu'en résulta-t-il pour le poids mort rapporté à la place offerte ?

Son accroissement fut énorme. De 1878 à 1908, il avait passé, sur le réseau du Midi :

de 256 kg à 680 kg en 1^{re} classe,
de 145 — à 453 — en 2^{me} —
de 123 — à 440 — en 3^{me} —

C'est une augmentation moyenne de plus de 200 0/0. Encore faudrait-il tenir compte, pour chaque train en particulier, de l'accroissement de la tare des fourgons, passée de 6 t à 26 t. Bien entendu ces augmentations de poids mort n'étaient pas spéciales à la Compagnie du Midi. Partout ailleurs les mêmes causes avaient produit les mêmes effets.

Si on considère, d'autre part, que les couchettes, les lits-toilette et autres places de luxe s'étaient multipliées dans les trains de nuit, et qu'à partir de 1884 des wagons-restaurants entraient dans la composition d'un nombre croissant de rapides, on s'explique qu'aux vitesses pratiquées en 1908, nos plus fortes locomotives Atlantic avec leurs 3 m², 10 de grille, leur 16 kg de pression en chaudière, leurs quatre cylindres et leurs 36 t de poids adhérent — toutes choses qui avaient triplé leur puissance — ne remorquassent pas plus de voyageurs que ne faisaient les anciennes locomotives à roues libres aux vitesses d'autrefois.

Il n'est pas exagéré de dire que pendant une période de plus de trente ans, tout nouvel accroissement de la puissance des machines était accompagné ou immédiatement suivi d'un accroissement correspondant du poids mort remorqué par place offerte, et que l'important surcroît de puissance qu'avaient valu à la locomotive les efforts accumulés de toute une génération d'ingénieurs, avait été intégralement absorbé par les progrès continus de la vitesse, de la sécurité et du confort assurés aux voyageurs.

Une industrie indépendante n'eût pas manqué d'augmenter le prix d'un service dont la valeur réelle était si largement accrue et nul n'eût contesté la légitimité de cette augmentation. C'est exactement le contraire que firent nos Compagnies et, lorsqu'en 1892, l'État décida de supprimer l'impôt supplémentaire de 10 0/0 dont il avait frappé les billets de chemin de fer en 1871, elles consentirent de leur côté à diminuer respectivement de 10 et de 20 0/0 le prix des voyages en deuxième et en troisième classes. La diminution totale dont ces mesures faisaient bénéficier les voyageurs, et dont ils devaient bénéficier jusqu'en 1918, était de

$$\frac{1}{11} \text{ en première, de } \frac{2}{11} \text{ en deuxième et de } \frac{3}{11} \text{ en troisième.}$$

Ces constatations faites, revenons aux locomotives à grande vitesse à six roues accouplées. Les premières qui aient régulièrement circulé sur le réseau français sont celles que mettaient en service, de 1901 à 1903, les Compagnies de l'Ouest (Fig. 13), de l'Est et de Lyon. Timbrées à 15 ou 16 kg par centimètre carré, compound à quatre cylindres, mais pourvues de grilles dont la surface n'était respectivement que de 2 m², 45, 2 m², 86 et 3 m² elles n'étaient pas plus puissantes que leurs contemporaines du type Atlantic. Par contre, elles disposaient, tout comme les premières locomotives à deux essieux accouplés, d'une réserve de poids adhérent qui les mettait à même d'assurer un service d'express sur des lignes ou sections de ligne relativement accidentées, mais dont les exigences du trafic ne devaient pas tarder à réclamer l'utilisation sur les grandes lignes à faibles déclivités.

Le problème qui s'était posé quelque trente ans plus tôt se posait donc de nouveau. De nouveau, il fallait aviser aux moyens de rétablir l'équilibre entre la puissance des machines et leur poids adhérent, subitement accru de 50 0/0 par une extension de l'accouplement. En principe, ces moyens n'avaient pas varié. En fait, on était conduit à se demander dans quelle mesure il convenait d'accroître la puissance de vaporisation des chaudières, s'il était opportun d'augmenter encore leur timbre, et jusqu'à quel point une nouvelle et notable amélioration du rendement de la vapeur pouvait être escomptée.

