

---

## NOTE SUR LES PREMIERS ESSAIS

A LA COMPAGNIE D'ORLÉANS

# du chauffage des foyers de locomotives au « fuel oil »

Par M. Louis BIGOURAT,  
CHEF D'ÉTUDES PRINCIPAL A LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

---

(Pl. I).

---

### I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Dès le mois de Septembre 1919, le Ministre des Travaux Publics, ému des difficultés sans cesse croissantes de l'approvisionnement français en combustible, invitait les Compagnies de Chemins de fer à entreprendre des essais de chauffe des locomotives au pétrole, en vue de déterminer dans quelle mesure la substitution de ce combustible liquide au charbon pourrait être envisagée.

Ainsi posée, la question se présente sous une double forme : commerciale et technique.

Tout en poursuivant l'étude des possibilités d'approvisionnement en combustible liquide, il était tout d'abord nécessaire de déterminer exactement les conditions techniquement économiques d'emploi de ce combustible, de manière à fonder sur des bases parfaitement solides, toutes les considérations d'ordre commercial qui devront entraîner la décision définitive sur l'adoption ou le rejet du chauffage au « fuel oil » des locomotives de chemins de fer en France.

La présente note a seulement pour objet d'exposer la manière dont la Compagnie d'Orléans a traité le problème technique. Ce problème est loin d'être nouveau ; il faut en effet remonter à l'année 1884 pour trouver dans les « Minutes of Proceedings of Institution of Mechanical Engineers » le premier rapport qui fut présenté sur la question par M. Urquhart, à la suite des essais de chauffe au mazout sur le Chemin de fer de Grasi à Tsaritsine (Russie), fait en 1875 (1).

Le développement de l'emploi de ce combustible s'est rapidement généralisé dans le Sud de la Russie, principalement au Caucase ; l'Exposition de Chicago donna enfin aux Etats-Unis un essor tout particulier à l'emploi du pétrole sur les locomotives et l'on peut dire qu'actuellement la question a été mise au point tant en Russie qu'en Roumanie, au Mexique et aux Etats-Unis.

Nous mentionnerons pour mémoire que depuis 1902 l'Amirauté anglaise a étendu à un grand nombre de bateaux l'emploi du pétrole pour la chauffe.

---

(1) Voir dans la *Revue Générale* les Nos d'Octobre 1879, p. 313 ; Octobre 1883, p. 263 ; Juillet 1884, p. 57 ; Janvier 1885, p. 58 ; Septembre 1895, p. 119 ; Janvier 1898, p. 43 ; Septembre 1902, p. 218 ; Juin 1903, p. 387 ; Décembre 1908, p. 401.

Il est possible de dire qu'à l'heure actuelle les avantages des combustibles liquides sont établis d'une manière incontestable. On peut en citer les principaux :

Possibilité de pousser ou de réduire les feux en un court espace de temps ;

Absence de fumées ;

Facilité de manutention et plus grande concentration des calories dans un même poids de combustible ;

Suppression du travail matériel imposé au chauffeur ;

Suppression des cendres et scories, etc.

Il ne s'agissait donc, pour la Compagnie d'Orléans, que d'adapter d'une manière convenable à son matériel les meilleures installations et les meilleurs procédés connus. C'est au choix et à l'adaptation de ces appareils et de ces procédés que tout le soin a été apporté.

La Compagnie d'Orléans a décidé d'expérimenter le chauffage au « fuel oil » sur 2 locomotives puissantes pouvant assurer les services « Marchandises » et « Rapides. » Deux machines différentes ont été choisies : l'une particulièrement adaptée aux services « Marchandises » ou « Voyageurs », l'autre particulièrement adaptée au service « Rapides. »

L'une et l'autre sont du type « Pacific » compound à 4 cylindres :

La première est de la série 4500, à vapeur saturée et à roues de 1<sup>m</sup>,850 ;

La seconde est de la série 3500 à vapeur surchauffée et à roues de 1<sup>m</sup>,950.

Ces machines ont été décrites dans le numéro de Mars 1909 de la *Revue Générale*.

Le choix des machines « Pacific » puissantes était particulièrement défavorable, mais il a été fait à dessein, pour permettre une conclusion d'une généralité absolue.

