

L'ÉVOLUTION DE LA LOCOMOTIVE : DE LA MACHINE A PISTONS A LA TURBINE A GAZ

par Ch. TOURNEUR

Jusqu'au début du vingtième siècle, la locomotive à vapeur a été seule utilisée pour la traction des trains sur les voies ferrées. Vers 1900, elle a vu naître une rivale dans la locomotive électrique, dont les applications se sont surtout développées après la guerre de 1914. Puis, plus récemment, les progrès importants réalisés par le moteur Diesel ont permis d'utiliser ce dernier pour la traction ferroviaire, non seulement pour actionner des engins relativement légers, comme les autorails, mais aussi pour équiper de véritables locomotives. Enfin, la turbine à gaz vient de faire son apparition sur une locomotive d'essai, actuellement expérimentée en Suisse. Perfectionnée durant plus d'un siècle, la locomotive à vapeur classique se trouve ainsi en compétition avec des moteurs nouveaux, nés hors du chemin de fer : Diesel et turbines à vapeur ou à gaz; ceux-ci, en s'adaptant aux exigences très spéciales de la traction ferroviaire, acquièrent progressivement la simplicité et la sécurité de fonctionnement qu'exige l'exploitation d'un service public qui ne peut souffrir aucune défaillance. L'adoption de tel ou tel mode de traction peut être dictée par les ressources même du pays, mais l'examen des qualités propres à chaque type de machine n'en demeure pas moins la base indispensable au choix des techniciens des chemins de fer.

POUR comparer objectivement les divers engins moteurs utilisés sur les voies ferrées, il importe de ne pas se limiter à l'examen des qualités intrinsèques des machines, concrétisées, le plus souvent, par les performances réalisables et par les rendements. La question est, en effet, beaucoup plus vaste, et elle déborde même le cadre d'un simple problème industriel, où la confrontation des prix de revient permet presque toujours d'aboutir à des conclusions sûres.

Le chemin de fer, service public au premier chef, doit être à même de fonctionner régulièrement dans les circonstances les plus diverses, et cette considération exerce souvent une influence déterminante sur le choix des sources d'énergie auxquelles le matériel moteur doit faire appel, donc sur les types de machines à utiliser. C'est ainsi, par exemple, que des pays riches en houille blanche et dépourvus de combustibles, n'ont pas hésité à développer l'électrification de leurs voies ferrées, malgré les lourdes charges qui ont pu en résulter pour leurs finances.

Au surplus, l'énergie consommée par les chemins de fer entre pour une part non négligeable dans la consommation totale d'une nation, de sorte que l'économie générale de celle-ci peut être influencée par le choix des sources d'énergie utilisées par son réseau ferré. En particulier, dans un pays dont la balance énergétique est déficitaire, et qui est ainsi contraint d'importer des combustibles, le choix du matériel moteur de ses chemins de fer peut se trouver dicté par le souci d'utiliser un combustible réduisant au maximum la valeur des importations.

Dans notre comparaison, nous ferons abstraction de ces facteurs économiques généraux, et nous admettrons, en particulier, que le choix

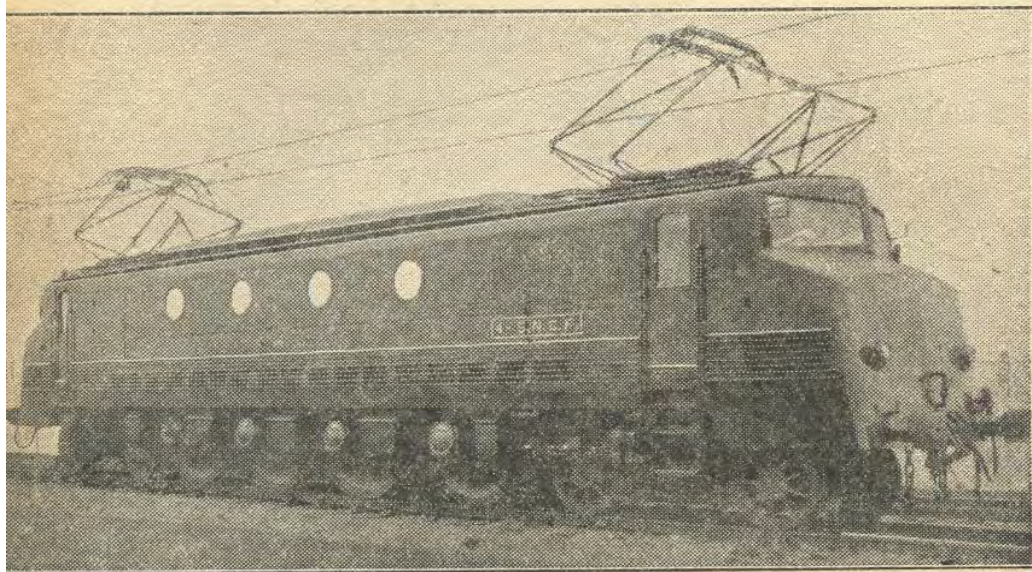
de la source d'énergie ne résulte pas de considérations autarciques.

La locomotive électrique

Rompant avec la tradition, qui nous inciterait à commencer par la locomotive à vapeur, la plus ancienne et encore la plus utilisée, nous examinerons d'abord la locomotive électrique, parce que c'est l'engin moteur qui offre actuellement les possibilités techniques les plus étendues et parce que son évolution, qui a été relativement rapide, n'est pas sans réagir sur certaines tendances de la construction des autres locomotives. Il faut reconnaître, d'ailleurs, que la locomotive électrique n'a pas grand mérite à présenter, sur le plan technique, une supériorité par rapport à ses rivales, car elle la tient essentiellement du fait que l'énergie électrique est beaucoup plus facilement transformable en énergie mécanique que l'énergie calorifique tirée, dans les autres systèmes de locomotives, des combustibles solides et liquides.

Grande souplesse de fonctionnement

Les moteurs électriques utilisés sur les machines possèdent à un haut degré la faculté de s'adapter d'eux-mêmes, sans intervention extérieure, aux variations continues des efforts demandés à la locomotive, variations qui sont une des caractéristiques les plus saillantes du travail que doit fournir le matériel de traction sur les voies ferrées, et, d'une manière générale, tous les engins de transports terrestres : lorsque la vitesse tend à diminuer au franchissement d'une rampe, par exemple, l'effort de traction de la machine électrique s'accroît automatiquement. Au surplus, l'effort fourni par le moteur électri-



T W 40020

FIG. 1. — SUR LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE MODERNE (1941) DE LA S.N.C.F. LA COMMANDE INDIVIDUELLE DES ESSIEUX REMPLACE L'ACCOUPLEMENT PAR BIELLES

Les essieux moteurs sont chargés à 20 t. Cette locomotive, capable de remorquer un train de 750 t en palier à 130 km/h, développe 3 650 ch à la jante à 80 km/h en régime continu. Poids : 130 t; puissance massique continue à la jante : 28 ch/t.

que n'est pratiquement limité, l'adhérence des roues sur les rails étant supposée suffisante, que par l'échauffement maximum des bobinages compatible avec leur bonne tenue; le moteur électrique est donc à même, s'il n'a pas déjà atteint sa température limite, de fournir des surcharges momentanées très importantes. C'est ainsi, par exemple, qu'une locomotive électrique, capable de développer indéfiniment une puissance de 3 000 chevaux, peut, lors d'un démarrage consécutif à un stationnement de quelque durée, en fournir près de 5 000 pendant quelques minutes.

par des engrenages faciles à équilibrer, de sorte que les châssis des machines, soumis à des efforts moindres, peuvent être allégés.

Des progrès importants ont été réalisés, d'autre part, dans la construction des moteurs, progrès qui ont permis d'atteindre de grandes vitesses de rotation, donc de mieux utiliser la matière, et d'admettre des températures de régime plus hautes, par l'emploi d'isolants spéciaux, généralement à base de mica et d'amiante.

La puissance massique à la jante (1) des

(1) La puissance utilisable d'une locomotive est celle qu'on mesure au crochet de traction, alors que

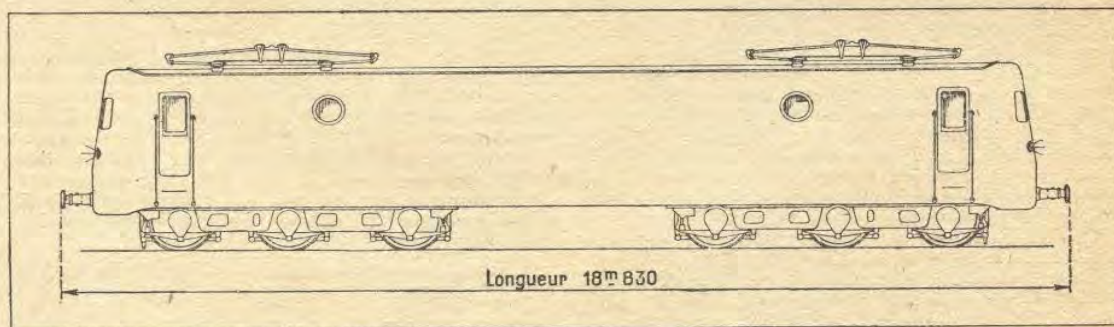


FIG. 2. — PROJET DE LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE TYPE C-C (1) A ADHÉRENCE TOTALE ET A GRANDE VITESSE (ALSTHOM)

Les six essieux sont moteurs et chargés à 15 t seulement. Puissance continue à la jante : 3 000 ch. La puissance massique continue à la jante — 36,5 ch/t — est très élevée, car l'adhérence totale correspond à l'utilisation optimum de la matière.