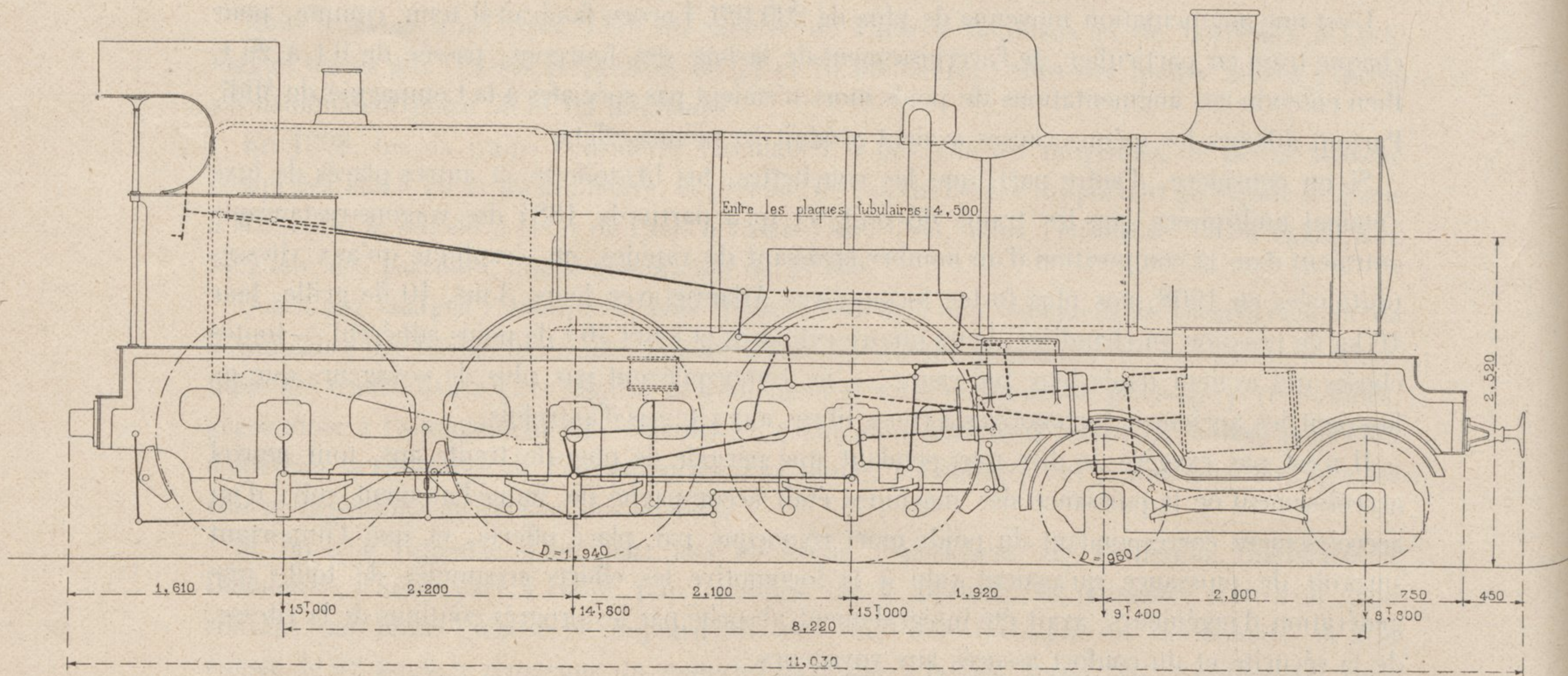


Fig. 13. — Chemins de fer de l'Ouest — Locomotive N° 2701 (1901).

Comme la première fois, c'est d'augmenter la puissance de vaporisation des chaudières qu'on se préoccupa tout d'abord, mais, instruit par l'expérience, on visa surtout l'extension des grilles. Dès 1905, la Compagnie de l'Est portait les siennes de 2 m², 86 à 3 m², 16 (Fig. 14).

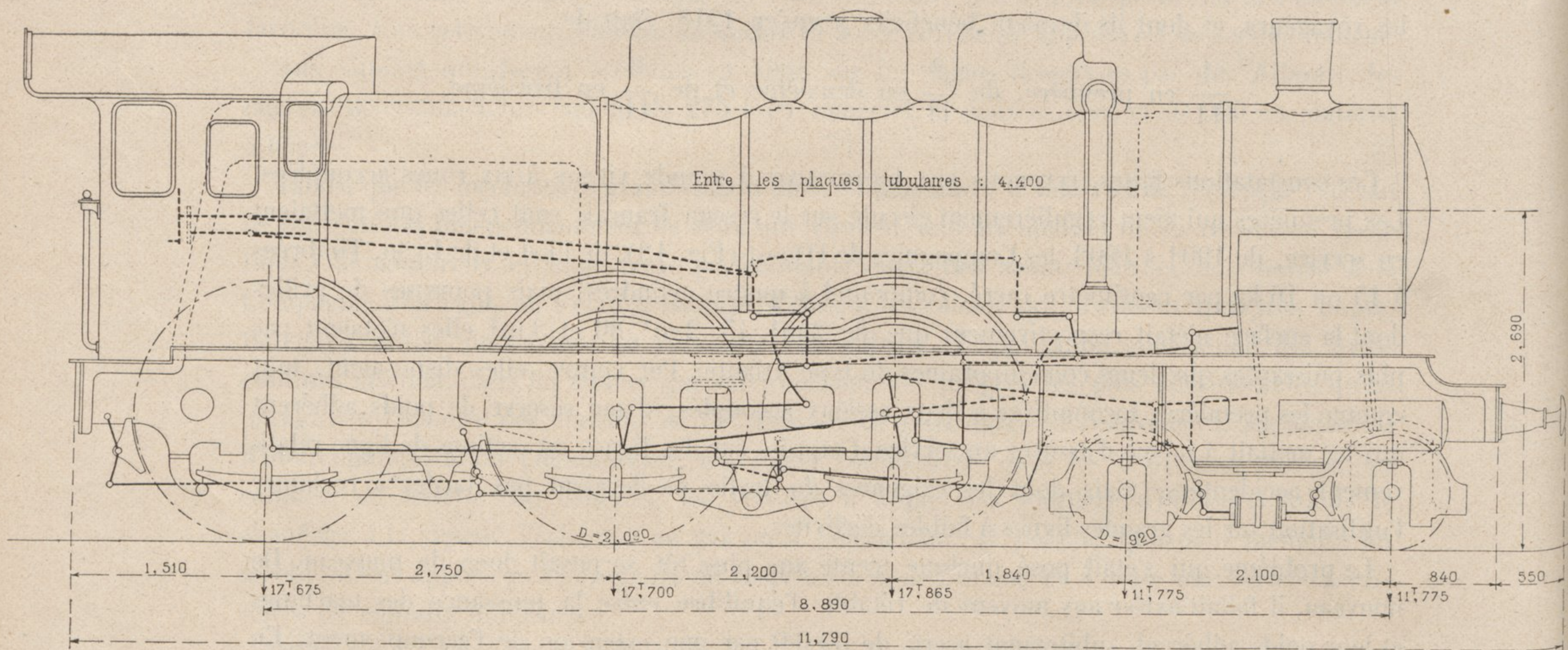


Fig. 14. — Chemins de fer de l'Est — Locomotive N° 3103 (1905)

L'augmentation n'était que de 10 0/0, mais il en résultait une puissance qui suffisait naguère à toutes les exigences du trafic. Bientôt on alla plus loin à l'État, au Midi, au P.-L.-M. et

au P.-O. où on adopta respectivement des grilles de 4 m^2 , 4 m^2 , 25 et 4 m^2 , 27 de superficie. C'était une augmentation d'environ 33 0/0 par rapport aux grilles antérieures. Seulement comme les difficultés croissantes de la conduite du feu ne permettaient plus d'agrandir celles-ci en longueur, on dut les agrandir en largeur, renoncer par suite à la disposition classique des boîtes à feu comprises entre les deux longerons, et adopter le foyer débordant, appliqué jadis, mais pour des motifs différents, à certaines locomotives de l'État Belge. Et comme ce foyer ne pouvait déborder les longerons qu'à l'arrière des roues accouplées, on dut le soutenir au moyen d'un essieu porteur additionnel. Pour parler le langage de nos amis américains, la locomotive à grande vitesse à six roues accouplées passait, du fait de cette addition, de la catégorie des *Ten-Wheel* dans celle des *Pacific*, caractérisée par l'emploi de trois essieux accouplés compris entre un bogie à l'avant et un essieu porteur à l'arrière (Fig. 18 et 19).

La nécessité de loger les essieux accouplés entre le foyer et les cylindres, tout en leur assurant une charge suffisante, conduisit à allonger notablement le faisceau tubulaire et à favoriser ainsi, plus qu'il n'était désirable, le rendement économique de la chaudière, au détriment de sa puissance. On a remédié à cet inconvénient par un choix convenable du diamètre des tubes à fumée et par la suppression des ailettes.