Les divers renseignements que nous avons pu recueillir et les mémoires rendant compte des expériences de praticiens font ressortir des difficultés particulières à maintenir la stabilité des terres réfractaires, des briques et de la voûte. Ces matières sont en effet exposées à une température extrêmement élevée, voisine de leur point de fusion et se prêtent difficilement aux contractions consécutives au refroidissement qu'entraîne la mise en veilleuse ou l'extinction du feu. Aussi les meilleurs auteurs américains sont-ils d'accord pour signaler que la réfection fréquente du briquetage peut devenir très onéreuse et qu'il importe de prendre les plus grandes précautions pour diminuer les dépenses de cet ordre.

Le briquetage des chambres de combustion est exposé à subir des variations de température très brutales, pouvant entraîner la fissuration et le délitement, favorisés d'ailleurs par les trépidations de la machine. Ces considérations et celles des hautes températures réalisées avaient fait tout d'abord songer, pour la voûte en particulier, à l'emploi du carborundum, mais le prix de cette matière est prohibitif et il fut décidé de poursuivre les essais en garnissant la chambre de combustion avec des briques réfractaires argileuses ayant les caractéristiques suivantes ;

|                        |       |
|------------------------|-------|
| Densité apparente..... | 1,87  |
| — absolue.....         | 2,56  |
| Silice totale.....     | 68,80 |
| Alumine.....           | 26,36 |
| Oxyde de fer.....      | 1,97  |
| Chaux.....             | 1,36  |
| Alcalins.....          | 0,51  |

Bien que cette brique fût d'un grain assez gros et comportât une proportion importante de chamotte très cuite, l'action d'une flamme intense devait y amener des craquellements assez importants. Au laboratoire, en effet, ces briques accusent vers  $1.450^{\circ}$  un commencement de ramollissement et de semi-vitrification amenant un retrait linéaire de  $0,23\%$ .

Il fallait remédier à ces inconvénients qui eussent sans aucun doute entraîné la destruction rapide du briquetage et la chute de la voûte dans le foyer. Pour cet objet, le briquetage fut recouvert d'un enduit protecteur à base de carborundum pulvérisé. Cette application fut faite sous forme d'une peinture épaisse en utilisant comme liant le silicate de soude à  $38^{\circ}$  B ou une simple solution de carbonate de soude, d'un emploi d'ailleurs moins commode.

L'expérience a permis de reconnaître que le carborundum était éliminé très rapidement par abrasion et ne jouait en fait aucun rôle. Par contre, il s'est révélé que les sels alcalins ont une action particulièrement intéressante. Le silicate de soude et surtout le carbonate donnent en effet à la surface de la brique une fusibilité suffisante pour la vitrifier sur une épaisseur de plusieurs millimètres. Cette vitrification, outre qu'elle conduit à une chute plus rapide de la température en pénétrant dans l'épaisseur de la brique, permet au moment du retrait un recollage des morceaux qui se seraient séparés.

Une brique de voûte, retirée après plus de deux mois de service, fut trouvée diminuée de moitié de son épaisseur, mais d'une manière uniforme.

L'examen des morceaux montre ;

1<sup>o</sup> Une couche vitrifiée brune de 4 à 8 mm. d'épaisseur à texture bulleuse, contenant une quantité importante de silice provenant vraisemblablement, partie de la brique elle-même, partie du sable employé au nettoyage des tubes.

Cette couche vitrifiée se ramollit aux environs de  $1400^{\circ}$  mais reste suffisamment pâteuse à la température réalisée de  $1500^{\circ}$  environ pour ne pas couler. Cette circonstance doit être attribuée à l'importance de la proportion de silice contenue dans cette couche :  $85\%$  environ.

2<sup>o</sup> Une couche blanche très mince semi-vitrifiée.

3<sup>o</sup> La brique elle-même dont les fissures en retrait ont été reconsolidées et soudées par la matière vitrifiée.

L'examen d'ensemble montre que quelle que soit la température réalisée dans le foyer, qui a dépassé  $1700^{\circ}$  d'une manière assez courante, la température de  $1400^{\circ}$  n'a pas été atteinte à plus de 2 ou 3 mm. de profondeur dans la brique.