(1) La classification des locomotives à vapeur est fondée sur leur nombre d'essieux moteurs. Ainsi, le type 231 comporte un bogie porteur avant, trois essieux moteurs et un essieu porteur arrière (bissel). Pour les locomotives électriques, le nombre d'essieux moteurs est indiqué par le rang, dans l'alphabet, de la lettre qui caractérise le type de machine. Exemple : une locomotive CC possède deux fois trois essieux moteurs et pas d'essieu porteur.

Puissance élevée

Une locomotive doit disposer d'une adhérence suffisante pour ne pas patiner, de sorte que son poids ne peut pas descendre au-dessous d'un certain minimum, mais, sous cette réserve, il y a évidemment intérêt à réaliser une puissance par tonne aussi élevée que possible. A cet égard, les locomotives électriques se placent au premier rang. Leur technique s'inspirait, à l'origine, de celle des machines à vapeur : un ou deux gros moteurs, tournant assez lentement, étaient accouplés aux essieux par des bielles; sur les unités modernes, on utilise des moteurs plus nombreux, attaquant individuellement les essieux

locomotives électriques modernes (fig. 1) atteint ainsi près de 30 chevaux par tonne. Elle paraît devoir s'accroître encore dans un délai prochain. En particulier, une évolution de la structure de la locomotive électrique à grande vitesse se dessine dans le sens d'une réduction de la charge des essieux, à l'inverse de ce qui se passe pour la locomotive à vapeur.

Lorsque, en effet, une locomotive dont les essieux moteurs sont normalement chargés — 20 tonnes, par exemple, pour les machines européennes — doit circuler à grande vitesse, il est nécessaire de placer devant ses essieux moteurs des essieux porteurs moins lourdement chargés et capables de certains mouvements relatifs par rapport au châssis, de façon à assurer un guidage correct de la locomotive dans la

voie et à réduire les efforts supportés par celle-ci. Or, du fait de l'allègement des équipements électriques, on est actuellement conduit, pour conserver une charge suffisante sur les divers essieux, à alourdir sans autre nécessité les pièces mécaniques des machines, ce qui est évidemment fâcheux, puisqu'on augmente ainsi le poids mort de la locomotive. On cherche donc maintenant à multiplier le nombre des essieux moteurs, dont la charge unitaire peut ainsi être réduite, et les moteurs, entièrement suspendus, moins puissants et moins lourds puisque plus nombreux, peuvent alors être placés sur des essieux jouant un rôle dans le guidage de la locomotive, tels que les essieux des bogies, par exemple. On tend ainsi, même pour les locomotives à grande vitesse, à supprimer les essieux porteurs (fig. 2) et à réaliser, comme dans le cas des locomotives électriques à vitesse modérée (fig. 3), l'adhérence totale, qui correspond à l'utilisation optimum de la matière.

Dans l'état actuel de la technique, il est possible de disposer d'une puissance continue d'un millier de chevaux par essieu moteur chargé à 20 tonnes, la puissance continue étant celle qui, développée indéfiniment, provoque l'échauffe-

la puissance dite « à la jante » est celle qu'on mesure, par exemple, en faisant fonctionner la locomotive au point fixe, sur un banc d'essai, comme celui dont dispose la S.N.C.F. à Vitry-sur-Seine. (Voir : « Stations d'essais de locomotives » ; *Science et Vie*, n° 182, août 1932.) Dans une comparaison de locomotives de types très divers, nous avons préféré nous référer à la puissance à la jante, qui n'est pas affectée, comme la puissance au crochet, par les effets, variables selon les machines, de la résistance de l'air et du profil de la ligne.

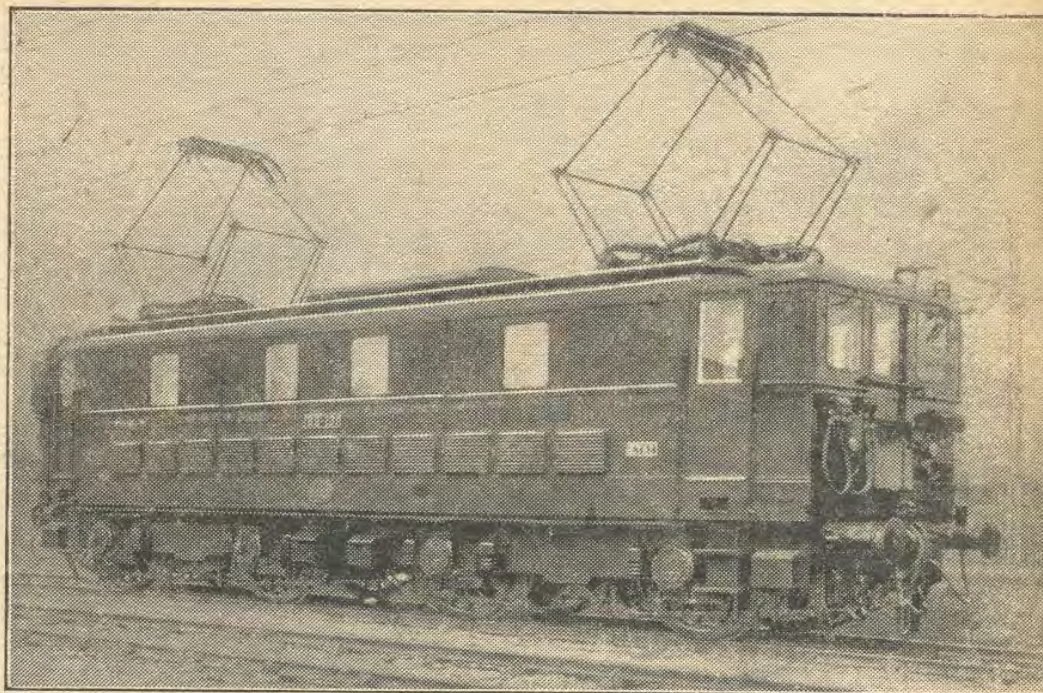


FIG. 3. — LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE TYPE B-B DE LA S.N.C.F. A ADHÉRENCE TOTALE POUR TRAINS DE MARCHANDISES (1936)

Les quatre essieux sont moteurs et chargés à 20 t. Puissance continue à la jante : 1 900 ch; puissance massique continue à la jante : 24 ch/t.

ment maximum des moteurs jugé acceptable en service. On voit, par conséquent, que la puissance d'une locomotive électrique à 6 essieux moteurs, analogue à celle représentée page 242 pourrait atteindre en Europe 6 000 chevaux en régime continu, ce qui laisserait en fait, la possibilité d'en obtenir sans difficulté plus de 8 000 pendant quelques minutes.

Mais, comme la traction électrique se prête très facilement à la commande par un seul conducteur de plusieurs unités attelées ensemble, on peut atteindre des puissances encore plus grandes, soit en accouplant deux machines, lorsque le besoin s'en fait sentir, soit en constituant certaines unités très puissantes par la réunion de deux éléments identiques restant attelés en permanence. C'est le cas, par exemple, de quelques locomotives utilisées pour la traction des trains express lourds sur les longues rampes de la ligne suisse du Saint-Gothard; leur puissance continue à la jante atteint 8 000 chevaux à 75 km/h.

Economie d'exploitation

La locomotive électrique ne nécessite qu'un entretien très réduit et elle peut effectuer quelques milliers de kilomètres sans être visitée, remorquant ainsi plusieurs trains consécutifs sans passer dans les dépôts. Dans ces conditions, les parcours annuels moyens sont importants; pour les locomotives électriques à grande vitesse de la Région du Sud-Ouest de la S.N.C.F., par exemple, ce parcours atteignait 150 000 km en 1938.

Cette bonne utilisation des locomotives électriques compense largement les charges qui ré-

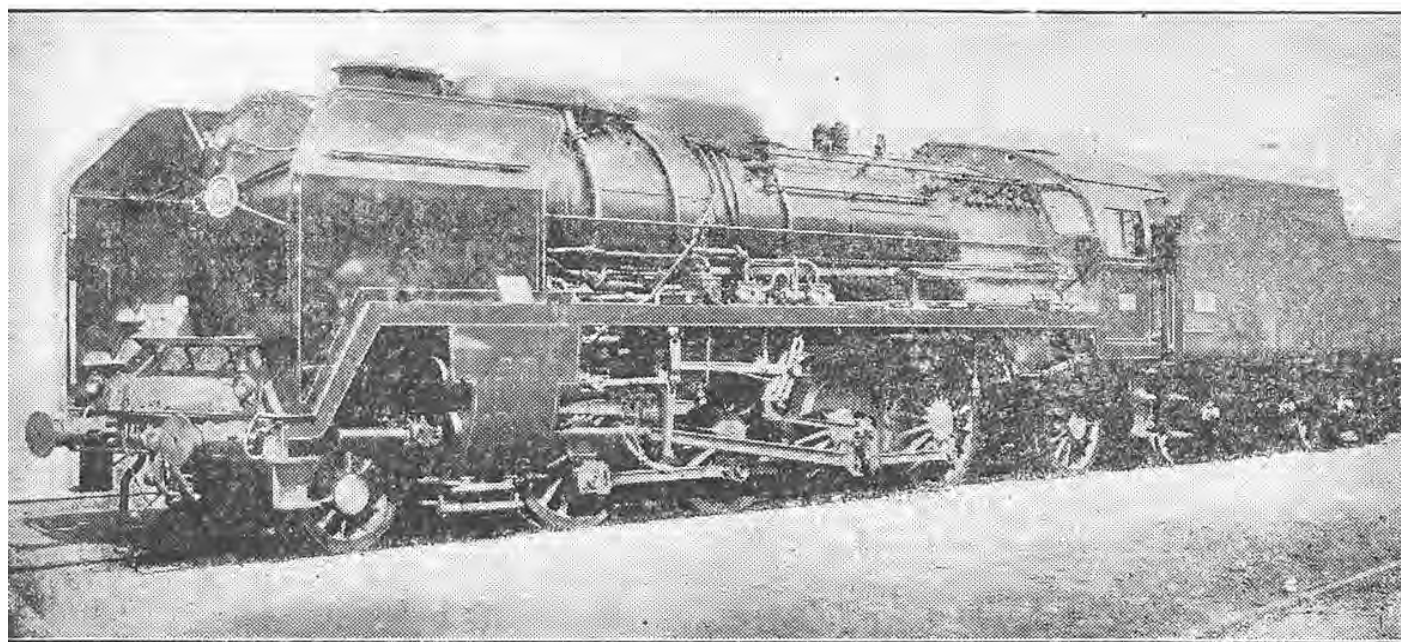


FIG. 4. — LOCOMOTIVE MODERNE A VAPEUR TYPE 141 P DE LA S.N.C.F. POUR TRAINS EXPRESS LOURDS ET TRAINS DE MARCHANDISES (1942)