L'emploi des grilles débordantes a conduit d'autre part à surélever l'axe des chaudières, et par suite le centre de gravité du poids suspendu des locomotives, dans une mesure qui accroît leur stabilité, ainsi que l'a démontré M. G. Marié.

Un accroissement du timbre ne fut pas envisagé. Celui de 16 kg. par centimètre carré qu'avait inauguré le Nord en 1900 s'était généralisé sur les Atlantic, et l'expérience qu'en avaient les Compagnies les portait à conclure qu'un accroissement de puissance dû à l'emploi de pressions encore plus élevées ne serait pas en rapport avec le surcroît de fatigue imposé aux chaudières et le surcroît de dépenses que nécessiterait leur entretien.

Par contre, la surchauffe de la vapeur, ce remède par excellence contre le défaut d'adiabaticité des parois des cylindres avait déjà retenu l'attention des services de traction, et les essais entrepris sur différents réseaux permettaient d'entrevoir qu'elle allait jouer, dans le développement de la locomotive à grande vitesse à trois essieux accouplés, le rôle capital qu'avait joué la double expansion dans l'évolution de la locomotive à deux essieux accouplés.

Considérés à un point de vue général, ces deux importants progrès de la machine à vapeur ne se succédèrent pas l'un à l'autre aussi nettement qu'ils le firent sur la locomotive. Dès 1850, avant même que Hirn n'en eût défini et précisé le mode d'action, la surchauffe avait été appliquée avec plus ou moins de succès à un petit nombre de machines fixes, françaises ou belges. Favorablement accueillie quelque dix ans plus tard, donc après les premiers travaux de Hirn, par différents constructeurs, elle fut complètement abandonnée à partir de 1870, époque à laquelle elle dut céder la place au dispositif compound à points-morts discordants qui commençait à se répandre. Ce n'est que vers 1890, grâce aux efforts persévérants de notre éminent Collègue M. Emile Schwoerer, autrefois secrétaire de Hirn, aujourd'hui correspondant de l'Institut, qu'elle fut définitivement reprise. Encore la haute surchauffe, telle qu'elle est appliquée aux locomotives, ne semble-t-elle pas remonter au delà de 1893.

Ces vicissitudes s'expliquent.

Aussi avantageuse, au point de vue thermique, que les surchauffes modérées d'avant 1870, la double expansion se recommandait, en outre, par toute une série d'avantages accessoires : moindre fatigue des organes moteurs, moindre pression sur le dos des tiroirs, moindres pertes

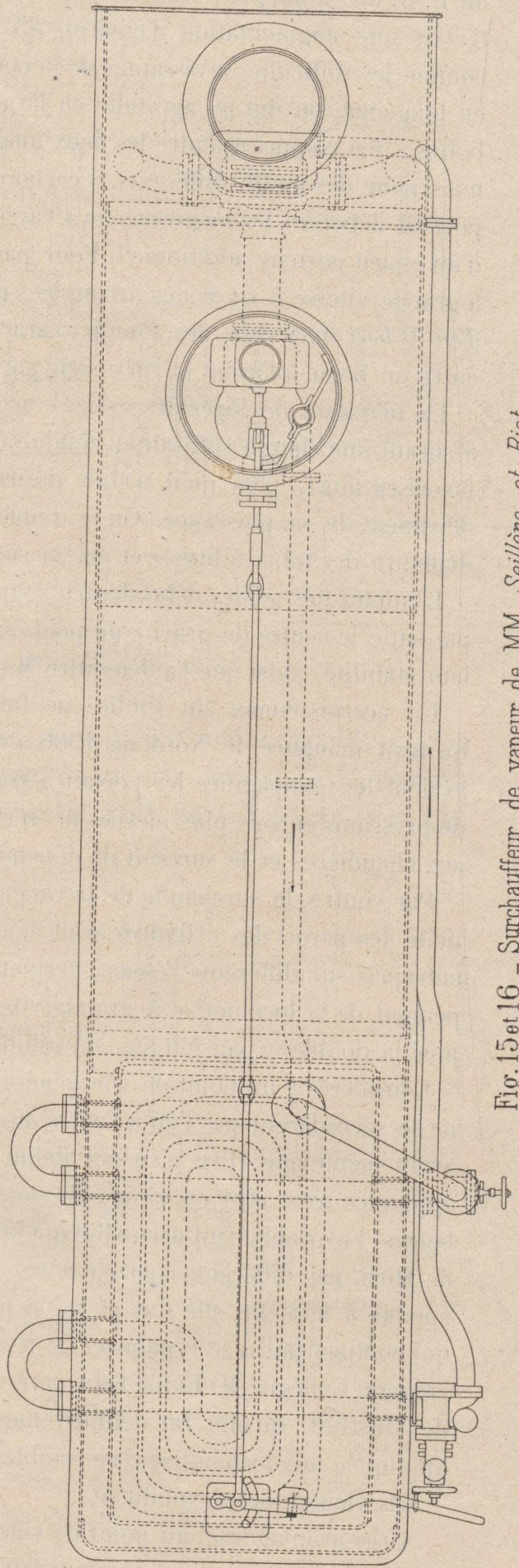
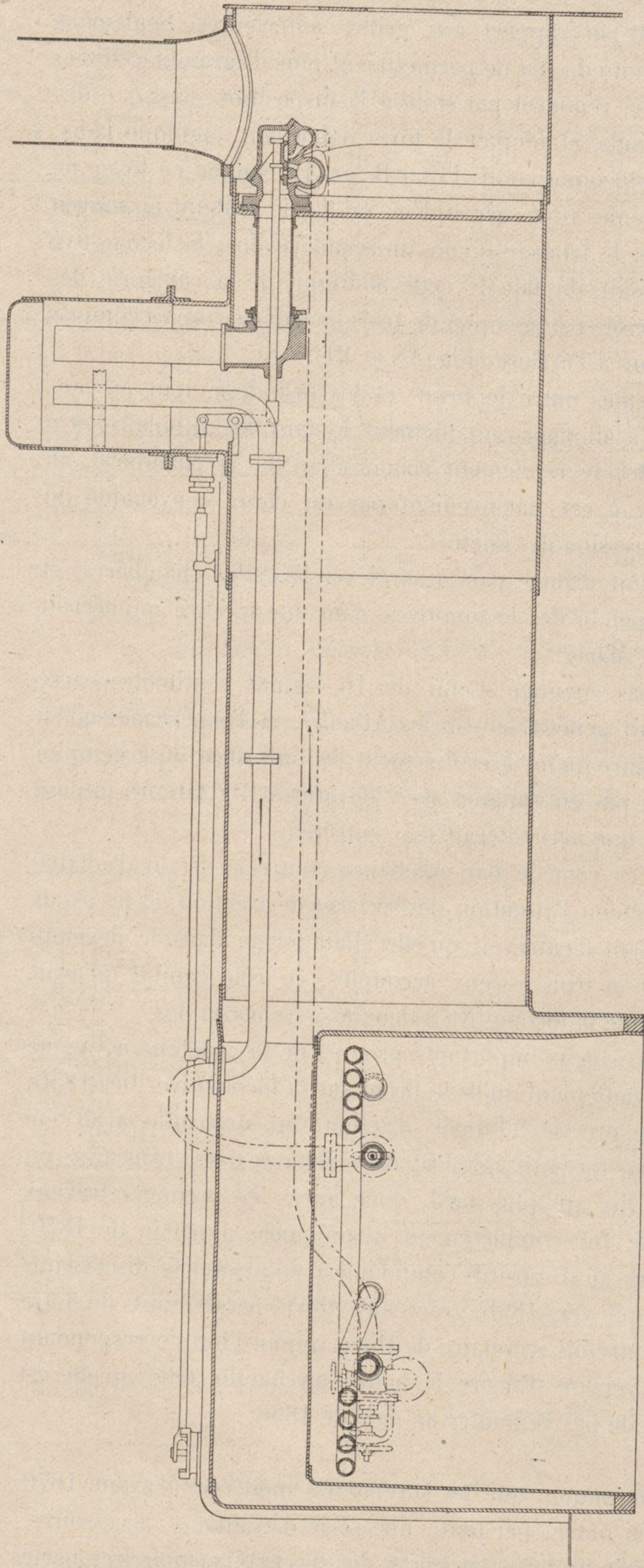


