

NOTE

SUR

L'APPLICATION DE LA VAPEUR SURCHAUFFÉE
AUX LOCOMOTIVESPar M. Maurice DEMOULIN,
INGÉNIEUR DE LA TRACTION A LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'OUEST.

(Pl. VII et VIII).

Cette note résume un certain nombre de données et de renseignements relatifs à l'application de la vapeur surchauffée aux locomotives. Ils résultent surtout : d'une part, d'observations recueillies au cours d'une mission auprès des *Chemins de fer de l'Etat Italien* et, d'autre part, de l'expérience acquise sur les locomotives 2819-2820 de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*.

APPLICATION DE LA VAPEUR SURCHAUFFÉE
AUX LOCOMOTIVES DE L'ÉTAT ITALIEN.

L'*Administration des Chemins de fer Italiens* comptait à son effectif, au début de 1908, 346 machines du type *Mogul*, compound à deux cylindres, dont 246 (Gr. 600) à roues de 1^m,500 et 100 (Gr. 630) à roues de 1.850, affectées au service des trains de voyageurs. Elles offrent cette particularité de présenter une surface de grille de 2^m246, alors que la surface de chauffe (intérieur des tubes) n'est que de 125^m2; la nécessité de maintenir le poids par essieu accouplé à 15^t au maximum ayant entraîné une réduction un peu anormale de la surface de chauffe ($\frac{S}{s} = 50,4$) et du volume de l'eau dans la chaudière (4^m3150 avec 0^m100 au-dessus du ciel).

D'autre part, les chaudières, timbrées à 16 kg., des machines compound mises en service depuis 1905, ayant demandé un entretien jugé dispendieux, l'abaissement du timbre paraissait désirable.

C'est dans ces conditions que l'Administration italienne décida d'appliquer, à titre d'essai, le

surchauffeur Schmidt à deux lots de machines du même type, mais munies de cylindres égaux. Ces machines constituent la série 640 ; 24 machines, construites par Schwartzkopff, portant les N^{os} 64.001 à 64.024 ont été mises en service à la fin de 1907 ; 24 autres étaient en construction au moment de notre visite (Février 1908). Cette dernière était motivée par l'intérêt que pouvaient présenter, pour l'étude de la surchauffe, des machines construites spécialement en vue de cette application et qui, toutes récentes, devaient comporter les derniers perfectionnements.

Conditions comparatives d'établissement des machines compound et à vapeur surchauffée. — Les machines à vapeur surchauffée G. 640 (Voir Pl. VII et VIII), sont identiques à celles de la série 630, sauf en ce qui concerne les appareils surchauffeurs et les cylindres.

Le tableau ci-dessous résume leurs conditions comparatives d'établissement.

	MACHINES 630 COMPOUND	MACHINES 640 VAPEUR SURCHAUFFÉE
Timbre de la chaudière.....	16 kg.	12 kg.
Diamètre des cylindres.....	430/680 ^{mm}	540 ^{mm}
Course des pistons.....	700 ^{mm}	700 ^{mm}
Diamètre des roues accouplées.....		1 ^m 850
Empatement total.....		6 ^m 750
Surface de grille.....		2 ^m 246
Surface de chauffe directe.....		9 ^m 290
Nombre de tubes de la chaudière.....	203	116 21
Diamètre des tubes de la chaudière.....	45/50 ^{mm}	45/50 ^{mm} 124/133 ^{mm}
Longueur entre plaques.....		4 ^m 000
Surface de chauffe des tubes intérieurs.....	115 ^m 200	98 ^m 240
Nombre de tubes du surchauffeur.....		42
Diamètre des tubes du surchauffeur.....		28/36 ^{mm}
Surface de chauffe du surchauffeur.....		33 ^m 250
Surface de chauffe totale.....	124 ^m 200	141 ^m 280
Volume d'eau dans la chaudière (0 ^m 150 au-dessus du ciel).....	4 ^m 3150	4 ^m 3045
Volume de vapeur.....	1 ^m 3800	1 ^m 3805
Poids à vide.....	49.670 kg.	48.975 kg.
Poids en ordre de marche.....	54.820 kg.	55.020 kg.

Les deux types de machines sont accompagnés d'un tender de 15^m3 à trois essieux pesant à vide 16 t. pour les machines 630 et 13 t. 51 pour les machines 640 et respectivement, en charge, 36 t. et 34 t. 10.

Les machines 640 sont à cylindres intérieurs et à tiroirs extérieurs facilement accessibles (condition particulièrement désirable, pour les locomotives à vapeur surchauffée). Elles sont munies, comme les 630, du bogie-bissel Zara.

Les cylindres ont un volume considérable par comparaison avec le poids adhérent (0^m540 × 0^m700 ; poids adhérent 44 t. 30) ; condition nécessaire avec l'emploi de la vapeur surchauffée vu son poids spécifique plus faible et les pressions initiales réduites qu'il est judicieux d'employer.

Le poids à vide est inférieur à celui des compounds (Gr. 630) mais le poids total en ordre de marche est un peu plus élevé, en raison du plus grand volume d'eau contenu dans la chaudière, par suite de la modification apportée au faisceau tubulaire (environ 800 l. en plus).

Conditions d'établissement des surchauffeurs. — Le surchauffeur et ses accessoires sont du dernier type Schmidt « dans les tubes » comprenant les variantes de détail spéciales aux ateliers Schwartzkopff, constructeurs des machines, et dont la disposition générale, d'ailleurs connue, est clairement indiquée (Fig. 1 à 3). Nous rappellerons qu'il consiste essentiellement en un collecteur, placé dans la boîte à fumée, sur lequel se raccordent 42 tubes en acier étiré sans soudure (Mannessmann) de 28×36 mm de diamètre, disposés en faisceaux-serpentins formant un élément, et placés à l'intérieur de 21 tubes à fumée plus gros que les tubes ordinaires (125 mm de diamètre extérieur) occupant un peu plus de la moitié de la hauteur du faisceau tubulaire et doublement rétreints, de manière à ne présenter qu'un diamètre extérieur de 65 mm du côté du foyer.

Les quatre tubes surchauffeurs de chaque élément sont vissés, du côté du foyer, dans des boîtes en acier, décroisées deux à deux, ayant jusqu'à 15 mm d'épaisseur au centre, dans la partie qui reçoit l'action directe des gaz chauds. A leur partie antérieure, les tubes sont cintrés vers le haut et mandrinés sur une bride unique, en acier, maintenue contre le collecteur par un seul boulon médian passant dans une rainure du collecteur. Une des extrémités débouche dans la partie de ce dernier communiquant avec le régulateur, l'autre avec les orifices reliés aux boîtes à tiroir. Le joint est assuré par une rondelle cuivre-amiante (Cupro-asbest). Les 4 tubes de chaque élément sont maintenus à leur écartement par des entretoises et, à l'intérieur du tube bouilleur, par des cales.

Le centre de chaque élément est placé au-dessus du centre du tube qui le contient, en raison de la couche de suie pouvant s'accumuler sur le fond de ce dernier.

Le coude cintré, réunissant les deux portions du tube formant les branches horizontales d'un même élément, est évasé en dehors du tube bouilleur, de façon à permettre le dégagement facile des produits de la combustion par le milieu du tube bouilleur.

La distance des boîtes arrière à la plaque tubulaire a été déterminée par l'expérience, de manière que la température de la vapeur, à la sortie du surchauffeur, atteigne en moyenne 350° quand la machine fonctionne normalement soit, par exemple, avec une dépression, dans la boîte à fumée, de 90 mm environ.

La partie du collecteur qui reçoit la vapeur surchauffée communique avec les boîtes à tiroir par des tuyaux en acier sans soudure. Des tuyaux en cuivre ne résisteraient pas.

Grâce à la disposition adoptée, chaque élément peut se démonter très rapidement, après le desserrage d'un seul boulon. Toutefois, comme il existe trois éléments dans un même plan vertical, il est nécessaire que l'élément antérieur soit retiré pour permettre de sortir le second et que celui-ci se trouve enlevé pour sortir le troisième. Cette opération ne doit, du reste, être pratiquée qu'exceptionnellement, en cas de fuite d'un tube surchauffeur. Vu la grande épaisseur de ces tubes surchauffeurs et l'active circulation qui s'y produit, ces ruptures ne doivent survenir qu'à de longues échéances.