Vitesse maximum : 105 km/h; charge des essieux moteurs : 19 t. Puissance soutenue à la jante : 2 900 ch à 70 km/h. Poids avec tender à quatre essieux (36 m³ d'eau et 9 t de charbon) à moitié chargé : 172 t. Puissance massique soutenue à la jante : sans tender, 26 ch/t; avec tender mi-chargé, 17 ch/t.

sultent de leur prix, supérieur à celui des locomotives à vapeur : rapporté au cheval développé de façon continue à la jante, le prix de la locomotive électrique dépasse de 30 % environ celui de la locomotive à vapeur.

Devant des avantages aussi nombreux, beaucoup s'étonnent que la traction électrique ne s'étende pas plus rapidement à toutes les voies ferrées. C'est que, malheureusement, l'obligation, pour la locomotive électrique, de capter sur une ligne de prise de courant l'énergie dont elle a besoin, entraîne la présence de coûteuses installations fixes (usines électriques, lignes à haute tension, sous-stations de transformation, lignes de contact) qui viennent grever lourdement le bilan de l'exploitation, et ne peuvent être payantes que sur les lignes où elles sont bien utilisées, c'est-à-dire où le trafic est intense. Le domaine de la traction électrique restera donc limité, en général, aux grandes artères, et à certaines applications particulières, telles que les banlieues et quelques lignes au profil particulièrement difficile.

La locomotive à vapeur classique

Si on excepte quelques expériences restées jusqu'à présent sans lendemain, et sur lesquelles nous reviendrons, on est frappé par le fait que la locomotive à vapeur a conservé, depuis plus d'un siècle, la structure générale que lui avaient donnée ses créateurs. Un des caractères les plus saillants de cette machine réside, comme on le sait, dans l'emploi d'une chaudière dont la contenance en eau est relative-

ment importante, pourvue de tubes de fumée, et dont la production de vapeur est automatiquement proportionnée à la puissance développée par la locomotive, grâce à l'emploi d'un éjecteur par lequel s'échappe à l'atmosphère la vapeur ayant travaillé dans les cylindres. Cet éjecteur étant placé dans la cheminée, l'échappement de la vapeur accroît le tirage du foyer et par suite la combustion du charbon.

Les perfectionnements récents

Du fait même de sa conception, la chaudière constitue la pièce maîtresse de la machine, celle qui lui donne sa silhouette bien connue. De dimensions assez modérées sur les unités anciennes, elle a progressivement occupé tout l'espace compatible avec le gabarit et avec une visibilité suffisante de la voie depuis le poste du mécanicien, tandis que son foyer, après avoir débordé les longerons dans sa largeur, s'est accru en longueur à un point tel que la chauffe mécanique s'impose sur les puissantes locomotives modernes. La surface de la grille atteint couramment 5 m² sur les locomotives européennes récentes, 10 m² et plus sur les grosses unités américaines. Comme la quantité de charbon brûlée par mètre carré de surface de grille et par heure se trouve limitée, notamment par l'obligation de conserver un rendement convenable de la chaudière, les dimensions possibles de la surface de grille définissent, en fait, la quantité d'énergie calorifique libérable sur la locomotive. C'est donc vers une augmentation des rendements que les techniciens ont dû orienter leurs efforts pour accroître encore la puissance de la machine :

— La pression de la vapeur produite par la chaudière est montée progressivement jusqu'à 20 hectopièzes (1); quelques machines fonctionnent même, en Allemagne, à 25 hpz. Mais de telles pressions nécessitent des tôles de chaudière épaisses en acier spécial, et il paraît maintenant difficile d'aller plus loin sans modifier la structure de la chaudière.

— La surchauffe de la vapeur qui, en augmentant sa température, accroît le rendement du cycle et favorise le fonctionnement du moteur, est devenue d'un usage général. La température de la vapeur atteint 400° C, maximum compatible avec une tenue satisfaisante des huiles de graissage des cylindres.

— La réalisation du tirage par la vapeur d'échappement provoque une contre-pression dans les cylindres, qu'il importe de réduire le plus possible; des progrès très importants ont été réalisés dans ce domaine, grâce aux perfectionnements apportés aux échappements.

— Le réchauffage de l'eau d'alimentation des chaudières, en utilisant une partie des calories contenues dans la vapeur d'échappement, contribue aussi à réduire la consommation de charbon, et, par conséquent, à permettre un accroissement de puissance des machines.

— Enfin, l'étude rationnelle des circuits de vapeur entre chaudière et cylindres et les perfectionnements apportés aux systèmes de distribution, où les soupapes remplacent souvent les tiroirs, procurent un meilleur remplissage des cylindres, et, par conséquent, une augmentation de la puissance développée.

La locomotive à vapeur classique est ainsi arrivée à un haut degré de perfection, auquel la technique française a largement contribué, puisque nos locomotives comptent parmi celles dont les puissances massiques sont les plus fortes.

La réserve d'énergie que constitue la masse d'eau importante de la chaudière et l'aptitude aux taux de combustion élevés, automatiquement réglés par l'échappement de la vapeur dans la cheminée, confèrent aux locomotives à vapeur une souplesse remarquable, qui justifie la faveur dont elles jouissent depuis un siècle.

Les limites de la puissance

Mais, du fait même que ces machines se prêtent très bien aux gros efforts passagers, il est très difficile de définir leur puissance, en vue d'une comparaison avec d'autres types de ma-

chines; c'est d'ailleurs là un sujet fréquent de discussions entre spécialistes.

Il semble, cependant, que, sur les locomotives à vapeur modernes bien conçues, la puissance soit surtout limitée par l'obligation de ne pas exagérer le taux de la combustion, c'est-à-dire la quantité de charbon qui est brûlée en une heure sur un mètre carré de la surface de la grille. Au cours de services très poussés, ce taux a pu atteindre 800 à 1 000 kg par mètre carré et par heure, ce qui correspond, pour une locomotive du type représenté sur la figure 4, à une consommation de 4 tonnes de charbon à l'heure! Mais une telle allure de combustion provoque une baisse sensible du rendement de la chaudière et soumet le foyer à une fatigue importante; en pratique, avec les machines récentes comportant des foyers en acier avec chargeurs mécaniques, on peut admettre que le taux maximum de combustion en service normal ne doit pas dépasser 600 kg par mètre carré et par heure, pour se tenir plus couramment vers 450 kg. Comme la consommation spécifique de charbon des locomotives modernes est de l'ordre de 0,9 à 1 kg par cheval-heure à la jante, on voit que la puissance maximum normalement utilisable à la jante en service peut être évaluée à 700 chevaux par mètre carré de surface de grille.

Les locomotives les plus récentes de la S.N.C.F. (fig. 4), dont 103 unités sont actuellement en cours de livraison, et qui sont plus spécialement destinées à la remorque des trains express lourds et des trains de messageries, pèsent 172 tonnes avec leur tender à moitié plein, et peuvent développer 2 900 chevaux environ à la jante des roues motrices, pour un taux de combustion de 600 kg par m² de grille et par heure. La puissance massique correspondante ressort ainsi à 17 chevaux par tonne environ (26 ch/t sans tender).

La puissance développée par les locomotives que nous venons de prendre en exemple ne constitue cependant pas le plafond des possibilités actuelles des locomotives à vapeur européennes. En vue, précisément, d'augmenter la surface de grille, les machines puissantes que la S.N.C.F. étudie actuellement comporteront deux essieux porteurs à l'arrière; ce sera notamment le cas des locomotives à grande vitesse du type 242 à 4 essieux moteurs chargés à 23 tonnes, destinées à la remorque des rapides lourds, et qui pèseront 160 tonnes sans tender (221 tonnes avec tender à moitié plein). Munies d'une grille de 6 m², leur puissance massique soutenue à la jante ressortira donc à 26 ch/t

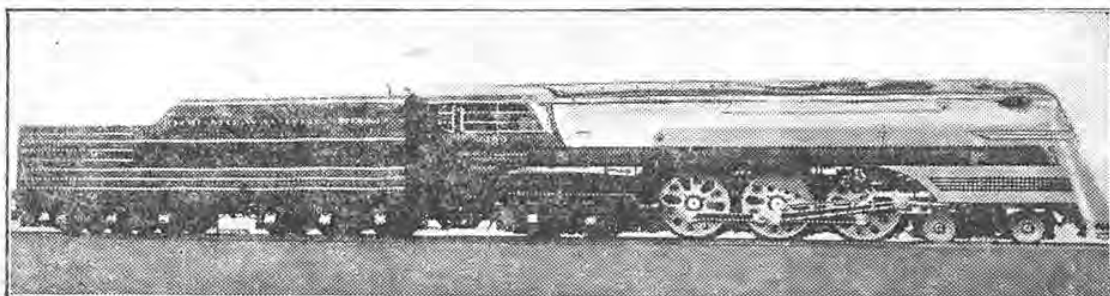


FIG. 5. — LOCOMOTIVE A VAPEUR AMERICAINE TYPE 232 POUR TRAINS RAPIDES, CONSTRUITE EN 1928
Charge des essieux moteurs : 33 tonnes. Surface de grille : 9 m². Poids de la locomotive seule : 187,5 t.
Poids du tender chargé : 167 t (75 m³ d'eau et 22,5 t de charbon).

environ sans tender et à 19 ch/t avec tender mi-plein.