Fig. 15 et 16 - Surchauffeur de vapeur de MM. Seillère et Riot

de travail occasionnées par le défaut d'étanchéité des organes moteurs et distributeurs, meilleure utilisation des espaces morts, moment moteur plus constant.

Rien de semblable avec la vapeur surchauffée dont le succès était intimement lié à celui des dispositions prises en vue d'assurer, d'une part, l'étanchéité des divers appareils ou organes, d'autre part la lubrification des surfaces frottantes baignées par la vapeur : problèmes délicats dont la difficulté croissait avec la température et la pression de la vapeur admise, et qui ne furent résolus que progressivement.

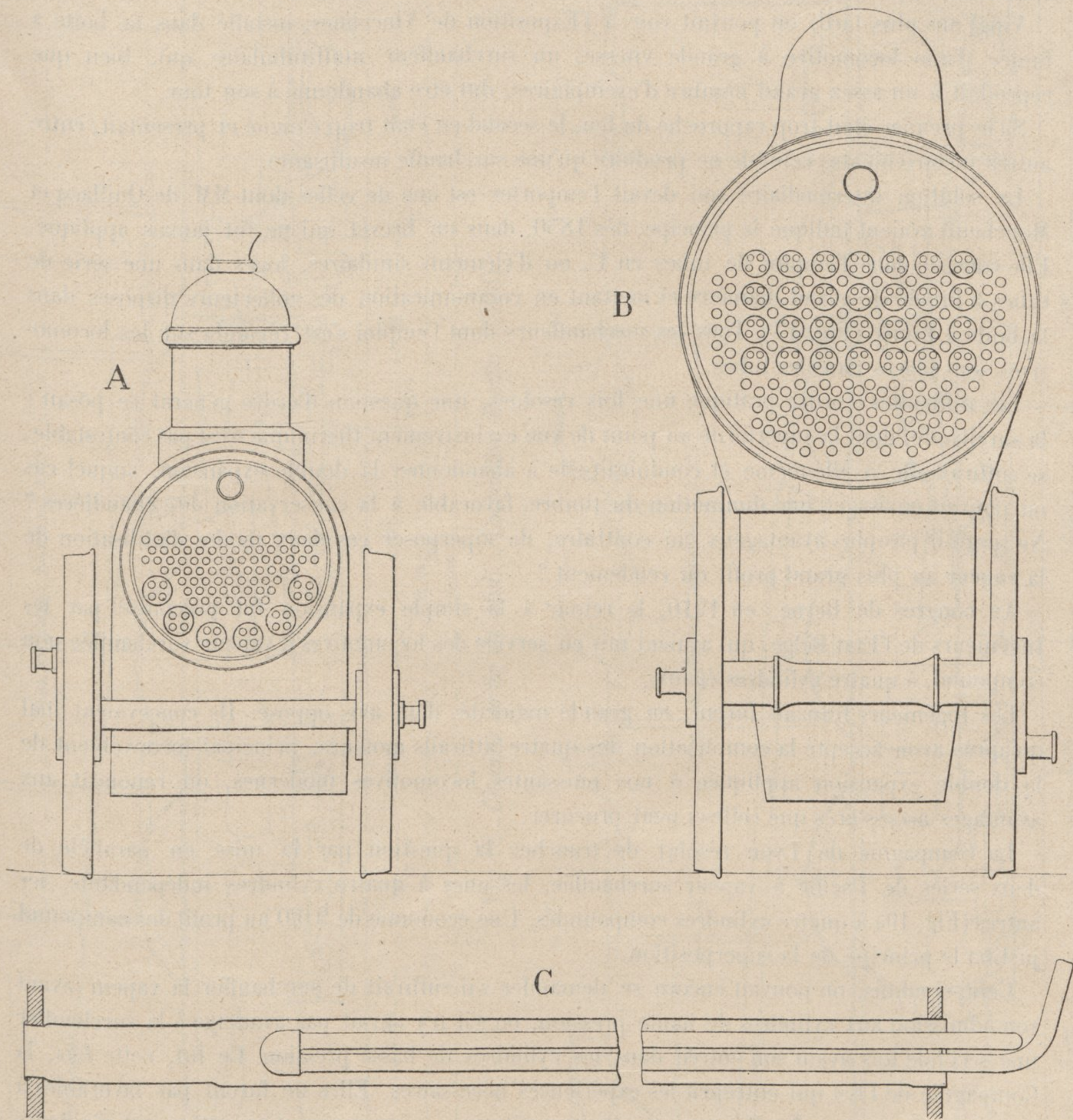


Fig. 17 - Surchauffeurs pour Locomotives

A - Disposition brevetée par MM. de Quillacq et Moncheuil.

B - Disposition adoptée pour la *Locomotive Pacific à simple expansion des Chemins de fer du Midi*.