Les extrémités antérieures des surchauffeurs sont renfermées dans une chambre en tôle placée dans la boîte à fumée. Cette chambre porte, à sa partie antérieure, deux volets à charnières permettant l'obturation complète ou partielle des gros tubes qui renferment les

surchauffeurs pour y supprimer ou régler la circulation des produits de la combustion. Normalement, ces volets n'occupent que deux positions : ils sont ouverts en grand (cas du régulateur ouvert) ; ils sont complètement fermés (cas du régulateur fermé), le déplacement des registres étant produit automatiquement. Le mécanicien peut toutefois modérer le degré de surchauffe en fermant plus ou moins, pendant la marche, ces deux volets, à l'aide d'une manœuvre à main.

Les volets sont maintenus par un contre-poids dans la position de fermeture et leur ouverture est provoquée par un petit cylindre à vapeur placé vers le côté gauche de la boîte à fumée, en relation avec le tuyau de vapeur, en aval du régulateur. Dès que celui-ci est ouvert, la vapeur s'introduit dans ce petit cylindre auxiliaire et ouvre les volets qui restent dans cette position, aussi longtemps que les cylindres reçoivent de la vapeur.

Les cylindres sont intérieurs et les tiroirs extérieurs.

Conditions d'établissement du mécanisme. — Les pistons, à trois bagues, sont supportés par la crosse, sur la glissière, et d'autre part par une contre-tige coulissant dans un guide boulonné au plateau du cylindre, immédiatement en avant du presse-garniture. *Il est de toute nécessité que le corps du piston ne vienne jamais toucher les parois du cylindre.* Les arêtes du corps du piston et des segments ou de leurs rainures sont légèrement arrondies.

Le constructeur avait donné aux souches des pistons des machines 640 un diamètre inférieur de 3^{mm} à l'alésage du cylindre. Ce jeu a été reconnu insuffisant, quelques commencements de grippages s'étant produits et on l'a porté, sur toutes les machines, à 6^{mm}. Depuis lors, on n'a relevé aucun incident.

Le montage du piston et le lignage des guides antérieurs, ainsi que le montage des garnitures de tiges de piston, sont minutieux et doivent être fréquemment vérifiés.

L'État Italien a employé, pour les bagues de ces garnitures de tiges, des machines 640, son métal ordinaire à garnitures qui a donné satisfaction. La composition de cet alliage est la suivante :

Etain	14
Antimoine.....	10
Plomb.....	76
	<hr/>
	100

Les tiroirs, cylindriques, sont à canal, les orifices Trick étant percés dans les segments. Ils n'auraient pas donné une satisfaction absolue, les segments présentent une trop grande épaisseur et manquent d'élasticité ; ils demandent un ajustage parfait. Les dépôts confectionnaient, au moment de notre visite, des segments plus minces en deux ou en trois pièces, formant en réalité autant de segments accolés.

Nous avons examiné les tiroirs de plusieurs machines à vapeur surchauffée et, par comparaison, de machines compound, et les avons trouvés semblables, aucun d'eux ne portant, soit sur les segments, soit sur les chemises, de trace de grippage. Les glaces étaient même assez belles.

Les machines 640 sont munies d'un dispositif recommandé pour les locomotives à surchauffe, tout au moins à cylindres égaux, dont l'emploi ne peut être qu'avantageux d'une manière générale et ne constituant guère une complication supérieure à celle des servo-moteurs et boîtes d'isolement des compounds.

Les deux extrémités de chaque cylindre peuvent communiquer par un conduit d'assez grande section que permet d'obturer un robinet. Celui-ci est fermé, quand le régulateur est ouvert, grâce à un petit cylindre à vapeur analogue à celui commandant les registres du surchauffeur, et qui communique avec les tuyaux de prise de vapeur. Ce cylindre est placé à la partie supérieure, du côté droit de la boîte à fumée. Un contre-poids ramène le robinet dans la position d'ouverture dès que, le régulateur étant fermé, la pression de la vapeur n'agit plus sur son piston. Cette disposition donne une grande liberté d'allure aux machines et rend à peu près inutiles les soupapes de rentrée d'air et de compression dont on a cependant maintenu l'emploi. Une manœuvre à main permet aussi de fermer ou d'ouvrir les robinets de communication.

La hauteur de la tuyère d'échappement présente une importance particulière sur les machines à surchauffe, car elle contribue à déterminer l'intensité de l'appel à travers les tubes inférieurs ou supérieurs, et par conséquent joue un rôle non négligeable dans la détermination du degré de surchauffe. Dans les machines 640, le plan supérieur de la tuyère (fixe : diamètre 0^m,130) correspond sensiblement à l'axe du second élément surchauffeur et cette disposition paraît satisfaisante dans l'espèce, la surchauffe se réglant très automatiquement sur ces machines entre 310° et 350°, suivant la dépression dans la boîte à fumée. Toutefois, pour d'autres types de machines, il pourrait être reconnu nécessaire de relever ou plutôt d'abaisser la tuyère. L'expérience seule peut prononcer.

L'échappement-type Nord donnerait probablement d'autant plus satisfaction sur les machines à surchauffe que la hauteur de la tuyère varie avec sa section.

Mesure des températures. — Les températures sont indiquées par un pyromètre à mercure, à dilatation, présentant au mécanicien un cadran semblable à celui d'un manomètre et monté sur la face de l'abri.

Ces appareils ne sont pas d'un fonctionnement sûr et il est indispensable de les vérifier fréquemment à l'aide d'un thermomètre-étalon. Toutefois, pour un type de machine donné, les mécaniciens acquièrent rapidement une pratique suffisante pour conduire les machines sans l'aide du thermomètre quand ils ont eu, au début, un appareil bien réglé. D'autre part, on doit être assuré, par une expérience préalable, que la température ne peut dépasser 350° dans les conditions de marche les plus dures et les plus longues.

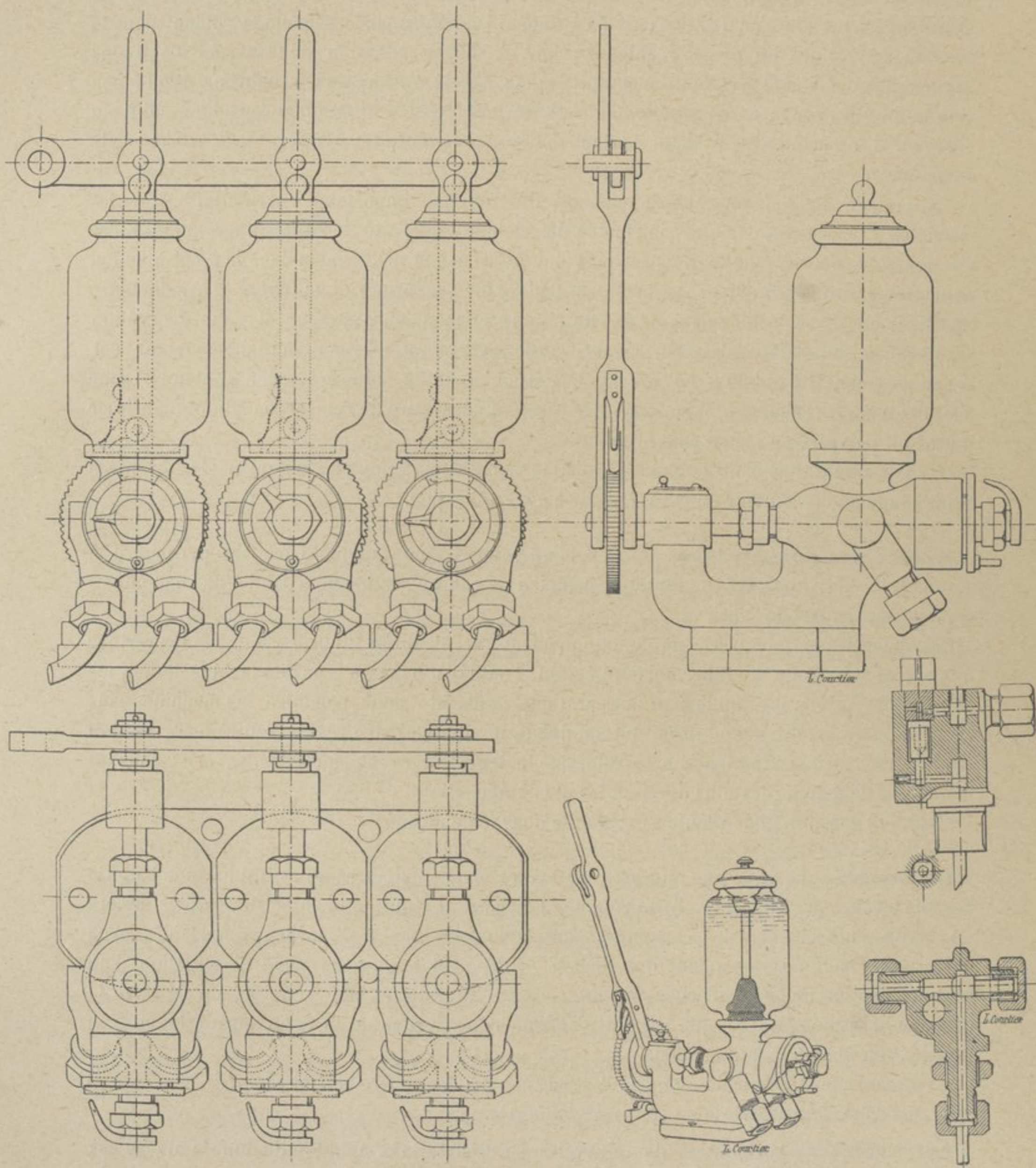
C'est une question intéressante sur laquelle nous reviendrons.