Vers une meilleure utilisation des machines

Il semble qu'on ne sera pas amené, en France, à dépasser ces chiffres avant longtemps, non seulement parce que la nécessité d'accroître davantage les puissances n'est pas impérieuse, mais parce que les considérations de prix de revient, sur lesquelles nous insistions au début de cet exposé, incitent à améliorer surtout les

parce que l'obligation de laisser les essieux se déplacer par rapport au châssis pour assurer le libre jeu de la suspension, interdit d'atteindre la précision que requiert une machine rapide à mouvements alternatifs. Et comme le nombre des essieux groupables dans un même châssis est limité, cette augmentation constante des poids causée par l'accroissement de la puissance a obligé, malgré les gains réalisés sur la puissance massique, à charger toujours davantage les essieux des machines. Ces charges, qui avaient pu, jusqu'à présent, être maintenues en France entre 18 et 20 tonnes, vont être por-

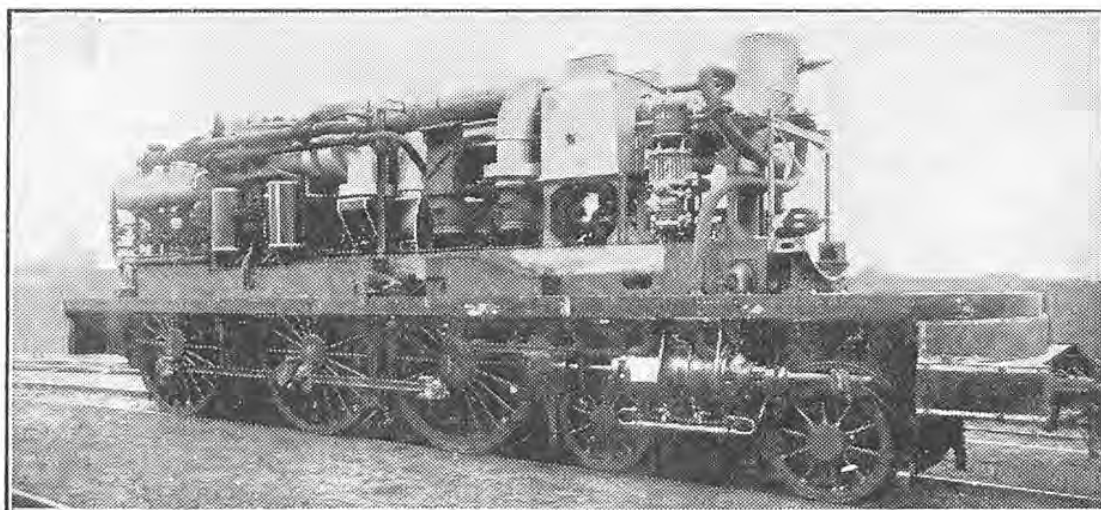


FIG. 6. — LOCOMOTIVE 230-E-93 DE LA S.N.C.F. AVEC CHAUDIÈRE VELOX (CAISSE DÉMONTÉE) T W 40024

conditions d'utilisation des machines : augmentation des parcours journaliers réalisables, réduction des opérations d'entretien, etc.

Si, en effet, la locomotive à vapeur classique est particulièrement robuste, elle nécessite néanmoins des opérations d'entretien courant assez fréquentes, qui, jointes aux sujétions d'approvisionnement en eau et en combustible et à l'obligation d'en confier la conduite à un personnel très spécialisé, s'opposent à la réalisation de parcours journaliers aussi élevés que ceux obtenus avec les autres modes de traction (le parcours annuel moyen des locomotives à vapeur à grande vitesse de la S.N.C.F. atteignait à peine 60 000 km en 1938).

Les mesures prises pour améliorer l'utilisation des machines, qu'il s'agisse de l'accroissement de la capacité des tenders, de la chauffe mécanique, ou des perfectionnements apportés au mécanisme moteur, se traduisent par des augmentations de poids. Il est frappant de constater, en particulier, que, contrairement à toutes les autres machines motrices, qu'il s'agisse de machines à vapeur stationnaires, de turbines, de moteurs à combustion interne, ou de moteurs électriques, le moteur de la locomotive à vapeur n'a pu accroître sa puissance par une augmentation corrélative de sa vitesse de rotation, génératrice d'allègement. On a pu, certes, par des perfectionnements divers, affecter à des services d'express des machines dont le petit diamètre des roues eût été jugé autrefois incompatible avec des vitesses de 70 ou 80 km/h, mais on ne peut aller très loin dans cette voie,

tées à 23 tonnes sur les machines futures, rejoignant ainsi celles admises depuis longtemps par des pays voisins.

Pour permettre néanmoins la circulation de locomotives puissantes sur des voies non renforcées, on utilise parfois, au prix d'une complication plus grande et d'un abaissement de la puissance massique, des locomotives articulées, du type Garratt (1) notamment, dont la chaudière est portée par un châssis reposant sur deux trucks moteurs.

Les locomotives à vapeur de types spéciaux

Au stade actuel du développement de la locomotive à vapeur classique, il apparaît très difficile d'en améliorer sensiblement la puissance massique et le rendement, bien que ce dernier reste encore très bas, puisqu'il n'est guère passé, en 30 ans, que de 6 à 12 % au plus (2) ; encore s'agit-il là du rendement maximum, qui s'abaisse notablement aux charges partielles, et qui ne tient pas compte de la consommation du combustible durant les stationnements.

(1) Voir : « Locomotive Garratt à 6 cylindres de la Nouvelle-Zélande » (*Science et Vie*, n° 144, juin 1929).

(2) Ces chiffres se rapportent toujours au rendement « à la jante ».

Les hautes pressions

Certains techniciens estiment qu'il conviendrait de renoncer délibérément aux dispositions classiques et de s'inspirer de solutions adoptées pour les machines stationnaires ou pour les locomotives ne faisant pas appel à la vapeur. Des expériences ont donc été tentées pour utiliser des chaudières à très haute pression, avec ou sans condensation de la vapeur, des moteurs à vapeur rapides, ou des turbines.

La condensation nécessite des appareils très volumineux, car la seule source froide dont on dispose à bord est l'air ambiant; il serait donc

S.N.C.F. à trois essieux, d'un modèle déjà ancien, dont la chaudière classique, timbrée à 16 hpz, avait été remplacée par une chaudière Vélox (fig. 6), fournissant de la vapeur à 20 hpz. Dans cette chaudière, les échanges calorifiques sont considérablement accrus par une augmentation simultanée de la vitesse de circulation de l'eau dans les tubes évaporateurs, grâce à une circulation forcée, et de la vitesse des gaz chauds le long de ces tubes; à cet effet, le mazout, utilisé comme combustible, est brûlé dans une chambre mise sous pression par un compresseur d'air axial, entraîné lui-même par une turbine à gaz parcourue par les gaz sortant,

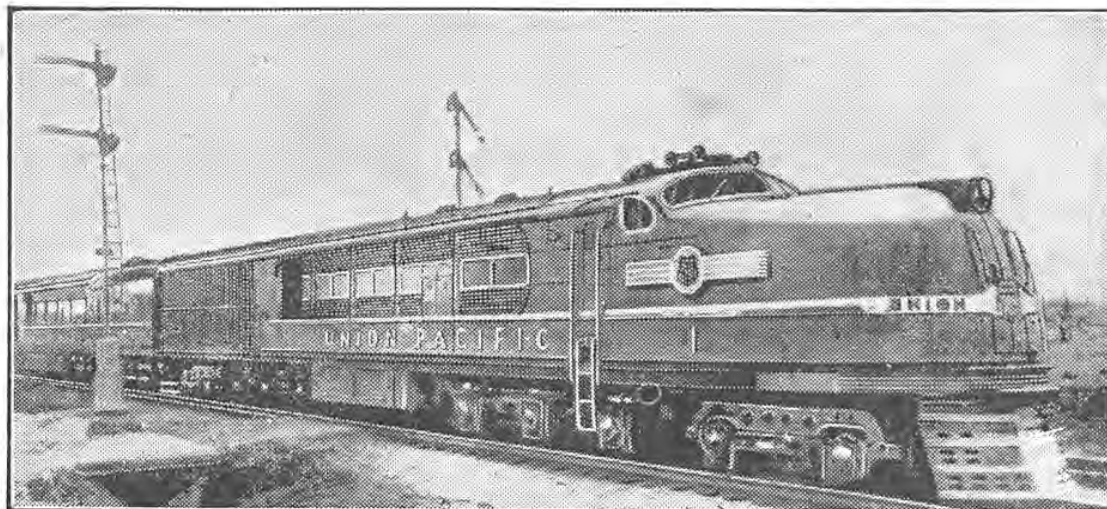


FIG. 7. — LOCOMOTIVE DE 5 000 CHEVAUX A TURBINES A VAPEUR, TRANSMISSION ÉLECTRIQUE ET CONDENSATION DE L'UNION PACIFIC RAILROAD, CONSTRUITE EN 1938

Composée de deux unités pesant chacune 248 tonnes, elle remorque, concurremment avec des locomotives Diesel, des trains express qui relient Chicago à la côte du Pacifique (3 650 km) en moins de 40 heures. Elle peut parcourir un millier de kilomètres sans se ravitailler.

très difficile de réaliser un vide élevé. En service régulier, on n'a guère eu recours, jusqu'à présent, à la condensation que pour desservir des lignes désertiques, où on cherchait surtout à récupérer l'eau contenue dans la vapeur d'échappement, le gain de rendement procuré par la condensation étant jugé accessoire; sur de telles machines, qui circulent notamment en Russie et en Argentine, la pression au condenseur est voisine de la pression atmosphérique, afin de simplifier les machines auxiliaires. Notons, d'ailleurs, que les locomotives à condensation ne disposent plus de l'excellent régulateur de tirage que constitue l'échappement de la vapeur dans la cheminée; il faut alors avoir recours à des ventilateurs actionnés par un moteur auxiliaire.