C - Élément surchauffeur de *Locomotive Pacific à simple expansion des Chemins de fer du Midi*.

Sur les locomotives, où l'espace est mesuré, la forme et l'emplacement à donner au surchauffeur étaient une difficulté de plus. Celui que MM. Seillière et Riot avaient mis à l'essai, en 1879, sur la locomotive à six roues accouplées n° 1 des usines du Creusot — vraisemblablement la première qui ait été à même de consommer de la vapeur fortement surchauffée — se composait d'un tuyau spiraloïde placé dans le foyer même, à faible distance du ciel (Fig. 15 et 16). Une déformation éprouvée par cet appareil et des difficultés de graissage le firent abandonner après quelques mois d'essai,

Vingt ans plus tard, on pouvait voir à l'Exposition de Vincennes, installé dans la boîte à fumée d'une locomotive à grande vitesse, un surchauffeur multitubulaire qui, bien que reproduit à un assez grand nombre d'exemplaires, dut être abandonné à son tour.

Si le premier était trop rapproché du feu, le second en était trop éloigné et présentait, entre autres inconvénients, celui de ne produire qu'une surchauffe insuffisante.

La solution intermédiaire qui devait l'emporter est une de celles dont MM. de Quillacq et Moncheuil avaient indiqué le principe, dès 1850, dans un brevet qui ne fut jamais appliqué. Elle consiste dans l'emploi de tubes en U, ou d'éléments similaires, logés dans une série de tubes à fumée de grand diamètre et mettant en communication des collecteurs disposés dans la boîte à fumée (Fig. 17). Tous les surchauffeurs dont l'emploi s'est répandu sur les locomotives sont placés dans les tubes.

Les difficultés d'ordre pratique une fois résolues, une question d'ordre général se posait : la surchauffe, dont la supériorité au point de vue exclusivement thermique n'est pas contestable, se suffirait-elle à elle-même et conduirait-elle à abandonner la double expansion, auquel cas on pouvait envisager une diminution du timbre, favorable à la conservation des chaudières ? Ne serait-il pas plus avantageux, au contraire, de superposer ces deux modes d'utilisation de la vapeur au plus grand profit du rendement ?

Au congrès de Berne, en 1910, le retour à la simple expansion fut préconisé par les Ingénieurs de l'État Belge, qui avaient mis en service des locomotives à vapeur surchauffée non compound, à quatre cylindres égaux.

Les Ingénieurs français furent, en grande majorité, d'un avis opposé. Ils concevaient mal qu'après avoir accepté la complication des quatre attirails moteurs, principal inconvénient de la double expansion appliquée à nos puissantes locomotives modernes, on renoncât aux avantages accessoires que celle-ci peut procurer.

La Compagnie de Lyon résolut de trancher la question par la mise en parallèle de deux séries de Pacific à vapeur surchauffée, les unes à quatre cylindres indépendants, les autres (Fig. 19) à quatre cylindres compoundés. Une économie de 9 0/0 au profit des compound justifia le principe de la superposition.

Celui-ci admis, on pouvait encore se demander s'il suffirait de surchauffer la vapeur avant son admission aux cylindres de haute pression, ou s'il n'y aurait pas avantage à la surchauffer une seconde fois avant son entrée dans les cylindres de basse pression. Ce fut, cette fois, la Compagnie de l'Est qui entreprit les expériences nécessaires. Elles ne furent pas favorables à la surchauffe en cascade. Des mesures thermométriques soigneusement exécutées ont d'ailleurs révélé que, dans les conditions ordinaires de la pratique, une vapeur portée au sortir de la chaudière à une température supérieure ou égale à 340° présente encore une surchauffe appréciable quand elle s'échappe des cylindres de basse pression.

Est-ce à dire que la disposition générale de nos plus récentes Pacific, toutes à double

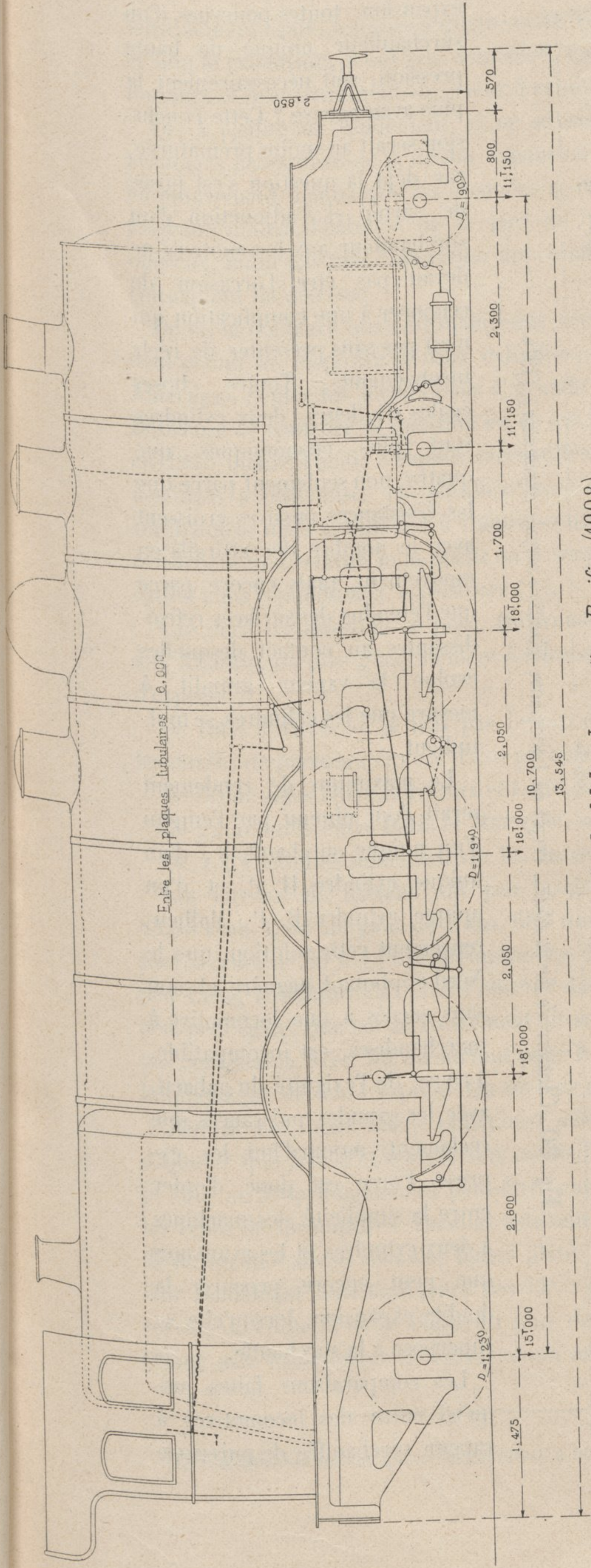


Fig. 18 - Chemins de fer du Midi - Locomotive Pacific (1908).