Graissage. — Le graissage intérieur des tiroirs et des cylindres est assuré par une batterie de trois pompes Michalk (Fig. 4), de volume extrêmement réduit, et montée sur la face arrière du foyer, côté chauffeur. Ces pompes sont actionnées par trois leviers réunis au moyen d'une petite bielle, commandant des rochets et dérivant leur mouvement d'oscillation d'un bouton vissé sur la bielle d'accouplement arrière. En retirant une goupille, on débraye la commande mécanique, ce qui permet d'actionner les leviers à la main (avant la mise en marche, au Dépôt, par exemple).

Le mécanisme intérieur des pompes n'est pas connu ; ces appareils sont *plombés et garantis cinq ans* par le fournisseur si on ne les *démonte pas*.

Les pompes sont surmontées de réservoirs en cristal renfermant l'huile dont le niveau est toujours sous l'œil des agents. Les pompes sont en charge et n'aspirent pas. Chacune commande deux départs. Les deux pompes extrêmes (droite et gauche) alimentent chacune un des tiroirs.

Fig. 4. — GRAISSEUR MICHALK.
Disposition d'ensemble. — Vue perspective. — Détails des clapets et pointeaux.



La pompe milieu alimente les deux cylindres. Le réglage s'opère à l'aide d'aiguilles pouvant tourner de 350° environ devant un cadran en bronze portant des crans numérotés de 0 à 8. Au départ, ou quand il peut paraître nécessaire, les aiguilles sont placées au cran 8. En marche, si le fonctionnement est satisfaisant, on les ramène aux crans 5 ou 6.

Les tuyaux de graissage aboutissent : pour chaque tiroir, dans les chemises, au-dessus des conduits de vapeur ; pour les cylindres, sur les plateaux avant. A leur insertion sur les points à graisser, ils sont munis de clapets de retenue, empêchant le retour de vapeur ou la vidange des tuyaux de graissage pendant les stationnements. Contre la boîte de chaque soupape, se trouve une vis de contrôle permettant de s'assurer que l'huile arrive bien aux points à graisser. Cette vérification doit être effectuée assez fréquemment.

Les tuyaux graisseurs sont reliés entre eux par des raccords à vis qui demandent une grande surveillance.

Le graissage des cylindres et surtout des tiroirs offre on le sait une importance de tout premier ordre pour les machines à vapeur surchauffée. Tel qu'il fonctionne sur les machines 640, il est parfaitement automatique et contrôlable, mais cela ne peut dispenser le personnel d'une attention constante.

On peut penser, d'une manière générale, que la crainte d'incidents aux tiroirs porte les agents à exagérer le graissage, ce qui n'a pas pour seul inconvénient d'accroître la dépense de lubrifiant. On est parfois, en effet, amené à constater que l'huile se carbonise en partie dans les boîtes à tiroirs, formant parfois des incrustations assez épaisses sur le corps des distributeurs. A un moment donné, il peut s'en détacher des fragments qui, tombant sur les glaces, donnent naissance à des rayures et peuvent même être l'origine de grippages. Il paraît nécessaire, tout au moins au début, de recommander le fréquent démontage des tiroirs pour s'assurer de l'importance de ces dépôts charbonneux et les gratter à blanc si on en a constaté la production.

Les huiles que l'Administration italienne emploie à titre d'essai donnent toute satisfaction dans les conditions de fonctionnement des locomotives à vapeur surchauffée ; leur point d'inflammation spontanée est à 360° ou au-dessus, suivant les marques. Le prix de ces huiles est assez élevé mais la consommation est faible (8 à 10 gr. par km. pour deux cylindres).

Ramonage. — Les gros tubes renfermant les surchauffeurs doivent être normalement ramonés plus fréquemment que les tubes ordinaires. Les éléments que renferment les premiers constituent, en effet, des obstacles sur lesquels viennent se déposer les escarbilles ou la suie.

Le ramonage des tubes surchauffeurs doit se faire à chaque voyage et, si possible, tous les 150 à 200 km. Il s'opère normalement *du côté du foyer*, les volets de l'étouffoir étant ouverts. Pour éviter un oubli de ce côté, les volets sont reliés à l'intérieur de la porte de la boîte à fumée par une chaîne et s'ouvrent avec cette dernière.

On peut ramoner à la lance ordinaire, à condition que celle-ci soit munie d'un cône de diamètre suffisant pour s'appliquer sur les extrémités des gros tubes de 120 mm. Toutefois, la manœuvre est assez difficile, surtout pour atteindre les tubes du haut. On préfère employer une lance cintrée, à robinet, dont l'extrémité antérieure se termine par une partie sphérique percée de trous de 4 mm. L'effet de cet appareil est plus énergique.

La propreté extérieure des tubes surchauffeurs est un élément important de leur effet utile. On doit veiller particulièrement à empêcher la production de scories qui peuvent venir, sous l'action du tirage, se former et adhérer sur l'arrière des boîtes des éléments.

Fonctionnement. — Le fonctionnement des volets de l'étouffoir est parfaitement automatique. Les registres s'ouvrent dès que la soupape du régulateur est décollée ; ils se referment, presque immédiatement, après que le régulateur est lui-même fermé.

La mise en pression est effectuée avec le faisceau tubulaire inférieur seul ouvert (les registres obturant les gros tubes) et cependant on ne remarque pas une augmentation sensible de sa durée par rapport aux locomotives ordinaires.

Tant que le régulateur n'est pas ouvert, la température ne peut monter dans le surchauffeur. Au début de la manœuvre, le pyromètre indique sensiblement la température de la vapeur saturée à la pression correspondante. Il y a cependant déjà une légère surchauffe initiale, les manœuvres se faisant à une pression aux boîtes à tiroir très inférieure à celle de la chaudière et le surchauffeur étant déjà à une température un peu supérieure à celle de la chaudière. Toutefois, il n'existe aucune trace apparente de surchauffage tant que les tiroirs et cylindres ne sont pas complètement réchauffés et il est à recommander de manœuvrer avec les purges ouvertes pour évacuer toute l'eau produite par la condensation, lors du réchauffage.

La pression à la chaudière étant de 12 kgr. (temp. 190°5), la température indiquée par le pyromètre est en moyenne de 200° dès que le régulateur est ouvert pour le départ, la machine en tête du train. Cette température monte très rapidement. Au bout de dix minutes de marche, avec un train de 200 à 225 t., elle atteint en moyenne 280°, quelques minutes suffisent pour la porter à 300°. Elle monte ensuite un peu moins rapidement, atteint en général 325° après quinze minutes de marche, mais ne dépasse (tout au moins sur les machines accompagnées) 335° à 345° que si la durée de la marche en pleine charge est prolongée au delà d'une demi-heure. Nous n'avons vu l'aiguille du pyromètre que rarement monter à 350° et jamais dépasser ce cran, le mécanicien n'ayant par conséquent pas à modérer à la main, l'ouverture des registres. Toutefois, on ne doit pas oublier que les parcours prolongés sans arrêt, n'existent pas actuellement sur les chemins de fer italiens.

La température s'abaisse très rapidement pendant les arrêts ; si ceux-ci dépassent 3 minutes, la température retombe dans certains cas à 220° et un arrêt plus prolongé la ramène vers 200°. Il semble donc que la surchauffe soit d'autant plus avantageuse et doive donner un rendement d'autant plus élevé que les machines travaillent à pleine charge et sur de longs parcours sans arrêts. On a lieu de croire que l'économie, obtenue sur des machines effectuant normalement des parcours de 100 à 150 km. sans arrêts, serait supérieure à celle relevée sur les machines italiennes, et par conséquent un peu plus grande que celle donnée par le mode compound. D'autre part, la surchauffe semble convenir moins bien aux machines à marchandises à cause de leurs longs et nombreux stationnements. Elle s'appliquerait, au contraire, avantageusement aux locomotives des trains de banlieue dont les arrêts sont trop courts pour permettre un abaissement sensible de la température et faciliterait le démarrage. Les machines à surchauffe du *Métropolitain* de Berlin donnent de très bons résultats surtout pour la mise en vitesse.