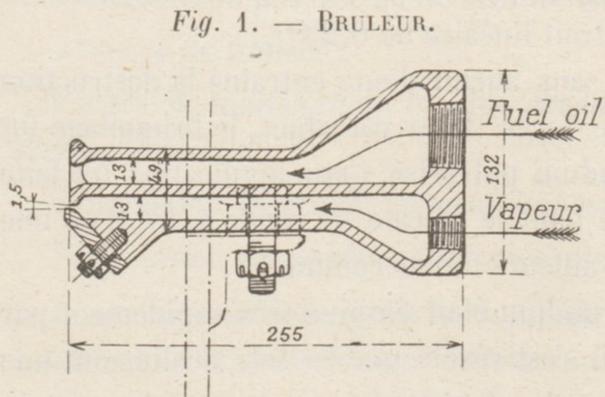
Pour éviter la désagrégation des briques sous l'action de la flamme, les faces horizontales du briquetage réfractaire sont revêtues d'une couche de verre pilé. Ce verre fond sous l'action de la chaleur et bouche les joints des briques tout en faisant corps avec ces dernières.

## II. — DESCRIPTION DES APPAREILS.

Le système de chauffage appliqué sur les deux locomotives d'essai est celui « à pulvérisation à la vapeur » (steam jet system) exclusivement employé aux Etats-Unis et qui se recommande par sa grande simplicité et son entretien facile.

Le chauffage est obtenu par le fonctionnement d'un organe appelé brûleur. Celui appliqué sur la locomotive 4563 (Fig. 1) comporte deux chambres, l'une inférieure à orifice étranglé à

section réglable et dans laquelle arrive la vapeur empruntée à la chaudière, l'autre supérieure, dans laquelle arrive le « fuel oil » amené par une conduite, du réservoir placé sur le tender ;



le « fuel oil » tombant naturellement sur le jet de vapeur est projeté dans le foyer en même temps qu'il est pulvérisé, il suffit de l'allumer pour obtenir une flamme continue dont l'intensité peut être réglée suivant les besoins.

Le brûleur employé est analogue à celui de la Baldwin Locomotive Works ; il existe d'autres types de brûleurs (Von Boden, Booth, Best, Sheedy, etc.), basés sur le même principe mais différant légèrement dans leur disposition générale.

La Planche I donne la disposition schématique des appareils appliqués sur la machine et le tender.

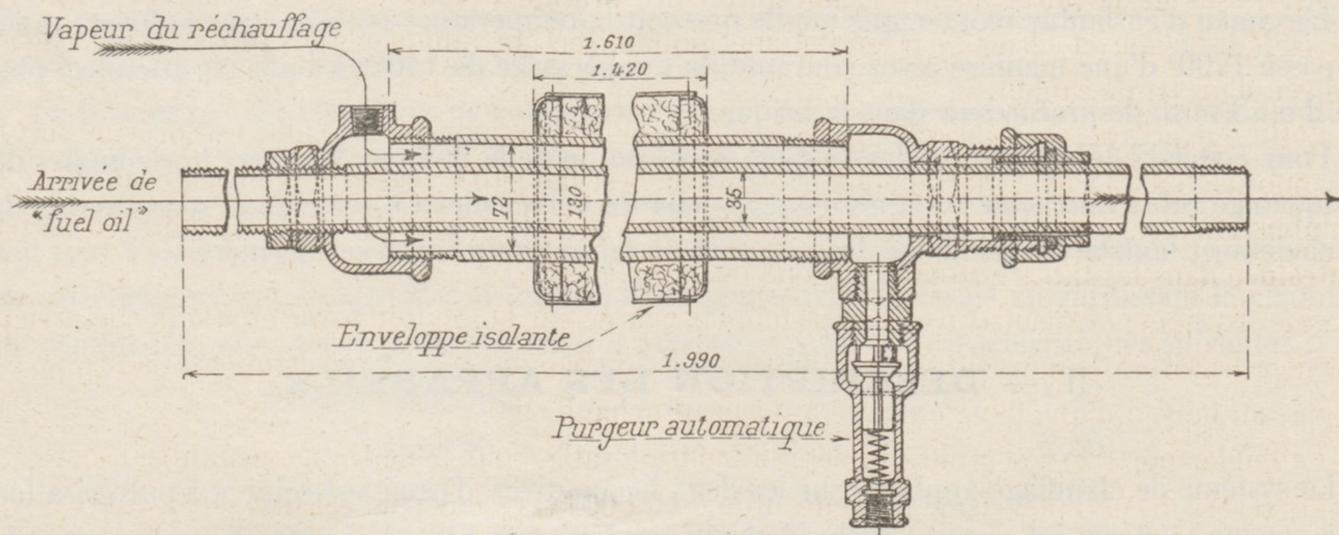
Sur la machine, le cendrier habituel a été remplacé par un fond à section trapézoïdale fermant la chambre de combustion ; ce fond est pourvu d'un revêtement en briques réfractaires de première qualité. Le revêtement est prolongé sur les côtés et sur l'arrière du foyer jusqu'à une certaine hauteur ; le mur d'arrière sur lequel vient battre la flamme avant son retour dans les tubes à fumée, est plus épais que les murs des côtés.