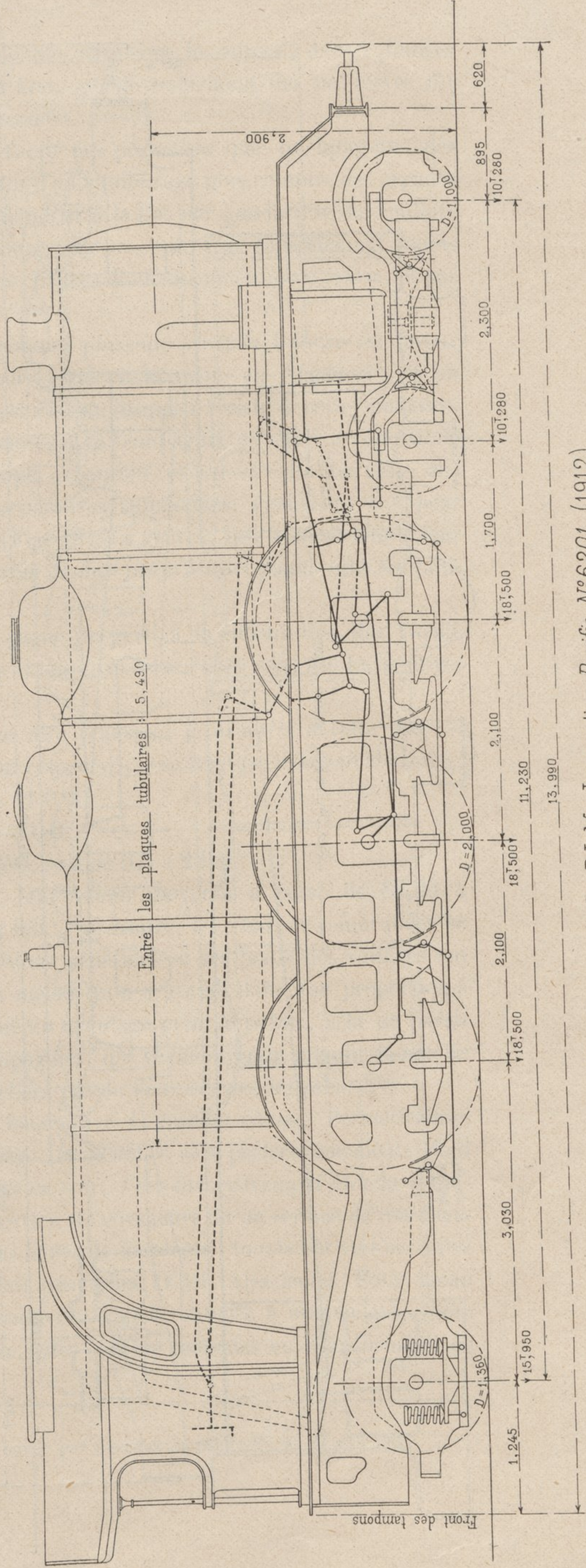


Fig. 19 - Chemins de fer P.L.M. - Locomotive Pacific N°6201 (1912)

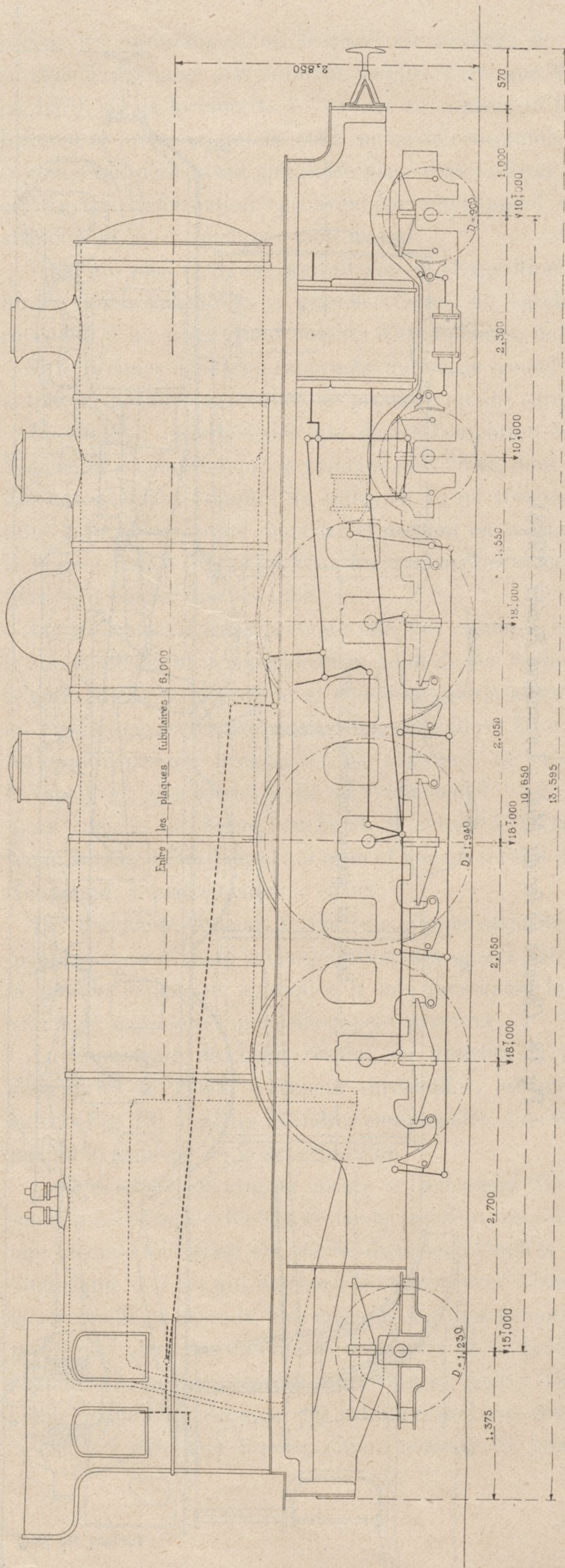


Fig. 20 - Chemins de fer du Midi - Projet de Locomotive Pacific (simple expansion) (1914).

expansion, toutes pourvues d'un surchauffeur unique de haute pression, soit nécessairement la plus avantageuse ? Cette conclusion serait au moins prématurée, car déjà la question s'est posée de savoir si l'adjonction d'un surchauffeur aux locomotives ne devait pas être l'occasion de renoncer à une complication qui n'est pas sans présenter de réels inconvénients. Toutes choses égales d'ailleurs, deux cylindres sont plus économiques que quatre, non seulement parce que les résistances passives croissent avec le nombre des attirails en mouvement, mais encore parce que l'étendue des surfaces refroidissantes au contact desquelles évolue la vapeur grandit à mesure que les cylindres se multiplient.