Conduite en marche. — La conduite en marche, en ce qui concerne le feu ou l'alimentation, n'offre rien de particulier. On recommande seulement aux agents de fermer graduellement les volets de l'étouffoir quand la température de la vapeur aux boîtes à tiroir dépasse 350°, ce qui ne se produit qu'avec des trains lourds et des arrêts espacés.

En route, il est prudent de ne pas ouvrir la porte du foyer si le régulateur est fermé, sans ouvrir le souffleur, le manque de tirage, en raison de la réduction de section de passage

(les registres de l'étouffoir étant fermés), pourrait occasionner un retour de flammes, vers l'arrière.

La conduite de la machine offre, au contraire, quelques points très spéciaux.

S'il s'agit, comme pour les 640 italiennes, de machines à simple expansion, on doit, en premier lieu, ne pas perdre de vue un point fondamental. Les extrémités extérieures des chemises de tiroirs, en communication avec l'échappement, sont à une température très notablement inférieure à celle de la partie centrale qui reçoit la vapeur surchauffée; leur diamètre est donc un peu moindre (il peut exister 230° de différence entre l'introduction et l'échappement). Après une marche de quelque durée à un cran rapproché du point mort, 25 % par exemple, ce phénomène est très sensible. De plus, la matière lubrifiante a été expulsée de la surface extérieure des chemises, par la petite lame de vapeur qui passe toujours sous les segments, même les plus étanches. Si on vient alors à allonger la marche, par exemple après avoir fermé le régulateur, les segments (d'ailleurs peu élastiques sur beaucoup de machines à vapeur surchauffée) viennent se coincer dans les parties plus froides et mal graissées des chemises, ce qui peut entraîner des grippages. Les cas d'avaries de tiroirs et de chemises relevés au début sont presque toujours provenus de cette cause.

En principe donc, on ne doit, à régulateur ouvert, faire varier la course des tiroirs (par changement de cran) que dans la plus faible mesure (un cran au plus) et, à régulateur fermé, rester au cran de marche, ou mieux ramener la marche d'un demi cran au moins vers le centre, soit normalement au cran 2 1/2.

Dans ces conditions, les soupapes de rentrée d'air ou d'anti-compression sont absolument insuffisantes pour permettre à la machine de courir et empêcher de violents chocs dans les cylindres et les mouvements. Aussi a-t-on jugé nécessaire de munir les cylindres des conduites de communication dont nous avons parlé plus haut, susceptibles d'être fermées par un robinet pour la marche à régulateur ouvert. Sur les machines 640, cette manœuvre est opérée automatiquement, grâce à un petit servo-moteur semblable à celui qui commande les registres de l'étouffoir et en relation avec les tuyaux de vapeur, en aval du régulateur. Sur les machines allemandes, cette manœuvre est, en général, opérée à la main. Je crois pratiquement cette dernière disposition préférable comme étant plus simple. Il est impossible que le mécanicien ne s'aperçoive immédiatement, par l'allure de la machine, si ce robinet est ouvert ou fermé. J'ai d'ailleurs remarqué que la section du cylindre du servo-moteur était un peu insuffisante et qu'il fallait souvent aider à la main.

Dans la marche à régulateur ouvert, on ne fait varier que dans une très faible proportion le le cran de marche. On démarre, comme avec les locomotives ordinaires, au cran maximum, puis on ramène progressivement la marche et on arrête la position des coulisses au point qui devra être adopté pour le reste du parcours, en ayant soin de ne jamais revenir, avant l'arrêt, à un cran plus allongé, à moins d'absolue nécessité. On règle la vitesse ou le travail à produire par une ouverture proportionnée du régulateur, en faisant varier la pression à la boîte à tiroir. En somme, à moins d'un train léger et peu rapide, on marche normalement, entre les crans 3 et 4 (correspondant à des introductions théoriques de 0,30 et 0,40). Dans ces conditions, la pression à la boîte à tiroir varie de 3 k.,5 à 8 k. environ, suivant le profil, la charge ou la vitesse. J'ai constaté un maximum de 8 k. en rampe de 10^{mm} (longueur 13 km.) avec une charge de 225 t.; cran de marche 3,5; vitesse moyenne sur la rampe 45 km/h. dans les conditions, le travail au crochet de traction était de 400 chevaux (un fourgon-dynamomètre était attelé à ce train).

Ce genre de marche a été adopté en général pour les machines à vapeur surchauffée.

Le degré d'expansion ne varie qu'entre d'étroites limites, pour des pressions d'admission très différentes. La pratique aurait montré que ce mode de fonctionnement était le plus sûr en même temps que le plus économique. Etant donnée une température maximum qui ne peut être dépassée (350°) la surchauffe est d'autant plus grande que la pression initiale est moindre. La vapeur à 12 kg. est, à 350°, surchauffée de 159°,5; si elle n'est qu'à une pression de 4 k.,5 à la boîte à tiroir la surchauffe est de 203°. La suppression plus complète, dans ce dernier cas, des condensations intérieures au cours du cycle, semble compenser et au-delà, la réduction du degré de détente. En réalité, dès que la température initiale de la vapeur dépasse 330° environ, on marche avec du gaz et il ne se produit aucune condensation apparente dans les cylindres si le rapport de détente ne dépasse pas 1/3 à 1/4. Le panache de vapeur d'échappement est alors invisible même en hiver.

Une fois arrêté, et *seulement alors*, le mécanicien allonge la marche aux crans extrêmes pour le démarrage.

Résultats obtenus en service. — Les machines 640, d'ailleurs suivies avec beaucoup de méthode et de soin, étaient, lors de notre visite, en service depuis une période trop courte pour que l'on puisse donner, en ce qui les concerne, des chiffres de consommation définitifs ou tout au moins officiels. Toutefois on est autorisé à estimer que, pour ces machines à deux cylindres égaux, la consommation de combustible est plutôt un peu inférieure à celle des compounds similaires et que la dépense d'eau est de 20 à 25 % moindre. L'augmentation de puissance est estimée à peu près à la même valeur que l'économie d'eau. De fait, ces machines reçoivent déjà des surcharges réglementaires de 10 % et les mécaniciens acceptent, en plus, des surcharges de 40 t. au moins aux trains directs, par exemple 304 t., au lieu de 240 t. pour les compounds.

APPLICATION DE LA VAPEUR SURCHAUFFÉE AUX LOCOMOTIVES TYPE 2.700 DE LA COMPAGNIE DE L'OUEST.

La *Compagnie de l'Ouest* a mis en service, au commencement de 1908, deux locomotives à grande vitesse (2819-20) compound à quatre cylindres, de la dernière série construite, à six roues accouplées et à bogie, auxquelles le surchauffeur Schmidt du plus récent modèle a été adapté à titre d'essai (1). Cette application est intéressante en raison de la complète similitude des machines à vapeur surchauffée et du type ordinaire. Les seules modifications apportées aux premières étant celles qui découlent nécessairement de l'emploi de la surchauffe et l'accroissement de diamètre donné aux cylindres H P. Le timbre n'a pas été abaissé, ce qui rend la comparaison encore plus complète.

Conditions d'établissement. Détails de construction. — Le surchauffeur offre les mêmes dispositions que celui des machines précédentes, nous n'avons donc pas à y revenir, sauf en ce qui a trait à quelques différences de détail conformes à la pratique des constructeurs, MM. Henschell.

(1) Voir *Revue Générale*, n° de juillet 1908, page 60.