D'assez nombreuses locomotives prototypes ont reçu, à titre d'essai, des chaudières à haute pression à tubes d'eau, timbrées parfois jusqu'à 100 hpz. Tous ces essais sont demeurés, jusqu'à présent infructueux, en raison, surtout, des difficultés d'entretien auxquelles donnent lieu ces chaudières qui, devant, pour la plupart, fonctionner sans condensation, sont sujettes à l'entartrage.

La chaudière Vélox

Il convient toutefois de citer l'essai, interrompu par la guerre, d'une locomotive de la

encore chauds, de la chaudière. Au cours d'essais en service régulier, la chaudière Vélox s'est révélée aussi souple qu'une chaudière classique, malgré son volume d'eau extrêmement réduit, et son rendement restait compris entre 80 et 85 % environ, même à demi-charge, alors que le rendement d'une chaudière classique chauffée au charbon s'abaisse vers 65 % à pleine charge. Seule une utilisation prolongée permettra de mettre ces bons résultats en balance avec les sujétions d'entretien qui résulteront de la complication assez grande des machines auxiliaires adjointes à la chaudière.

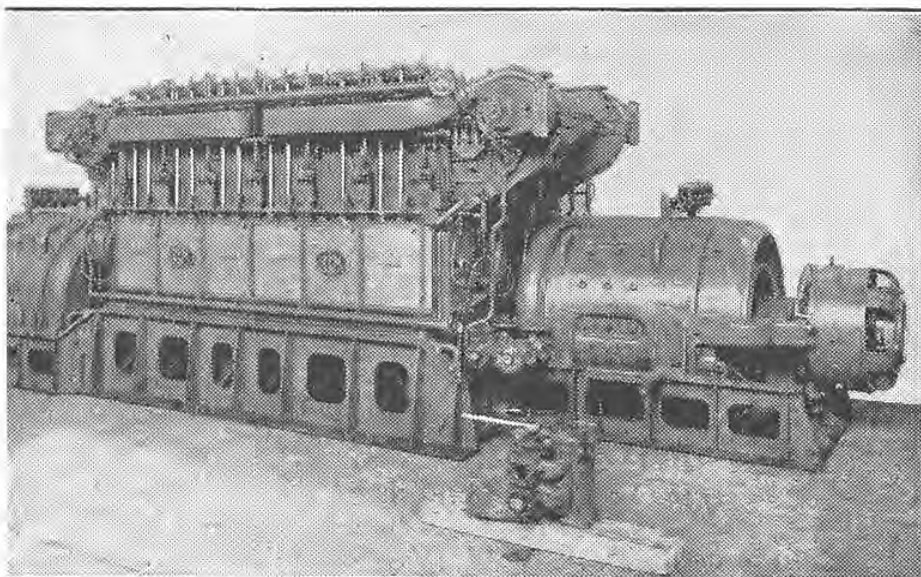
Les moteurs à vapeur rapides

Bien que le moteur à vapeur classique des locomotives se soit montré apte aux très grandes vitesses, tout au moins sur les excellentes voies, puisque des locomotives de ce type ont circulé à 200 km/h, on a également cherché à réaliser ces performances en allégeant les masses non suspendues, et en dotant à cet effet la locomotive de moteurs à vapeur rapides, montés entièrement sur le châssis, et attaquant les essieux par l'intermédiaire d'engrenages et d'organes élastiques de liaison, inspirés de ceux en usage sur les locomotives électriques. C'est le cas, par exemple, d'une locomotive d'essai de

la S.N.C.F., construite par les usines Schneider, et dont la chaudière à haute pression (60 hpz), alimente 6 moteurs de 500 ch à 3 cylindres tournant à 1 000 tours/mn. Ces moteurs attaquent, groupés par deux, les trois essieux moteurs, qui ne sont pas couplés entre eux.

La turbine à vapeur

Enfin, la turbine à vapeur a été mise également en concurrence avec le moteur classique à pistons.



T W 40026

FIG. 8. — UN DES DEUX GROUPES ÉLECTROGÈNES DE 2 000 CHEVAUX DE LA LOCOMOTIVE DIESEL-ÉLECTRIQUE 262-AE-I DE LA S.N.C.F.

Il est constitué par deux moteurs SGCM-MAN de six cylindres quatre temps disposés sur un châssis unique et attaquant chacun une génératrice.

La turbine, qui se prête à un excellent équilibrage des masses en mouvement et qui offre une puissance massive élevée, en raison de sa très grande vitesse, peut être alimentée en vapeur à haute température (500° C), puisque celle-ci ne vient pas en contact avec des organes à lubrifier. Au surplus, la vapeur n'étant pas souillée par l'huile de graissage, cette machine se prête bien à la condensation. Par contre, des engrenages réducteurs importants doivent, en raison de la haute vitesse de la turbine, être insérés entre cette dernière et les essieux, et comme la turbine ne peut fonctionner dans les deux sens de marche, il faut avoir recours, soit à un changement de marche mécanique, d'une réalisation délicate avec les grandes puissances, soit à des turbines distinctes pour chacun des sens de marche.

Enfin, et c'est peut-être là le plus grave défaut de la turbine pour les services de traction, son rendement ne reste très satisfaisant que pour une gamme de vitesses assez limitée, et elle se prête mal à la réalisation de gros couples de démarrage.

Quelques locomotives à turbine sont en service en Suède; il s'agit de machines remorquant des trains relativement lourds sur des lignes difficiles, comportant peu d'arrêts. La S.N.C.F. expérimente, de son côté, une locomotive à

grande vitesse, pourvue de trois essieux moteurs indépendants, entraînés chacun par un groupe de deux turbines, respectivement affectées à chacun des sens de marche.

Enfin, un essai intéressant est tenté depuis 1939 par le réseau américain de l'Union Pacific Railroad, qui utilise une puissante locomotive à turbines à vapeur (fig. 7), dans laquelle ces machines entraînent des génératrices électriques alimentant des moteurs reliés aux essieux; la transmission électrique, tout à fait analogue à celle des locomotives Diesel, maintient la vitesse

des turbines au voisinage du régime optimum. La chaudière, chauffée au mazout et timbrée à 100 hectopièzes, fournit de la vapeur surchauffée à 495° C et, grâce à la condensation, la locomotive peut parcourir un millier de kilomètres sans ravitaillement; elle assure, concurremment avec des locomotives Diesel, la traction des trains rapides d'un millier de tonnes qui relient en une quarantaine d'heures Chicago et Omaha au Pacifique (3 650 km). Le poids total de la locomotive, composée de deux unités identiques, serait voisin de 500 tonnes pour une puissance à la jante de l'ordre de 4 300 chevaux, ce qui fait apparaître une puissance massique particulièrement basse.

La locomotive à moteur à combustion

Les moteurs à combustion interne, et, plus spécialement, ceux travaillant suivant le cycle Diesel, présentent des qualités intéressantes pour la traction :

— Haut rendement, voisin de 35 % à pleine charge, et diminuant peu aux charges partielles;

— Grande facilité de manœuvre, de mise en marche, et d'arrêt, contribuant à réduire la consommation de combustible et l'usure des organes, surtout avec les services intermittents. La mise en marche de la locomotive est possible sans préparation préalable, et un seul agent peut la conduire.

— Utilisation de combustibles liquides, d'une manutention facile, et dont le pouvoir calorifique élevé contribue, avec le haut rendement des moteurs, à permettre de longs parcours sans ravitaillement.

— Consommation d'eau pratiquement négligeable, ce qui est particulièrement précieux dans les pays désertiques ou ne disposant pas d'eau de bonne qualité.

— Production de fumées peu visibles et très peu nocives.

Par contre, deux caractéristiques essentielles

du moteur à combustion interne nuisent à son utilisation sur les locomotives :

— Ce moteur se prête mal aux surcharges temporaires, toute augmentation sensible de la charge au-dessus de la puissance qui peut être développée d'une façon continue entraînant une combustion imparfaite du combustible, des encrassements, et des échauffements excessifs de certains organes.

— Le moteur à combustion interne ne peut pas fonctionner correctement aux très bas régimes de vitesse, c'est-à-dire qu'il ne peut développer sur son arbre, un couple moteur utilisable que s'il tourne suffisamment vite, par exemple à plus du tiers de sa vitesse maximum.

Ces deux inconvénients conduisent, d'une part, à surdimensionner les moteurs destinés à la traction, puisque nous avons vu que celle-ci exige des « coups de collier » fréquents, et, d'autre part, à interposer entre moteurs et essieux une transmission à démultiplication variable, maintenant toujours la vitesse de fonctionnement du moteur au-dessus de sa vitesse minimum, même pendant le démarrage du convoi.