Le maximum de rendement serait donc obtenu par l'emploi d'un unique surchauffeur, d'un unique cylindre H. P. et d'un unique cylindre B. P. Malheureusement cette solution, que le Nord appliquait naguère et non sans succès à une locomotive à marchandises, est incompatible, à cause de l'exiguïté du gabarit, avec les grandes puissances que réclament aujourd'hui les express. Force est donc d'opter entre la simplicité des machines à deux cylindres et les avantages que peut encore procurer la double expansion, lorsqu'elle se superpose à la surchauffe.

Les comparaisons faites jusqu'ici entre des locomotives à vapeur surchauffée de puissance

sensiblement égale, les unes à quatre cylindres et double expansion, les autres à deux cylindres et simple expansion, n'ont pas démontré, tant s'en faut, que le rendement des premières fût toujours et nécessairement supérieur à celui des secondes.

Or, à égalité de rendement, il ne subsiste à l'actif des premières que quelques-uns des avantages accessoires de la double expansion et celui d'un équilibrage plus complet des organes en mouvement, tandis que les secondes se recommandent à la fois par une facilité de conduite exigeant moins d'habileté de la part du personnel, par un entretien sensiblement moins onéreux, enfin par une diminution appréciable des chances de dérangement ou d'avarie, et par conséquent de détresse.

De là, la tendance qui s'est manifestée récemment sur plusieurs réseaux français en faveur d'un retour au dispositif à deux cylindres, toujours resté en honneur en Angleterre et en Amérique. Seules les locomotives à grande vitesse avaient jusqu'ici résisté à cette tendance. Désireuse de trancher la question en ce qui les concerne, la Compagnie du Midi a commandé en 1913 quatre Pacific à vapeur surchauffée à simple expansion, et à deux cylindres (Fig. 20) destinées à être mises en parallèle avec des locomotives semblables, également à vapeur surchauffée, mais compound à quatre cylindres (Fig. 18). La guerre, qui a interrompu leur construction, a retardé le moment où il sera possible de dire jusqu'à quel point cette simplification aura répondu aux espérances (1).

Une dernière question se pose. Qu'avons-nous gagné jusqu'ici à la substitution des Pacific aux Atlantic, ou plus généralement à l'accouplement d'un troisième essieu sous nos locomotives d'express ?

De 1908 à 1914 — je n'ai pas besoin de vous dire pourquoi je m'arrête à cette date — les durées de parcours des six trains précédemment considérés se sont respectivement abaissées :

De 50 minutes entre Bordeaux et Cette, soit de 11 0/0.

De 22 minutes entre Paris et Marseille, soit de 3 0/0.

De 1 à 4 minutes seulement sur les autres trajets, soit de 0,5 à 2 0/0.

Les vitesses de marche ont peu progressé : leur valeur moyenne a passé de 82,20 à 83,88 kmh. C'est un gain de 1 km, 68, soit de 2 0/0. Par contre, les charges remorquées se sont accrues de 30 à 44 0/0 et comme les dispositions générales et les poids des voitures ont peu varié, le nombre des places offertes dans un même train a grandi dans une proportion à peu près égale. Que cet accroissement ait constitué un avantage pour le public, cela ne paraît pas contestable. C'en fut un surtout pour les Compagnies, qui voyaient enfin grandir la recette kilométrique de leurs express. On ne leur reprochera pas de s'être servies les premières.

J'en ai fini, mes chers Collègues, avec la locomotive à grande vitesse. Permettez-moi d'ajouter que loin d'être resté son exclusif apanage, le bénéfice des perfectionnements dont je vous ai, trop longuement peut-être, entretenus ce soir, s'est successivement étendu à tous les types de locomotives. Qu'elles assurent un service de voyageurs ou un service de marchandises, qu'elles desservent des lignes plates ou des lignes de montagne, toutes ont vu s'accroître leur rendement sous l'influence des idées qu'a fait triompher l'École Alsacienne. Pour aucun service de route il ne se construit plus de locomotive à vapeur saturée à simple expansion. Quant aux locomotives de construction ancienne, elles sont ou amorties ou transformées, en

(1) L'acquisition de ces quatre locomotives a été approuvée par décision ministérielle du 27 mai 1914.

sorte qu'on peut entrevoir le moment où, sur les chemins de fer du monde entier, il ne circulera plus une seule locomotive à vapeur qui, par l'une au moins de ses dispositions essentielles, ne reflète la pensée du Maître qui fut membre d'honneur de notre Société, de l'illustre Hirn, une des plus pures gloires de l'Alsace.

J'ai le souvenir qu'à peine adolescent, accompagnant dans ses déplacements le premier et le plus cher de mes Maîtres, j'eus la bonne fortune de pénétrer dans le cabinet de travail de Gustave-Adolphe Hirn, de visiter sous sa conduite le grand établissement de la maison Haussmann, Jordan, Hirn et C^{ie} du Logelbach, près de Colmar, de parcourir avec lui les vastes salles aux immenses bancs à broches, d'entendre enfin ses savantes explications dans la salle des moteurs, devant la grande machine à balancier que M. Mallet appelait si justement naguère la machine historique, et qui avait été dès lors et allait être encore l'objet de si mémorables expériences. Il me souvient surtout de la profonde déférence que lui témoignait mon guide. Plus tard — beaucoup plus tard — quand les circonstances et le devoir professionnel m'obligèrent à prendre connaissance d'un des chapitres de l'œuvre de Hirn, et notamment de sa remarquable *Exposition analytique et expérimentale de la Théorie mécanique de la Chaleur*, plus tard, dis-je, je m'expliquai cette déférence, et, aujourd'hui, à plus d'un demi-siècle de distance, je m'incline respectueusement devant la mémoire du regretté savant.

MES CHERS COLLÈGUES,

Par la situation géographique de son réseau relativement pauvre en houille noire, mais où la houille blanche abonde, la Compagnie du Midi était appelée, une des premières, à recourir à la traction électrique. La première application en fut faite au chemin de fer de Villefranche à Bourg-Madame, qui est un chemin de fer de montagne ; mais celui-ci n'était pas ouvert à l'exploitation, que déjà était envisagée l'électrification d'importants tronçons de ligne de la région sous-pyrénéenne.