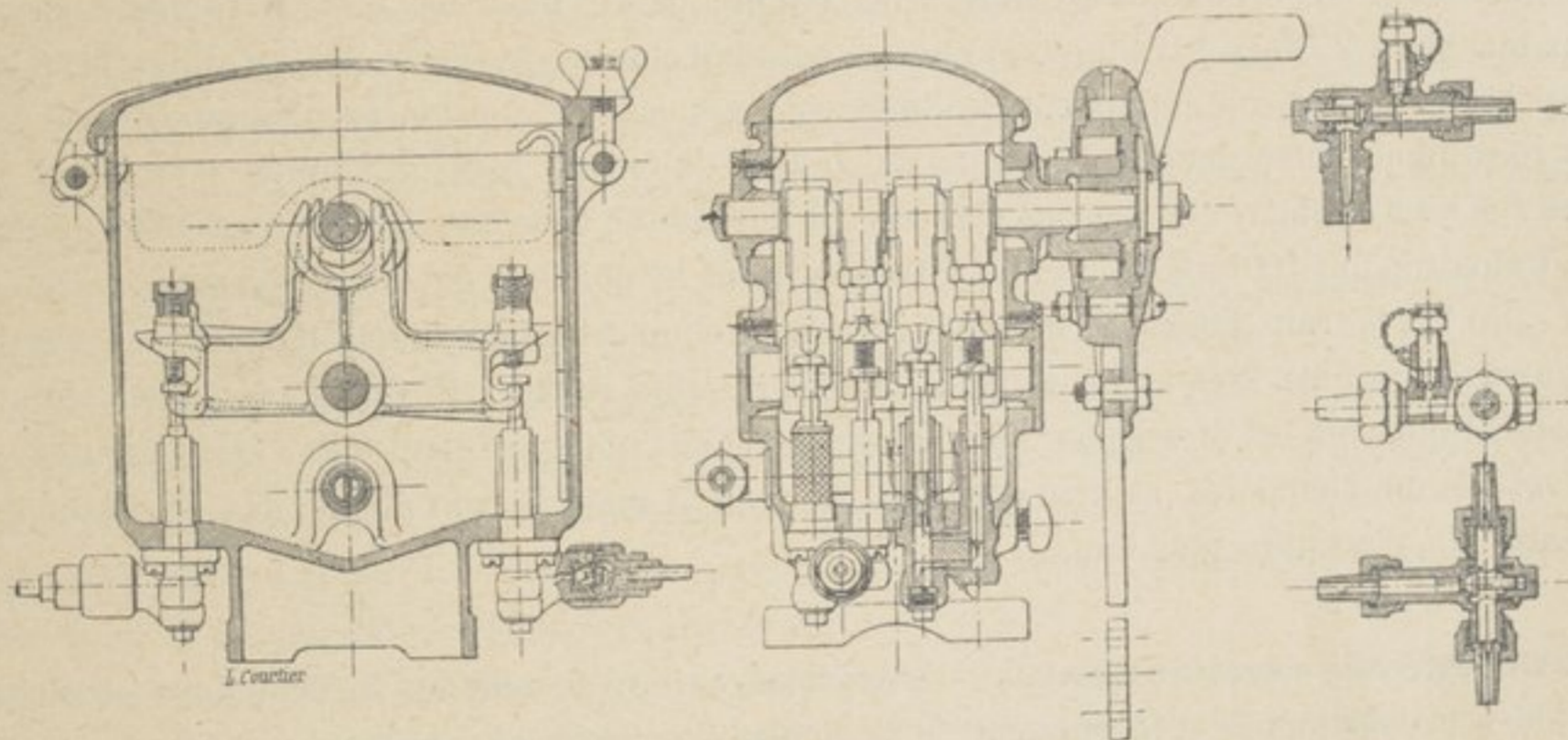
Le cylindre du servo-moteur commandant les volets est placé verticalement du côté droit de la boîte à fumée. Les graisseurs des cylindres sont du type Friedmann et placés de part et d'autre sur le tablier dans le voisinage des cylindres H P. Les cylindres ne comportent pas de conduits de communication, peu nécessaires sur les compounds, comme nous le verrons. Les pyromètres livrés avec les machines étaient du type à mercure et à dilatation comme ceux des machines italiennes bien que provenant d'un fournisseur différent. Ils ont été remplacés, au cours des essais, ainsi que nous le mentionnerons plus loin, par des thermomètres Fournier.

Les tiroirs sont cylindriques et comportent un seul segment; l'admission s'opère par les arêtes intérieures. Les pistons sont à trois bagues et disposés de telle sorte que les souches ne touchent pas le corps du cylindre même après une certaine usure; ils sont supportés, par la crosse d'une part, et par une contre-tige couissant dans un guide boulonné au couvercle du cylindre, d'autre part. Les garnitures métalliques sont du type spécial des machines à surchauffe, et à déplacement latéral.

Les cylindres sont munis de soupapes de sûreté et de rentrée d'air, du type usuel de la Compagnie.

Chacun des graisseurs, placé sur le tablier, du côté du cylindre H P qu'il dessert, comporte 4 départs (Fig. 5) le refoulement de l'huile étant assuré, pour chacun d'eux, par deux petits plongeurs à course réglable dits, l'un distributeur, l'autre compresseur. L'huile est en charge.

Fig. 5. — GRAISSEUR FRIEDMANN.



Le mouvement des pistons est dérivé d'un organe de la distribution. On peut faire fonctionner l'appareil à la main, grâce à une poignée extérieure; cette opération est nécessaire soit au début, soit après un arrêt prolongé, de manière à assurer le remplissage complet de la tuyauterie (diamètre intérieur 5^{mm}) — une cinquantaine de tours sont nécessaires par mètre de longueur, la tuyauterie étant supposée vide — soit même après des arrêts dépassant une heure, 9 à 10 tours de manivelle suffisent alors.

Les quatre départs de chaque graisseur aboutissent: un sur chacune des chemises de tiroirs H P, en haut; un dans la garniture de la tige du tiroir; un au milieu du cylindre sur la génératrice du plan médian horizontal. Les points d'insertion comprennent des clapets de retenue et des pointeaux d'essai.

Les organes intérieurs B P sont lubrifiés à l'aide d'un appareil à déplacement (type Détroit) à 4 départs, aboutissant : un à chaque tiroir ; un à chaque cylindre.

On emploie l'huile spéciale à surchauffe coûtant 70 fr. les 100 kg., pour les cylindres H P et de l'huile ordinaire (Mazout) pour le graisseur à déplacement des tiroirs B P.

Nous donnons ci-dessous les éléments principaux de ces locomotives (2819-20) concurremment avec celles des machines ordinaires de la même série.

	MACHINES 2771 — 2818	MACHINES 2819 — 2820
Timbre de la chaudière.....		15 ^k
Diamètre des cylindres H P.....	0 ^m ,350	0 ^m ,380
Diamètre des cylindres B P.....		0 ^m ,550
Course commune.....		0 ^m ,640
Diamètre des roues accouplées.....		1 ^m ,940
Empattement total.....		8 ^m ,22
Surface de grille.....		2 ^m 2,80
Surface de chauffe totale.....	206 ^m 2,71	191 ^m 2,00
Surface de chauffe du surchauffeur.....	»	37 ^m 2,50
Poids en ordre de marche.....	»	69 ^t ,70

Essais effectués. — Les machines 2819-20 ont été tout d'abord soumises à des essais pratiques aussi rigoureux que possible. Elles ont été placées dans les mêmes roulements que deux machines 2700 en parfait état ; elles recevaient toutes le même combustible (brique de d'Aniche) pesé avec soin, et étaient conduites par des agents considérés comme équivalents. Ces roulements comprenaient des trains de poids et de vitesse assez différents pour fixer les idées sur les avantages que pouvait présenter la surchauffe dans des circonstances déterminées. Les trains rapides 1001-1002 de Paris à Dieppe (dont le poids a été successivement porté de 250 à 370 t.) ; le train direct 127 de Paris au Havre, comportant des arrêts très fréquents et des démarrages rapides, la marche en étant serrée ; le train rapide 102 du Havre à Paris. Toutes les précautions ont été prises pour que les résultats ainsi obtenus soient tout à fait comparables. Les relevés ont été opérés méthodiquement, du 8 au 31 mai ; ils ont donné des résultats très intéressants, consignés plus loin.

Efficacité des surchauffeurs. — L'expérience indique que les surchauffeurs employés sont bien proportionnés et fournissent la vapeur aux cylindres à une température voisine de 350°, maximum imposé par la nature des huiles de graissage, quand le travail atteint sa valeur normale en pleine marche. Cette température, avec un train de 300 t. environ, en palier, est obtenue après 18 à 20 minutes de marche à régulateur ouvert. Le panache devient invisible, pour une température extérieure de 10° à 12°, quand la température de la vapeur atteint de 310° à 330° (H P) et environ 215° à 230° (B P). Avec la charge et le combustible indiqués, il était rarement nécessaire de fermer les volets de Paris à Rouen (144 km.) ; d'ailleurs la manœuvre de l'échappement peut permettre d'y parer dans une certaine mesure. Il est toutefois à remarquer que les volets étaient souvent manœuvrés avant l'application des thermomètres Fournier, les appareils à dilatation employés étant en avance de 40 à 45°.

Etant donnés les rapports des volumes des cylindres ($v = 2,09$ seulement en raison de l'accroissement de diamètre donné aux cylindres HP) on a adopté en général, pour ces trains,

la marche aux crans 0,50 BP et 0,65 BP, la pression initiale aux tiroirs HP variant de 8 à 12 kg. pour un train de 360 t. aux vitesses de marche comprises entre 85 et 105 kilomètres-heure. La surchauffe initiale maximum était donc respectivement de 176° et 159°,4.