Cette double sujétion se traduit par un alourdissement sensible des équipements et, encore, actuellement, la réalisation de puissantes unités à moteurs à combustion, capables, comme leurs concurrentes à vapeur ou électriques, de développer plusieurs milliers de chevaux, reste entravée par l'insuffisance de leur puissance massique. Par contre, le moteur à combustion se prête particulièrement bien à la réalisation des engins de puissance modérée, tels que les autorails et les locomotives affectées aux manœuvres et aux services secondaires ; depuis une quinzaine d'années, son développement a été très rapide dans ces domaines.

Les progrès du moteur Diesel de traction

Les moteurs Diesel utilisés pour la traction sont à deux ou quatre temps, c'est-à-dire qu'ils comportent, soit une course motrice par tour, le balayage des gaz brûlés étant assuré, en fin de course motrice, par circulation d'air sous pression à travers le cylindre, soit une course motrice tous les deux tours seulement, un tout sur deux étant utilisé pour aspirer l'air, puis le comprimer, dans le cylindre.

Les moteurs à deux temps ont reçu de très nombreuses applications aux États-Unis ; en Europe, la préférence des techniciens s'est plutôt portée, jusqu'à présent, vers les moteurs à quatre temps, en raison de leur rendement un peu plus élevé et, pour les grosses unités, de la moindre hauteur de leurs cylindres, facilitant leur montage à l'intérieur du gabarit européen, plus restreint que celui des chemins de fer américains.

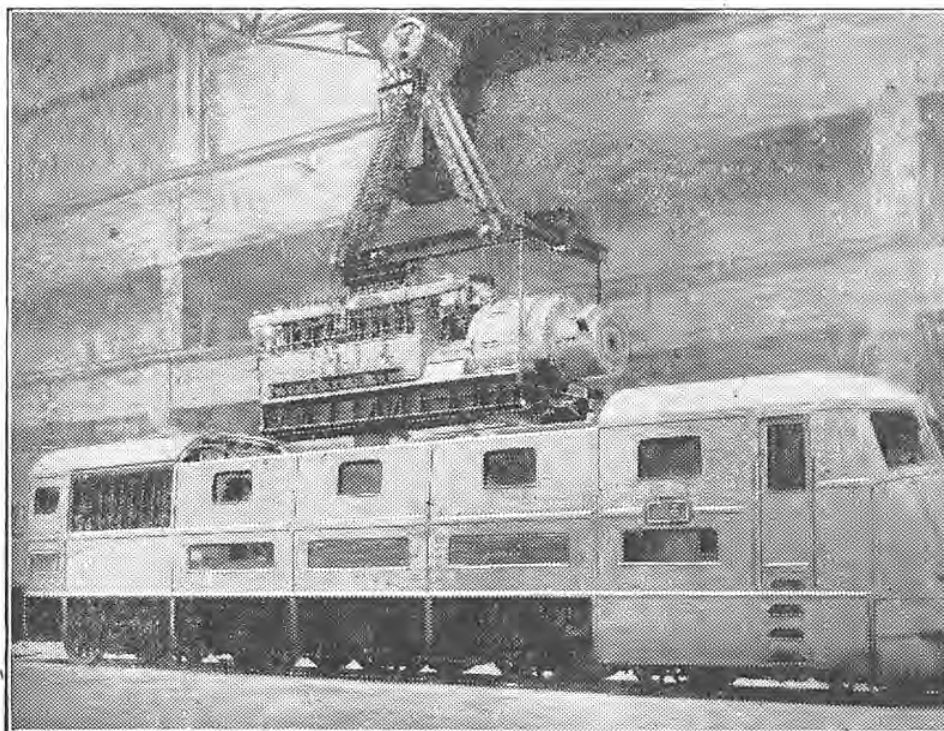


FIG. 9. — MISE EN PLACE DU GROUPE ÉLECTROGÈNE DE 2 000 CHEVAUX SUR UNE DES DEUX UNITÉS CONSTITUANT LA LOCOMOTIVE DIESEL ÉLECTRIQUE 262-BD1 DE LA S.N.C.F.

Moteur Sulzer à 12 cylindres en deux lignes, attaquant deux vilebrequins reliés par engrenages à la génératrice.

Au surplus, les progrès importants réalisés, depuis une dizaine d'années, dans la suralimentation des moteurs à quatre temps, ont permis d'augmenter de près de 50 % la puissance massique de ceux-ci. La suralimentation consiste à transformer en énergie mécanique, à l'aide d'une turbine à gaz, l'énergie emportée dans les gaz d'échappement du moteur, et à l'utiliser pour actionner un compresseur d'air, qui alimente à son tour les cylindres moteurs en air légèrement comprimé ; en augmentant ainsi le poids d'air introduit à chaque cycle, il devient possible de brûler plus de combustible et, par conséquent, d'augmenter le couple développé sur l'arbre, sans accroître la pression maximum, donc la fatigue du mécanisme. En outre, par un réglage approprié de la levée des soupapes, on réalise un balayage énergique du fond de cylindre en fin d'échappement, ce qui réduit la contrainte thermique de ces organes.

La vitesse de rotation des moteurs Diesel de traction, actuellement comprise entre 750 et

1 500 tours/mn, est très sensiblement plus élevée que celle des moteurs stationnaires et marins. Les moteurs les plus rapides, généralement à quatre temps, sont surtout utilisés sur les autorails. L'alésage de leurs cylindres ne dépasse guère 150 mm, de sorte que la puissance par cylindre reste de l'ordre de 30 chevaux. Il existe, en particulier, de nombreux moteurs de cette

Du moteur aux essieux : les transmissions

Les transmissions intercalées entre les moteurs et les essieux se ramènent à trois types : les transmissions mécaniques, électriques et hydrauliques.

La transmission mécanique n'est, en principe, qu'une extrapolation de la transmission presque universellement en usage sur les automobiles, et dont les deux principaux organes sont l'embrayage et le changement de vitesse. Toutefois, en raison de l'importance des efforts à développer, notamment au cours du démarrage des trains lourds, la transmission mécanique n'a été utilisée, jusqu'à présent, que pour des puissances ne dépassant pas quelques centaines de chevaux; elle a surtout reçu de nombreuses applications sur les autorails et les petits tracteurs de manœuvre.

La transmission électrique est, par contre, d'un usage presque général sur les locomotives. Elle consiste à actionner, avec le moteur à combustion, une génératrice à courant continu qui alimente les moteurs électriques reliés aux essieux. Par un agencement approprié du système de réglage de l'excitation de la génératrice, une surcharge du moteur à combustion est rendue impossible, tout

ou permettant l'utilisation intégrale de la puissance du moteur sur une large gamme de vitesses de la locomotive. Par contre, la transmission électrique est lourde, d'un prix assez élevé, et son rendement est un peu inférieur à celui de la transmission mécanique.

Les transmissions hydrauliques, étudiées principalement en Allemagne et en Suède depuis une dizaine d'années, font appel à deux types d'organes :

— Les coupleurs hydrauliques, sortes d'« embrayages fluides », qui assurent une liaison élastique entre moteurs et essieux en transmettant intégralement le couple avec un rendement d'environ 98 %.

— Les « transformateurs de couple », combinaisons, dans un même carter, d'une pompe centrifuge alimentant une turbine, qui permettent de faire varier dans de larges limites la vitesse de rotation de l'arbre de sortie, celle de l'arbre d'entrée restant sensiblement constante,

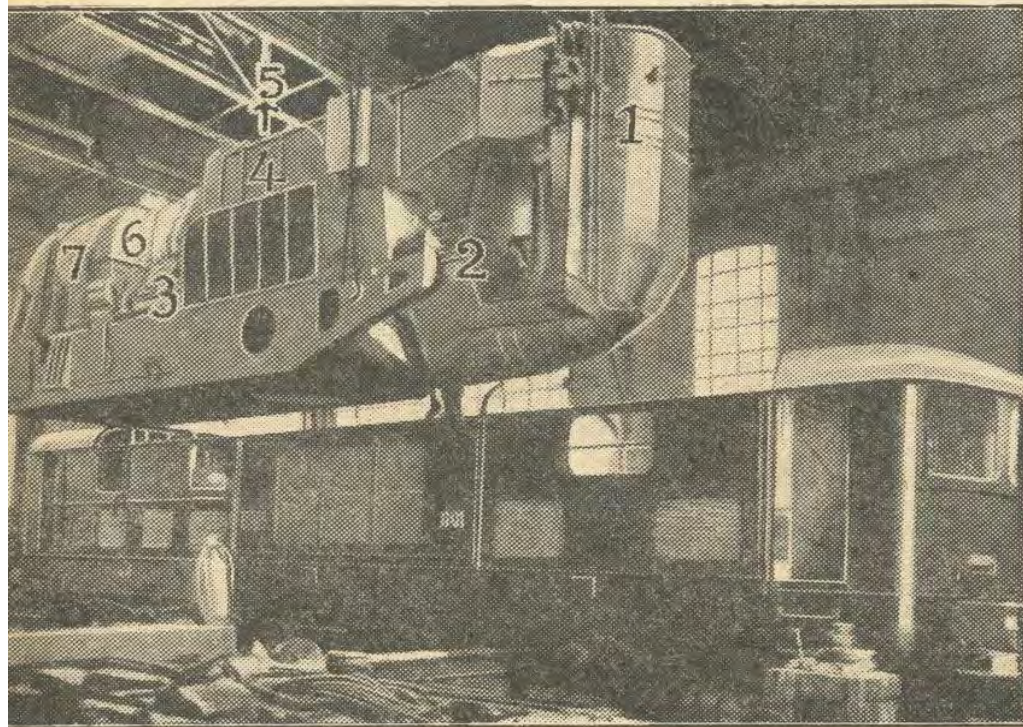


FIG. 10. — MISE EN PLACE DU GROUPE GÉNÉRATEUR DE LA LOCOMOTIVE A TURBINE A GAZ ET TRANSMISSION ÉLECTRIQUE CONSTRUITE EN 1940 PAR LA SOCIÉTÉ BROWN BOVERI (SUISSE)

Vitesse maximum : 110 km/h. Poids total avec demi-approvisionnement : 90 t. Puissance continue à la jante : 1 400 ch à 78 km/h. Puissance massique correspondante : 15,6 ch/t. 1, chambre de combustion; 2, turbine à gaz; 3, compresseur; 4, réchauffeur; 5, échappement; 6, train d'engrenages; 7, génératrice électrique.

catégorie qui comportent 12 cylindres en V, et dont la puissance atteint 300 à 450 ch à la jante, suivant qu'ils sont, ou non, suralimentés. Dans ce dernier cas, le poids par cheval s'abaisse à 5 kg.