Le problème que j'appelais naguère le problème de Montréjeau, présent à l'esprit de tous les Ingénieurs de traction et résolu pour le moment par la vapeur, avait tenté les Électriciens et c'est à sa solution par l'électricité que la Compagnie du Midi se proposait d'apporter son concours.

Or, si les Mécaniciens ont à leur disposition un fluide élastique qui permet de faire varier à volonté, et dans des conditions de rendement généralement satisfaisantes, l'effort de traction et la vitesse, les Électriciens ne peuvent obtenir des résultats vraiment comparables qu'en faisant varier la tension du courant qu'ils emploient.

Distribuée sous tension constante, l'électricité ne permet, en effet, de réaliser le plus souvent qu'une vitesse sensiblement constante pour un effort de traction constant, et cela est vrai pour le courant continu comme pour le courant alternatif, pour les moteurs à collecteurs comme pour les moteurs à induction. Pour faire varier la vitesse et l'effort, il est donc indispensable de faire varier la tension.

C'est là une des considérations principales qui guident les Ingénieurs dans le choix qu'ils ont à faire entre les divers modes de distribution du courant.

Dans le cas du courant continu, on n'a à sa disposition comme moyen simple de faire

varier la tension que la loi de résistances ou les couplages dits série-parallèles. Mais on n'obtient ainsi que deux ou au plus trois vitesses vraiment économiques. Les mises en vitesse s'effectuent avec des pertes d'énergie énormes. Admissible pour des tramways de faible puissance, ou des lignes d'un faible développement, métropolitaines ou de banlieue, ce système ne paraît pas se recommander pour l'exploitation d'un réseau d'intérêt général.

Dans le cas du courant alternatif et, en particulier, du monophasé, une simple transformation statique permet de faire varier à volonté la tension et, par suite, d'obtenir des moteurs de traction toute la gamme des vitesses et des efforts nécessaires. C'est là, comme l'a fait remarquer maintes fois dans ses travaux notre savant Collègue M. Mazen, une supériorité marquée du courant alternatif, de nature à donner toute satisfaction à l'Ingénieur.

Mais cette solution, théoriquement très simple, se heurtait en pratique à des difficultés dont témoigne la diversité des systèmes proposés soit pour amener le courant aux locomoteurs, soit pour passer d'une tension fixe à une tension variable, soit pour réaliser une commutation satisfaisante dans les moteurs, soit pour transmettre aux essieux le mouvement de rotation des induits, soit, enfin, pour protéger les lignes à faible tension contre l'action perturbatrice des lignes de travail.

Ces difficultés n'étaient pas faites pour effrayer les Électriciens. Ils les ont successivement résolues de façon fort satisfaisante et les résultats qu'ils obtiennent aujourd'hui — un Mécanicien aurait mauvaise grâce à ne pas le reconnaître — sont des plus encourageants. Sortis peu à peu de la période des tâtonnements, ils ne tarderont pas à occuper, dans notre monde des chemins de fer, la place que leur auront valu leur ingéniosité persévérante et leur foi raisonnée dans le succès.

Est-ce à dire que dans les régions qui disposent de réserves hydrauliques suffisamment abondantes, l'électrification de tout ou partie des réseaux existants s'imposera dans un prochain avenir ?

La réponse à cette question ne saurait être unique et globale. Elle dépendra, dans chaque cas particulier, du but ou des buts qu'on se sera proposé d'atteindre. Elle serait cependant très généralement négative, si l'on n'avait en vue qu'un abaissement du prix de revient des transports.

Il convient, en effet, de ne pas perdre de vue que si la traction électrique occasionne des dépenses d'exploitation directes sensiblement moindres que la traction à vapeur, elle oblige, par contre, à des dépenses de premier établissement beaucoup plus élevées. L'aménagement des chutes d'eau, la construction et l'équipement des usines hydro-électriques, l'établissement des lignes de transport de force, l'installation des postes de transformation, l'armement électrique des voies de circulation, de manœuvres et de garage, la protection à assurer aux lignes de faible courant, télégraphiques ou téléphoniques, enfin le remplacement des locomotives à vapeur par des locomotives électriques, beaucoup plus coûteuses, immobilisent un important capital dont les charges pèsent lourdement sur les prix de revient tant qu'un trafic intense, nécessitant une circulation très active, n'a pas suffisamment affaibli leur influence. Or, les prévisions les plus optimistes ne permettent pas d'espérer que cette condition essentielle sera prochainement remplie sur une étendue notable de notre réseau national.

Mais si elle est généralement plus coûteuse que la traction à vapeur, la traction électrique offre une série d'avantages dont l'importance est à considérer, bien que difficile à chiffrer. Telles sont l'observation plus facile des itinéraires et la régularité généralement plus grande

de la marche des convois, la possibilité de multiplier les essieux moteurs sous une même machine sans accroître les difficultés de la circulation en courbe, la possibilité d'employer la traction multiple sans compromettre la solidité des attelages, et d'accroître ainsi la capacité de transport de certaines lignes particulièrement chargées, la formation plus rapide et, par suite, le recrutement plus facile du personnel de conduite, enfin la suppression de ces gaz délétères et malpropres qu'on appelle la fumée, et dont vous connaissez tous les méfaits. La solution dépendra, dans chaque espèce, du prix que l'on croira pouvoir payer ces avantages.

Dans nombre de cas, cependant, ceux-ci s'effaceront devant les exigences de la Défense Nationale, difficilement compatibles avec la centralisation des appareils qui produisent l'énergie nécessaire, et avec la vulnérabilité de ceux qui la transportent. Avec des réseaux de l'Est et du Nord électrifiés, notre vaillante armée n'eût pu vaincre ni sur la Marne, ni sur l'Yser, et quelle ne serait pas, dans les offensives, la supériorité d'un belligérant qui aurait su conserver l'indépendance de ses locomoteurs, sur un adversaire qui aurait dédaigné cette précaution ? Aussi, la question posée appellerait-elle une réponse plus souvent affirmative, si la guerre atroce qui vient d'ensanglanter le monde pouvait être la dernière, et si la locomotive électrique, aussi admirable instrument de paix que médiocre outil de guerre, pouvait nous apporter un impérissable et définitif rameau d'olivier.

Mais quoi que l'avenir nous réserve, la substitution de la houille blanche à la houille noire, sur de grandes lignes d'intérêt général, marquera à son tour une date importante dans l'histoire des transformations de la locomotive. Nos successeurs y verront la fin des temps modernes et le commencement de la période contemporaine.