La *Compagnie de l'Ouest* a très heureusement complété cet essai par la mesure des températures HP, à l'aide d'un simple thermomètre à mercure. On a été ainsi amené à constater que la température au receiver montait rapidement après le démarrage et pouvait atteindre 228° (maximum relevé) après quelque temps de marche, pour une pression de 2 k. 70 (température 128°) soit une surchauffe de 100°. Dans ces conditions, la vapeur est encore légèrement surchauffée à l'échappement BP.

Résultats obtenus. — L'économie de combustible réalisée par les machines 2819-2820 a été de 13,2 à 14,8 % pour les trains 1001-1002 entre Paris et Dieppe et l'économie d'eau de 20 % soit 18^l,5 par km., par rapport aux compounds similaires 2796-2818, suivant que le poids du train variait de 260 à 360 t. L'augmentation de puissance, qui fera l'objet d'essais ultérieurs, n'a pu être qu'évaluée ; elle semble nettement supérieure à 15 %.

Il est nécessaire de remarquer que les chiffres d'économie relatés ci-dessus sont certainement des maxima, obtenus dans les conditions de profil et de marche les plus favorables, et avec un personnel de choix. Nous ne pensons pas qu'en service il faudrait compter sur une économie de combustible supérieure à 10 %, mais la réduction de la dépense d'eau et l'accroissement de puissance peuvent se maintenir entre des mains moins expertes.

La consommation d'huile à cylindres a été en moyenne de 10 gr. par km. pour les cylindres HP. (huile spéciale) et de 6 gr. par km. (huile ordinaire) pour les BP, soit en tout 12 gr. alors que les machines ordinaires consomment en moyenne 12 gr. par km., d'huile ordinaire à cylindres.

L'excellent graissage intérieur (non seulement par l'abondance du lubrifiant mais par sa répartition logique) des machines à surchauffe, nécessité du système, n'est peut-être pas étranger, au moins dans une petite proportion, aux économies relevées. Il serait intéressant de rechercher, par quelques applications peu coûteuses, quel bénéfice un graissage analogue pourrait donner sur une locomotive ordinaire à quatre cylindres.

D'autre part, en ce qui concerne les machines à surchauffe, l'expérience montrera probablement qu'il est possible de réduire le graissage.

La marche HP n'était jamais allongée après fermeture du régulateur pour éviter les inconvénients signalés plus haut ; on allongeait seulement la marche BP. Il résulte de la pratique acquise que les compounds ne nécessitent pas les conduits de communication, très utiles sinon indispensables sur les machines à simple expansion. Les écarts de température sont en effet moindres dans chaque groupe de cylindres entre l'admission et l'échappement et le faible diamètre des cylindres HP permet de fonctionner à régulateur fermé sans allonger la marche au-delà du cran d'admission normal qui n'a pas été inférieur à 0,50.

Les machines 2819-20 n'ont nécessité aucune précaution spéciale pour le ramonage, effectué après chaque voyage (Dieppe 201 km. ; Havre 228 km.) par l'avant pour les tubes inférieurs, par l'arrière pour les tubes aboutissant dans l'étouffoir, avec la lance à papillon. On s'est servi, tantôt de la vapeur, tantôt de l'air comprimé.

REMARQUES GÉNÉRALES ET RÉSULTATS OBTENUS

Observations relatives aux conditions d'établissement des appareils. — Les dispositions adoptées sur les machines italiennes et françaises précédemment examinées, représentant le résultat d'une expérience déjà étendue, constituent un ensemble qu'on a tout lieu de croire sinon définitif, du moins robuste et d'entretien peu dispendieux, en ce qui concerne les surchauffeurs proprement dits, tout au moins.

L'épaisseur des tubes surchauffeurs, comparativement à leur diamètre, semble une garantie de durée. Même observation pour les boîtes, qui ont 15^{mm} d'épaisseur au point où frappent les gaz chauds.

Les tubes surchauffeurs se recouvrent intérieurement d'incrustations ou de dépôts, provenant de l'eau entraînée, particulièrement près de l'orifice d'amont ; l'utilisation du surchauffeur doit ainsi décroître à la longue et la section de passage diminuer mais les pertes de charge sont peu à redouter, à moins de prendre une importance exceptionnelle, car il faut toujours laminer avec le régulateur. En tout cas il est regrettable que les tubes surchauffeurs ne soient pas disposés pour des visites et nettoyages intérieurs, fréquents et faciles, et c'est surtout de ce côté qu'aura à s'exercer l'ingéniosité des inventeurs.

Quelles que soient l'épaisseur et la résistance des éléments surchauffeurs, leur durée ne peut être indéfinie et on est en droit de se demander, vu l'inaccessibilité de leurs parties internes, quels indices doivent fixer sur leur degré d'usure et la nécessité de leur remplacement. Dans l'incertitude où se trouveront les agents des dépôts à cet égard, il est à craindre que, même après des visites externes sérieuses, l'usure complète d'un tube surchauffeur ne soit révélée que par sa crevaison en marche. De tels incidents ne surviendront probablement qu'à de longues échéances, mais ils se produiront fatalement et l'on ne voit guère d'autre moyen de les prévenir que le remplacement périodique des éléments, à des intervalles assez rapprochés pour que l'usure ne les ait affaiblis dans une proportion susceptible de compromettre leur sécurité. Une telle mesure deviendrait toutefois onéreuse si on la poussait à l'extrême. Il serait intéressant de connaître à cet égard les résultats des Administrations employant depuis quelques années des locomotives à vapeur surchauffée comme l'*État Belge* ou l'*État Prussien*.

Pour réduire les corrosions extérieures, on pourrait recommander le ramonage à l'air comprimé, mais c'est, dans la pratique journalière, une sujétion réelle. Ce ramonage peut s'opérer soit au moyen de prises d'air sur des canalisations (pour les Dépôts possédant des outils pneumatiques) soit en utilisant, comme sur les locomotives de la C^{ie} de l'Ouest, à l'aide de raccords spéciaux, l'air comprimé du frein.

Les surchauffeurs, soumis à des variations fréquentes, brusques et importantes de température, sont à libre dilatation et indépendants des chaudières, conditions essentielles pour réduire soit leur propre fatigue, soit celle des chaudières ; leur disposition est donc rationnelle. Leur emploi a toutefois nécessité une modification du faisceau tubulaire composé de tubes de diamètres et de raideur très différents. Il ne semble pas, à notre connaissance, que cette disposition ait jusqu'ici entraîné une fatigue particulière des plaques tubulaires, mais une expérience prolongée pourra seule fixer les idées à cet égard.

Il est également à noter que la disposition relative au calage des éléments surchauffeurs dans les gros tubes du faisceau, n'est pas à l'abri de tout reproche. Elle entraîne une fatigue locale

de ces tubes aux points de contact des supports, amenant, à la longue, paraît-il, des crevaisons.

Le graissage, tel qu'il est réalisé sur les machines que nous venons d'examiner et la disposition des organes du mécanisme semblent donner une garantie suffisante contre les grippages de tiroirs et de pistons, malgré les conditions défavorables où ils se trouvent dans les machines à vapeur surchauffée. On doit, en effet, remarquer que la température élevée de la vapeur n'est pas seule à considérer au point de vue du fonctionnement des organes intérieurs du mécanisme. La valeur et la variation rapide et fréquente des écarts de température accompagnant l'emploi de la surchauffe ont peut-être une action plus marquée. Avec la vapeur saturée, quand la pression aux boîtes à vapeur passe de 10 à 14 kgr. par exemple, ou inversement, la température ne varie que de 14° environ. Dans la machine à surchauffe, la température de la vapeur d'admission subit des variations de 150° dans l'espace de quelques minutes. Il n'est pas besoin d'insister sur les phénomènes de dilatation ou de contraction, ces derniers produits irrégulièrement sur différents points des boîtes à tiroir ou des cylindres, et des risques qui peuvent en résulter en cas d'une négligence dans le montage, l'entretien ou la conduite. En cours de route, on doit éviter, dans la mesure du possible, les causes pouvant entraîner une variation de la température de la vapeur en aval du surchauffeur.

D'autre part, entre certaines limites, la température de la vapeur varie automatiquement, avec le travail à développer et la dépression dans la boîte à fumée; il se produit ainsi, même en marche normale et en vitesse, des écarts de température pouvant s'élever à 60 ou 80°, mais ne dépassant guère, en pratique, 40 à 50°, à moins qu'il ne soit nécessaire de fermer complètement ou partiellement le régulateur pour une période assez longue.

Observations relatives à la conduite. — La conduite des machines à vapeur surchauffée n'offre aucune difficulté spéciale; elle nécessite seulement que l'attention des agents soit attirée sur quelques points particuliers signalés plus haut.