La puissance des moteurs plus lents (750 à 1 000 tours/mn) atteint 100 ch environ par cylindre en deux temps, et 150 ch en quatre temps avec suralimentation; le poids par cheval est de l'ordre de 10 kg. Parmi ces moteurs, surtout utilisés sur les locomotives, les types les plus répandus sont les moteurs américains Winton à deux temps, qui équipent la presque totalité des trains Diesel rapides des Etats-Unis (notamment le moteur à 12 cylindres en V de 216 mm x 254 mm, développant 1 000 ch à 750 tours/mn), et, en Europe, les moteurs à 4 temps Sulzer et M.A.N. (fig. 8) à 6 et 8 cylindres en ligne, développant 900 à 1 200 ch à 800 tours/mn.

et le couple transmis variant lui-même en sens inverse de la vitesse. Le rendement maximum de ces organes est de l'ordre de 85 %, et leur rendement moyen, un peu plus faible, est comparable à celui des transmissions électriques.

Les transmissions hydrauliques avaient reçu, immédiatement avant la guerre, d'assez nombreuses applications sur des autorails, et elles commencent à être utilisées sur des locomotives équipées avec des moteurs d'un millier de chevaux.

Les emplois des locomotives Diesel

Ainsi que nous l'avons vu, les locomotives Diesel se prêtent bien aux services de manœuvres. Leur développement dans ce domaine a été important en Amérique, où plusieurs milliers d'unités de 600 à 1 000 chevaux seraient en service. L'Angleterre, pays pourtant riche en charbon, utilise également de telles machines ; en France, la S.N.C.F. possède, outre de nombreux locomotives Diesel électriques de manœuvre de 500 à 600 chevaux.

Les locomotives Diesel de ligne se sont développées depuis une quinzaine d'années, notamment sur des réseaux n'exigeant pas des machines très puissantes, et où l'absence ou la mauvaise qualité de l'eau rendent la traction à vapeur particulièrement onéreuse (Mandchourie, Thaïland, Congo, Tunisie, Madagascar, etc.).

Aux Etats-Unis, puis, plus récemment, en Amérique du Sud et en Europe, la locomotive Diesel est entrée en compétition avec la machine à vapeur pour la traction des trains reliant des centres éloignés. La locomotive Diesel y est surtout appréciée par son aptitude à réaliser de longs parcours sans ravitaillement et à assurer un service annuel important, grâce à la réduction extrême des immobilisations nécessitées par l'entretien. Sur le réseau américain du Burlington Railway par exemple, qui utilise une quinzaine de trains Diesel rapides, le parcours journalier moyen des locomotives en service serait actuellement de 1 200 km, et on cite le cas d'une des unités, qui a parcouru 2 millions de kilomètres en cinq ans et demi, soit 1 000 km par jour en moyenne.

En France, deux locomotives Diesel électri-

ques de 4 000 chevaux destinées à la traction des trains rapides sur la ligne Paris-Nice, ont été mises en service en 1937; l'une d'elles présente la particularité de comporter des moteurs Sulzer de 2 000 chevaux à deux lignes de 6 cylindres verticaux attaquant deux vilebrequins reliés par engrenages à l'arbre de la génératrice électrique (fig. 9). Ce même type de moteur équipe une locomotive en service depuis 1939 sur les chemins de fer roumains.

Alors que le rendement à la jante d'une locomotive Diesel est particulièrement élevé, puisqu'il atteint 25 % environ, même aux charges partielles (1), la puissance massique continue s'établit aux environs de 13 ch/t seulement,

et les machines dont la puissance dépasse 1 500 chevaux à la jante ne sont réalisables qu'en attelant ensemble plusieurs unités fonctionnant accouplées. Mais les progrès dans la construction des moteurs et des transmissions permettent d'escompter des allègements très substantiels dans les années à venir, qui porteront vraisemblablement la puissance massique à 18 chevaux par tonne au moins.

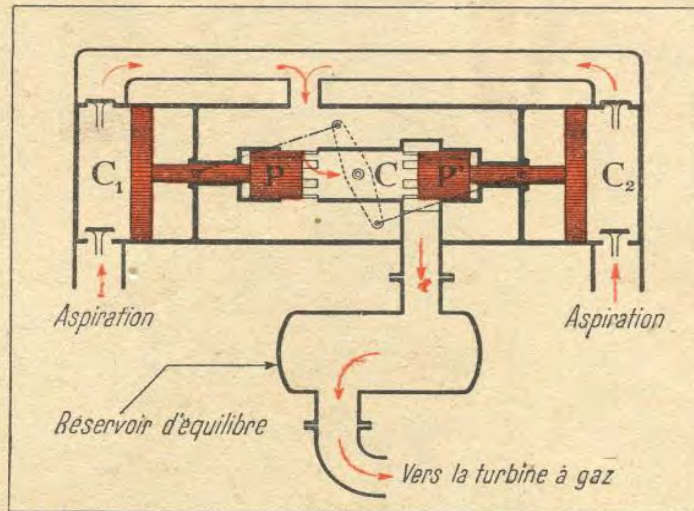


FIG. 11. — SCHÉMA D'UN GÉNÉRATEUR DE GAZ SYSTÈME PESCARA, A PISTONS LIBRES

Il comprend un cylindre central C, dans lequel se déplacent deux pistons opposés P et P', et à l'intérieur duquel la combustion des gaz est réalisée comme dans un moteur Diesel à deux temps. Ces pistons sont respectivement solidaires de deux autres pistons de plus grand diamètre, se déplaçant dans des cylindres coaxiaux C₁ et C₂, où ils compriment l'air servant au balayage. Un système de bielles et de balanciers relie les deux groupes de pistons, de façon à synchroniser leurs mouvements, mais sans transmettre d'efforts moteurs appréciables.

font l'objet de nombreuses études, en raison des perspectives séduisantes qu'elles semblent offrir. Bien qu'il ne puisse s'agir encore que d'engins d'expérience, qu'il serait tout à fait prématuré de mettre sur le même plan que les locomotives dont il a été question précédemment, examinons ce qui les caractérise.

La turbine et ses accessoires

Une turbine à gaz ne diffère pas essentiellement d'une turbine à vapeur; en particulier, sa faible aptitude aux variations continues de régime exigées par les services de traction nuit, comme nous l'avons vu, à son utilisation sur les locomotives. L'intérêt de la turbine à gaz réside essentiellement dans les conditions d'ob-

(1) Il dépasse ainsi de plusieurs points le rendement global de la traction électrique, dans l'hypothèse où l'énergie provient de centrales thermiques.

La locomotive à turbine à gaz

Les locomotives à turbines à gaz suscitent actuellement un vif intérêt et

tention des gaz chauds sous pression qui l'alimentent.

La turbine à gaz, dont les applications se limitaient à peu près exclusivement, jusqu'à présent, aux groupes de suralimentation des moteurs à combustion, constitue l'organe moteur principal d'une nouvelle locomotive de 1 400 chevaux, conçue et réalisée par la Société suisse Brown-Boveri (fig. 10).

Dans la locomotive Brown-Boveri (1), un compresseur comprime de l'air à une pression voisine de 4 hectopièzes, et cet air traverse, avant de pénétrer dans la turbine, une chambre de combustion, où on brûle la quantité de combustible liquide nécessaire pour porter le mélange gazeux à la température convenable, soit 500 à 600° C au maximum. La turbine à gaz alimentée dans ces conditions tourne à une vitesse peu variable, et entraîne, d'une part, le compresseur d'air dont il vient d'être question, et, d'autre part, une génératrice électrique qui alimente les moteurs de traction actionnant les essieux de la locomotive. La nécessité de ne pas dépasser une température de 600° C dans la turbine pour assurer une bonne conservation des ailettes, oblige à introduire dans la chambre de combustion une quantité d'air très supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour assurer la combustion du mazout. Dans ces conditions, malgré le bon rendement du compresseur axial utilisé, la puissance absorbée par cet organe est relativement élevée : sur la locomotive en question, il a fallu, pour disposer de 1 400 chevaux à la jante de la locomotive, installer une turbine de près de 10 000 ch, l'excès de puissance de celle-ci étant absorbé en grande partie par le compresseur.

Une telle locomotive présente l'avantage de comporter un mécanisme relativement simple, sans organes à mouvements alternatifs, consom-

mant très peu de matières de graissage, en raison de la réduction des organes frottants, et ne nécessitant pas d'eau; l'entretien devrait donc en être particulièrement réduit.