Le brûleur a été placé à l'avant de la boîte à feu ; une ouverture de section constante est ménagée autour du brûleur pour l'admission de l'air primaire.

Trois prises de vapeur assurent : la pulvérisation de l'huile, le réchauffage de l'huile contenue dans le réservoir et le réchauffage de l'huile avant son entrée dans le brûleur.

Le réchauffeur annulaire (Fig. 2) placé sous le fond du foyer en arrière du brûleur, sert à réchauffer l'huile pour l'amener au degré de fluidité nécessaire à son emploi, soit 7° à 12° Engler ou plus simplement la fluidité de l'huile de colza brute à 15°C.

Fig. 2. — RÉCHAUFFEUR ANNULAIRE.



Le débit de l'huile au brûleur est réglé par l'ouverture d'un robinet distributeur commandé par une manette placée à portée du chauffeur. Une butée mobile, fixée sur le secteur denté et dont la position peut être réglée une fois pour toutes, permet de ramener sans tâtonnements

la manette dans la position correspondant à la marche du brûleur en veilleuse ; cette mise en veilleuse automatique supprime les extinctions de feu et évite ainsi les rallumages en cours de route.

La porte du foyer (Fig. 3 à 5) est formée d'un cadre en fonte fixé sur la face arrière de la boîte à feu et d'une porte pouvant être maintenue fermée pendant le chauffage. Un regard sert à l'examen de la combustion ; à la partie inférieure, un papillon règle une deuxième arrivée d'air horizontale dans la chambre de combustion.

Fig. 3. — COUPE LONGITUDINALE.

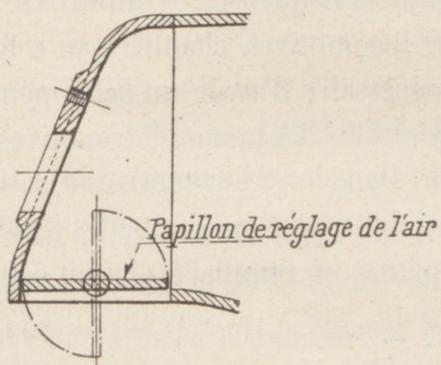


Fig. 4. — COUPE LONGITUDINALE

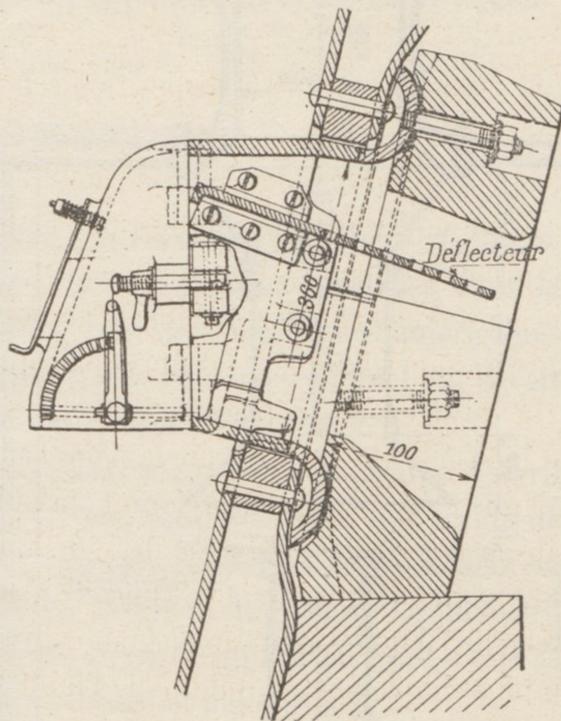
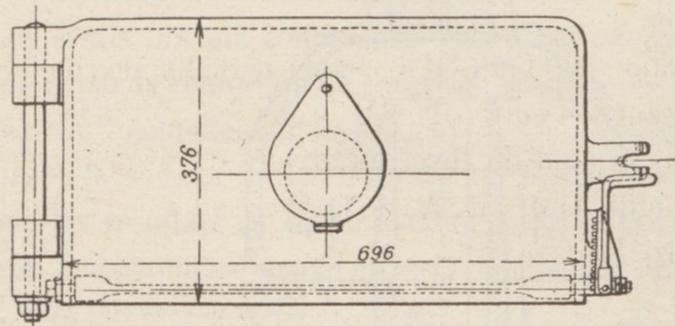