En ce qui concerne les machines à cylindres égaux, il n'y a plus, avec la surchauffe, qu'un genre de marche analogue à celui que M. Desdouts préconisait pour les locomotives ordinaires; un cran d'admission à peu près fixe pour un type de train donné, avec variation de la pression aux boîtes à vapeur par le régulateur. On recommande même, quand la valeur du travail à produire le permet sans trop accroître les introductions, de marcher avec une pression initiale assez réduite afin d'obtenir une surchauffe initiale plus grande. En outre, la simple expansion produite par coulisse ne permet pas de détendre suffisamment la vapeur à une pression élevée à l'admission. On perd moins en laminant davantage avant l'admission et en surchauffant un peu plus.

Le même type de fonctionnement s'applique aux compounds, toutefois dans une mesure un peu moins absolue et il semble recommandable d'accroître les introductions dans la proportion correspondante. Il est utile, pour éviter les incidents du côté des tiroirs, de ne pas allonger la marche HP à régulateur fermé, argument de plus en faveur des grandes introductions à régulateur ouvert, les cylindres n'étant pas munis de conduits de communication.

Quant à la température de la vapeur, les agents n'ont à s'en préoccuper qu'en ce qui concerne le maximum toléré (350°) avec les huiles ordinairement usitées. Ils doivent manœuvrer les volets de l'étouffoir en temps voulu et quand il est nécessaire en suivant les indications du pyromètre.

Les agents doivent s'assurer du bon fonctionnement des appareils de graissage des tiroirs et de l'étanchéité de leurs tuyaux.

Mesure des températures. — La mesure des températures est une vérification essentielle du bon fonctionnement des appareils de surchauffe et de leur efficacité, en même temps que de la sécurité du fonctionnement. Aussi ne saurait-on apporter trop d'attention à son évaluation exacte.

Les thermomètres à mercure, à dilatation, même compensés, ordinairement fournis avec les locomotives à vapeur surchauffée, sont insuffisants à cet effet. Ces appareils sont délicats et facilement déréglables : leurs indications ne peuvent être considérées comme sûres, même peu après un réglage. Ils ont d'ailleurs une tendance à indiquer des températures trop élevées, leur capacité intérieure étant plutôt sujette, par l'effet des chocs, à diminuer qu'à augmenter. En cas de fuites, au contraire, ils se trouvent déréglés en moins.

Pour remédier à cet inconvénient, très sérieux en ce sens qu'il ne permet pas une base d'appréciation rigoureuse de la surchauffe réellement obtenue, la *Cie de l'Ouest* a appliqué à ses machines à surchauffe les thermomètres Fournier, à tension de vapeur saturée, dont les indications sont indépendantes du volume occupé par le fluide renfermé dans le thermomètre, propriété qui permet à ces appareils d'être à peu près indéréglables. Ils sont, en outre, très sensibles.

Avantages constatés. — Les avantages de la surchauffe, constatés par la pratique, sont conformes aux indications de la théorie. Ils peuvent se résumer comme suit :

Abaissement du timbre. — L'abaissement du timbre, sans réduction du rendement ni de l'élasticité, doit être considéré comme un des avantages les plus intéressants du système, susceptible de se traduire par une diminution importante des frais d'entretien des chaudières.

Dans les dispositifs du type envisagé dans cette note, toutes les parties du surchauffeur, soumises à une température élevée, sont à libre dilatation, simples, fractionnées et montées de manière à rendre leur remplacement facile.

Le principe de la surchauffe est en lui-même rationnel : il consiste à communiquer à la vapeur une température de 300° à 350° (entraînant la suppression des condensations intérieures au cours du cycle) *en dehors de la chaudière proprement dite* où la température peut ne plus dépasser 190°. C'est en réalité un chauffage en cascade, diminuant la fatigue du générateur proprement dit, beaucoup plus compliqué et coûteux.

Economie de combustible. — L'économie de combustible est, pour les machines à simple expansion, du même ordre que celle obtenue par le compoundage. Elle peut, comme nous l'avons vu pour les machines de la *Compagnie de l'Ouest*, dépasser très nettement 10 % même quand la surchauffe est appliquée à des machines compound. L'économie donnée par le système croît avec le travail à produire, et la surchauffe semble devoir donner des résultats d'autant plus marqués que les machines sont plus poussées, peut-être en grande partie parce qu'alors, elles entraînent plus d'eau.

Economie d'eau. — La dépense d'eau est moins élevée, de 20 à 25 %, soit que l'on compare des machines à surchauffe, à simple expansion ou compound, à des machines compound similaires. Cette économie provient de deux causes : d'abord et surtout la vaporisation de l'eau entraînée dans les éléments surchauffeurs, ensuite la meilleure utilisation de la vapeur et la suppression des condensations intérieures.

Il est toutefois nécessaire de ne pas perdre de vue que le rendement de la vapeur surchauffée ne dépend pas que de considérations théoriques et se trouve dans le *rapport le plus étroit* avec l'étanchéité des tiroirs et des pistons.

Les avantages peuvent entièrement disparaître si les tiroirs présentent des fuites importantes; toutefois, les résultats donnés par les machines précitées ont été obtenus avec des tiroirs dont l'étanchéité paraît tout-à-fait comparable à celle des distributeurs cylindriques des locomotives ordinaires. La surveillance doit être, en tous cas, plus étroite pour maintenir cette étanchéité.

Tous les tiroirs cylindriques, même les mieux ajustés, donnent lieu à des fuites, surtout avec la vapeur surchauffée vu sa grande fluidité, et les avantages recueillis seraient plus grands si on pouvait munir les machines de distributeurs parfaitement étanches et susceptibles de rester tels. C'est pourquoi on peut croire qu'une distribution par soupapes, bien adaptée aux conditions de marche des locomotives, simple et de fonctionnement sûr, si on peut la réaliser, permettrait d'utiliser à son maximum les avantages de la surchauffe et surtout de maintenir en service le rendement près de sa valeur maximum.

Actuellement, avec les tiroirs cylindriques employés, le rendement satisfaisant et même le fonctionnement des machines à surchauffe sont à la merci d'une négligence des agents: graissage défectueux; marche à régulateur fermé dans des conditions non réglementaires pour ces machines; oubli de certaines prescriptions; manque de soins dans le montage des pistons, etc. En un mot, ces machines peuvent être considérées comme moins rustiques que les locomotives ordinaires.

Augmentation de puissance. — La réduction de la surface de chauffe mouillée pourrait faire craindre a priori une diminution de la production. L'expérience indique, au contraire, un accroissement de puissance incontestable et qui semblerait, par rapport aux machines compound, identiques sous tous les autres points, avoir sensiblement la même valeur que l'économie d'eau, soit 20 % en moyenne.

C'est probablement le plus grand avantage du système, l'amélioration du régime économique étant généralement reconnue, pour les locomotives, à grande vitesse principalement, comme plus avantageux par l'excédent de puissance qu'il est possible d'obtenir d'une machine de capacité donnée, que par l'économie brute réalisée.

Suppression des entraînements d'eau. — Les surchauffeurs permettent de marcher avec un niveau très haut, à plein tube, sans aucune projection d'eau aux cylindres, même avec une ouverture assez brusque du régulateur. Si l'entraînement se produit, il en résulte simplement un abaissement de la température aux boîtes à tiroir. Cet abaissement, quand il se manifeste soudainement sans cause apparente, est d'ailleurs un indice certain de projections.

La marche avec un niveau élevé, sans primage, donne une plus grande élasticité et facilite la conduite. D'autre part, il y aurait lieu de craindre, si ce genre de marche était prolongé plus qu'il n'est nécessaire, la production d'incrustations dans les éléments surchauffeurs.

Remarque sur l'effet utile des surchauffeurs. — Le bénéfice donné par la surchauffe, sous forme d'économie de combustible ou d'eau comme d'accroissement de puissance, ne peut être fixé à un taux absolu ou invariable, même avec un charbon de qualité uniforme et de bons agents. Il dépend, dans une grande mesure, du genre de service effectué et du profil.

Nous avons vu, plus haut, que la surchauffe était surtout recommandable pour les longs

parcours sans arrêts ou, au contraire, pour les services de banlieue, à arrêts fréquents mais trop courts pour que les refroidissements aient le temps de se manifester d'une manière sensible. Elle ne s'adapte pas aussi bien aux services comportant des arrêts rapprochés et prolongés.