Le rendement global de l'installation motrice, défini par le rapport de la puissance absorbée par la génératrice à l'équivalent mécanique de

la chaleur produite par la combustion du mazout, est de l'ordre de 16 à 18 %. La puissance massique globale de la locomotive à turbine à gaz ressort ainsi à 15,6 ch/t, chiffre un peu supérieur, par conséquent, à celui d'une locomotive Diesel à transmission électrique.

L'emploi d'une transmission électrique entre la turbine et les essieux permet de faire fonctionner la turbine à la vitesse correspondant au rendement optimum, et de résoudre sans difficulté le problème du démarrage des trains, mais la transmission électrique, quoique d'un fonctionnement très éprouvé, constitue une complication, et entraîne, avec une petite chute de rendement, un supplément appréciable de poids et de prix.

Des projets de locomotives à gaz actuellement à l'étude prévoient donc l'utilisation de turbines à vitesse variable, reliées mécaniquement aux essieux par des réducteurs à engrenages. Les gaz chauds sortant de la chambre de combustion alimentent alors, d'une part, des turbines de traction, à vitesse variable, reliées aux essieux et, d'autre part, des turbines à vitesse constante, actionnant le compresseur d'air.

Il est intéressant de noter, au surplus, que, dans les locomotives à turbines à gaz avec chambre de combustion, la possibilité d'utiliser du charbon pulvérisé comme combustible n'est pas exclue; des essais encourageants sont en cours.

La collaboration du moteur Diesel et de la turbine à gaz

Ainsi que nous venons de l'exposer, le rendement du groupe propulseur ne peut guère

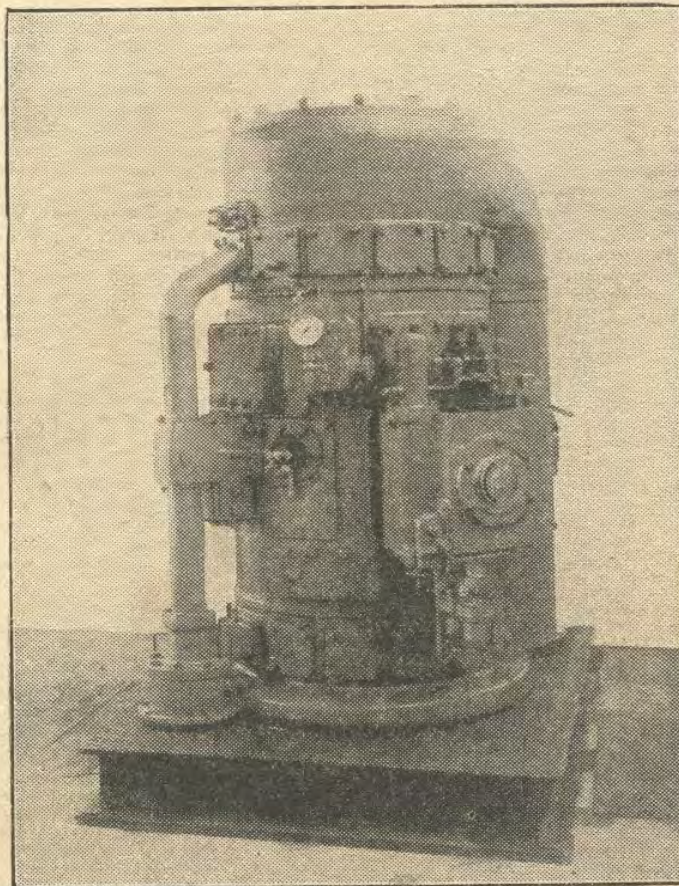


FIG. 12.— GÉNÉRATEUR PESCARA DE 450 CHEVAUX, POUR LOCOMOTIVE

T W 40029

(1) Voir : « Voici la première locomotive à turbine à gaz » (*Science et Vie*, n° 298, juin 1942).

dépasser 18 %; bien qu'il dépasse le rendement d'une locomotive à vapeur classique, il reste encore très inférieur à celui du moteur Diesel. Pour l'accroître, il faudrait pouvoir augmenter sensiblement la température des gaz dans la turbine, de façon à accroître le rendement propre de cette dernière, et à réduire, d'autre part, l'excès d'air, donc la puissance absorbée par le compresseur. Des améliorations dans ce domaine, essentiellement liées aux progrès de la métallurgie, restent possibles.

Mais on peut également réaliser un gain de rendement substantiel en ayant recours, pour la production des gaz chauds qui alimentent la turbine, aux gaz d'échappement d'un moteur spécial à combustion interne : imaginons un moteur Diesel à deux temps entraînant exclusivement son compresseur d'air de balayage, et dont le collecteur d'échappement est relié, par l'intermédiaire d'un réservoir d'équilibre, à la turbine à gaz, et supposons que la distribution du moteur soit établie de telle façon qu' aussitôt après l'achèvement de la détente des gaz brûlés dans le cylindre, le compresseur envoie dans celui-ci de l'air de balayage en quantité suffisante pour porter le mélange recueilli dans le réservoir intermédiaire à une température et à une pression convenant à l'alimentation de la turbine : cette dernière va entrer en fonctionnement dans les mêmes conditions que lorsqu'elle est alimentée par une chambre de combustion. Le rendement d'un tel groupe moteur Diesel-compresseur serait déjà favorable pour les deux raisons ci-après :

— L'énergie employée pour comprimer l'air est produite dans un moteur Diesel, qui, utilisant des gaz à une température très supérieure à 600° (la température dans le cylindre au moment de la combustion est de l'ordre de 1 700°), fonctionne avec un rendement élevé.

— Les gaz qui travaillent dans le moteur Diesel se refroidissent en produisant un travail utile, de sorte qu'il n'est pas nécessaire, pour les amener à la température requise par la turbine, de les diluer dans un excès d'air aussi grand que dans la première solution.

Mais, pour améliorer davantage le rendement du groupe producteur de gaz chauds comprimés, on a imaginé d'atteler directement les pistons du moteur Diesel à ceux du compresseur, sans passer par l'intermédiaire d'un arbre en rotation : le générateur de gaz à pistons libres système Pescara est ainsi constitué (fig. 11). La figure 12 représente un tel générateur, capable d'alimenter une turbine de 450 chevaux.

Le rendement d'une installation de turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres, défini par le rapport de l'énergie mécanique recueillie sur l'arbre de la turbine à l'équivalent mécanique de la chaleur fournie par le combustible, est de l'ordre de 35 % à pleine charge, donc comparable à celui d'un moteur Diesel.

Une locomotive à turbines à gaz et générateurs Pescara a été conçue par la Société Alsthom. Cette machine, du type 1-BB-1, comporterait deux turbines à gaz de 1 350 chevaux, alimentées chacune par trois générateurs Pescara, et attaquant respectivement deux essieux

moteurs chargés à 18,5 tonnes; pesant 96 tonnes avec ses soutes à combustibles à moitié pleines, elle offrirait une puissance massique à la jante de 26 ch/t, voisine, par conséquent, de celle des locomotives électriques récentes.

L'avenir de la locomotive

De cette rapide confrontation des caractéristiques des divers types de locomotives, il apparaît que, si la locomotive à vapeur classique n'a pas encore trouvé de concurrente offrant un ensemble de qualités suffisant pour entrer en compétition avec elle dans tous les services que requiert l'exploitation d'un réseau ferré, son domaine d'utilisation subit néanmoins des amputations sensibles.

La traction électrique s'est étendue aux services de banlieue, et, sur les lignes importantes, ses remarquables possibilités techniques sont mises à profit lorsque l'intensité du trafic permet la rémunération des capitaux qu'il faut investir dans ses installations fixes.

Sur les longs trajets directs, où les qualités d'autonomie du matériel moteur prennent toute leur valeur, et dans tous les cas où la puissance requise offre un caractère intermittent (lignes secondaires, manœuvres de gares), les engins avec moteurs à combustion empiètent à leur tour sur le domaine de la locomotive à vapeur.

Pour les très nombreux services qui nécessitent des machines puissantes, sans justifier le recours à la traction électrique, la locomotive à vapeur classique conserve encore actuellement des avantages certains, grâce à sa simplicité relative et à sa remarquable souplesse, fruit d'une judicieuse adaptation de ses organes essentiels aux besoins très particuliers de la traction sur les voies ferrées. Relevant toutefois d'une conception centenaire, la locomotive à vapeur classique devient de plus en plus difficilement perfectible.

Autonomes comme elle, mais rattachées à des techniques plus récentes, qui n'ont d'ailleurs pas pris naissance dans les chemins de fer et nécessitent de ce fait une adaptation, les locomotives à vapeur de types spéciaux, les locomotives Diesel et les locomotives à turbines à gaz sont bien loin d'avoir atteint leur forme définitive. En particulier, le moteur de traction à combustion interne, dont les applications sont déjà nombreuses, bénéficiera sans aucun doute des progrès réalisés dans d'autres domaines, tels que l'aviation; il n'est pas exclu, d'autre part, que de nouveaux systèmes de transmissions électriques permettent, dans un avenir prochain, de réaliser, avec des poids et encombrements particulièrement réduits, le difficile problème de la liaison, avec les essieux, des moteurs thermiques rapides à vitesse peu variable.

Mais, pour détrôner la locomotive à vapeur classique, tous ces matériels nouveaux, encore en pleine évolution, devront atteindre cette harmonie de structure qui caractérise une machine arrivée à son stade définitif, et, au surplus, pouvoir bénéficier de la construction en série, qui, seule, permet de réaliser économiquement les mécanismes précis des machines modernes.

Ch. TOURNEUR.