De même, puisque l'on doit estimer que les avantages de la surchauffe sont les plus grands lorsque la température de la vapeur d'admission *reste* voisine du maximum, il convient de penser que les lignes de niveau, celles ne comportant pas de rampes ou de pentes supérieures à 4 ou 5^{mm}, conviennent surtout aux locomotives à vapeur surchauffée dont le régime est alors plus constant. Sur les lignes en dents de scie, où les rampes et les pentes de 8 à 12^{mm} par exemple se succèdent presque continuellement, et sans interposition de paliers d'une certaine longueur, la température de la vapeur subit, par suite de la fermeture fréquente du régulateur, en pentes, des variations importantes et intermittentes qui ne sont pas favorables au rendement. Une machine à vapeur surchauffée, devant monter une rampe de 10^{mm} immédiatement précédée d'une longue pente de même valeur, se trouvera dans des conditions défavorables. Le régulateur ayant été fermé pendant un temps appréciable, la surchauffe sera à peu près nulle au début, pour n'atteindre sa valeur normale qu'en haut de la rampe (à moins que celle-ci ne soit longue) alors qu'elle n'est plus nécessaire surtout si une pente se présente immédiatement. C'est sur la ligne facile de Paris à Rouen que l'économie exceptionnelle des machines de l'Ouest a été constatée.

Visite et entretien. — L'expérience ne permet pas encore d'estimer, même très approximativement, la proportion dans laquelle les avantages de la surchauffe peuvent être contrebalancés par une augmentation des frais d'entretien. La question reste presque entièrement ouverte et l'avenir y répondra. Toutefois, si les arguments ne manquent pas pour estimer, de certains côtés, un accroissement de ces frais, il est équitable de signaler que d'autres particularités du système permettent de conjecturer une diminution. Nous citerons, comme tels, l'abaissement du timbre et la possibilité (en dehors des questions d'équilibrage et de division des efforts, lesquels ne nous semblent présenter tout leur intérêt que pour les machines à grande puissance) d'obtenir un rendement aussi élevé avec deux cylindres égaux qu'avec des compounds symétriques. La simplification du mécanisme pouvant en résulter est un avantage qu'il convient de mettre en ligne.

D'autre part, le compoundage conserve ses avantages économiques dans *des conditions d'entretien que la surchauffe ne saurait admettre*, l'étanchéité aussi complète que possible des organes internes étant une nécessité pour cette dernière. Une conduite peu judicieuse des compounds, par exemple l'emploi de crans de marche irrationnels, n'a d'autre inconvénient que d'abaisser un peu le rendement, tandis qu'une négligence des agents, l'inobservation de certaines prescriptions peuvent occasionner des incidents ou des détresses avec la vapeur surchauffée. Nous n'avons été à même d'en constater aucun il est vrai, mais l'expérience actuelle ne nous permet pas de préjuger des résultats qui seraient obtenus avec un personnel de seconde ligne. Il serait donc prématuré d'envisager la généralisation, tout au moins à court terme, d'un système que ses avantages spéciaux, comme ses sujétions, semblent, pour le moment, encadrer dans des limites bien définies.

L'impression très nette que l'étude de la question nous a laissée est que la surchauffe, pour donner tous ses avantages et présenter une immunité à peu près complète contre les risques

d'incidents, est inséparable d'une appropriation bien définie de la machine à son emploi : l'accroissement de diamètre des cylindres, l'adoption de tous les accessoires et dispositions de détail recommandés. Enfin le mode de conduite ne sera pas laissé à l'initiative des agents et devra également être approprié. Faute de quoi les résultats ne seront ni concluants ni complets.

Tout en reconnaissant très impartialement l'ingéniosité déployée par les promoteurs du système et les excellentes proportions des organes, réellement mis au point, l'attention doit être appelée sur certains perfectionnements actuellement désirables. Au premier chef, nous indiquerons l'intérêt qu'il y aurait à disposer le faisceau des tubes surchauffeurs de manière à assurer sa visite et son nettoyage intérieurs dans les mêmes conditions de facilité que sur les chaudières aquatubulaires à gros tubes. On peut suggérer aussi le renflement des tubes surchauffeurs, au droit des filetages, pour éviter l'affaiblissement résultant de la découpe du filet. Le calage des éléments dans les gros tubes serait aussi à modifier pour éviter la fatigue locale et l'usure de ces derniers.

L'emploi de la surchauffe aura fait un grand pas quand les distributions à soupapes auront été appropriées à la locomotive, dans les conditions indispensables de simplicité et de rusticité. Elles peuvent seules, croyons-nous, assurer avec permanence l'étanchéité particulièrement indispensable pour la bonne utilisation de la vapeur surchauffée, en même temps qu'elles permettent l'accroissement de la détente en monocylindres et diminuent l'importance d'un graissage parfait.

Application au mode compound. — Si on considérait uniquement la vapeur surchauffée au point de vue de son utilisation dans les cylindres, on pourrait penser que la surchauffe et le compoundage, constituant deux artifices du même ordre, leur superposition n'est pas appelée à donner un bénéfice très supérieur à celui de leur emploi isolé, tandis que les complications, propres à l'un et à l'autre système, s'ajoutent sans restriction. En outre, le maintien du timbre à 15 ou 16 kg. prive la surchauffe d'un de ses avantages principaux et, la température maximum étant limitée à 350°, la valeur de la surchauffe initiale se trouve ainsi un peu réduite.

Quelle que part de vérité que puisse contenir ce raisonnement, les résultats donnés par les machines 2819 et 2820 de la Compagnie de l'Ouest ont indiqué nettement que l'on pouvait réduire, par l'emploi de vapeur surchauffée, et dans les conditions les plus favorables, la consommation des machines compound dans la proportion de 14 % et une telle économie n'est pas obtenue par la même application à une machine à cylindres égaux. La combinaison des deux systèmes semble donc donner le maximum de rendement que l'on puisse espérer. L'expérience ultérieure indiquera si l'économie un peu moindre relevée sur les machines à cylindres égaux compense ou non la simplification du système.

Nous devons noter en tous cas que le compoundage présente, au point de vue de la vapeur surchauffée, un avantage incontestable consistant dans la réduction des chutes de température à l'intérieur des tiroirs et cylindres. On a relevé sur les machines 2819-20, une chute de température HP de $350^\circ - 228^\circ = 122^\circ$ et une chute BP de $228^\circ - 120^\circ = 108^\circ$ alors que l'écart total entre l'admission et l'échappement était de $350^\circ - 120^\circ = 230^\circ$. Dans une machine à simple expansion, pour le même rapport de détente, cet écart total se produit dans un seul cylindre, ou plutôt à l'intérieur d'une seule boîte à tiroir, ce qui nécessite des précautions particulières et accroît notablement la délicatesse du système.

En ce qui concerne les compounds, il est une observation qui se présente de suite à l'esprit et qui, si l'application en était pratiquement réalisable, serait encore à l'avantage du mode compound.

Actuellement, on communique à la vapeur une température initiale, avant son admission HP, suffisante pour que la vapeur soit encore légèrement surchauffée à l'échappement BP. Nous avons vu que, dans le cas des machines de l'Ouest, la surchauffe au receiver, c'est-à-dire à l'échappement HP, atteignait couramment 100°; il suffirait pour éviter toute condensation interne dans les cylindres HP que cette surchauffe finale soit de 10° seulement. La surchauffe initiale, et par conséquent la température de la vapeur dans les boîtes à tiroir HP pourraient donc être réduites dans la même proportion, ce qui écarterait à peu près toute chance de grippage et permettrait de simplifier le graissage, probablement même d'employer, tels que, les organes usuels : tiroirs ou pistons. Il suffirait, pour obtenir le même rendement aux cylindres BP, de porter la vapeur du receiver à une température correspondant à une surchauffe de 100°. Ce serait alors, complètement, un surchauffage en cascade.

Ces quelques indications amènent à conclure que le mode compound peut heureusement compléter l'emploi de la vapeur surchauffée, dans les cas où un rendement très élevé serait jugé nécessaire, et surtout qu'il est susceptible d'atténuer certains inconvénients de la surchauffe et les risques d'avaries ou de grippage.

Quoi qu'il en soit, il paraît prouvé que des machines à deux cylindres et à simple expansion munies de surchauffeurs réellement efficaces, c'est-à-dire débitant normalement de la vapeur portée à une température de 330° à 350°, peuvent être aussi économiques que des compounds utilisant la vapeur saturée, ayant des chaudières timbrées à une pression supérieure de 4 kg., et peuvent développer un travail plus grand de 1/5° environ.

Il faut munir la machine compound de surchauffeurs pour que son rendement atteigne ou dépasse celui des précédentes. La compound à vapeur surchauffée restera alors plus économique en dernière analyse, simplement parce que la détente pourra y être poussée plus loin que dans la machine à simple expansion, la détente en cascade n'ayant plus aucun avantage thermique quand la surchauffe est complète.