Fig. 5. — VUE DE FACE.



Au-dessus de la porte du foyer, une ouverture pratiquée dans la galerie d'eau de la face *A* de la boîte à feu et fermée par un tampon mobile, sert au ramonage des tubes en marche au moyen d'un jet de sable.

Cette ouverture pour le sablage constitue un perfectionnement, elle est prévue sur la locomotive 3569. Sur la machine 4563, le sablage est fait par le regard servant à l'examen de la combustion ; ce regard étant placé trop bas, une grande partie du sable introduit n'est pas entraînée dans les tubes et tombe au fond du foyer.

Une troisième ouverture avec trappe mobile, placée sur le fond du foyer et à la partie arrière permet l'arrivée d'air verticale dans la chambre de combustion. L'ouverture de la trappe est réglée au moyen d'une tringle placée à portée du chauffeur.

Le tender porte le réservoir à huile et le coffre à sable pour le nettoyage des tubes.

Le réservoir à huile, d'une capacité utile de 6.600 litres environ, est fixé sur la caisse à eau à la place du charbon. Une ouverture à couvercle mobile étanche avec paniers filtres, sert au remplissage.

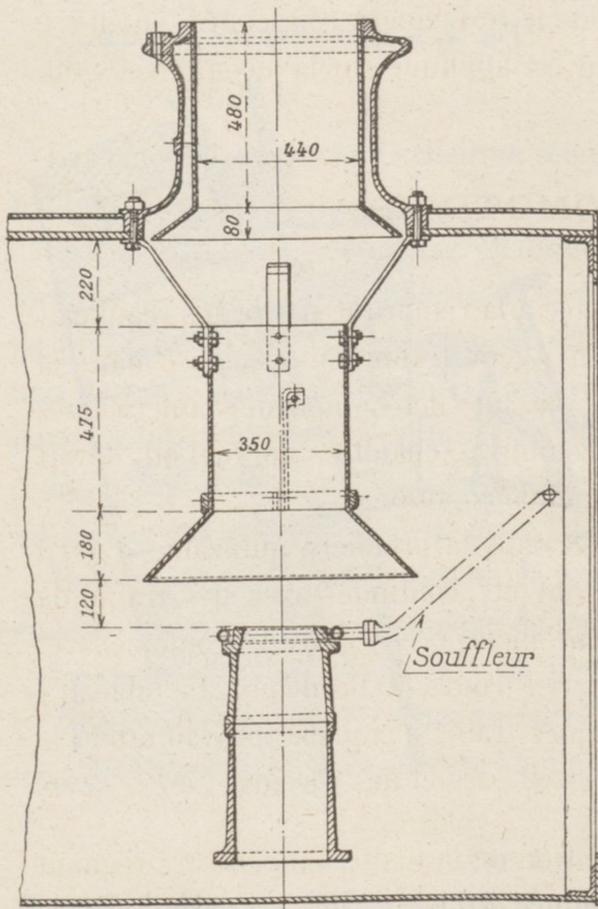
Un clapet, commandé à la main par un levier, distribue l'huile au brûleur. Une broche passée dans le levier maintient le clapet levé, cette broche est reliée par une chaînette à la toiture de l'abri ; en cas de séparation intempestive de la machine et du tender, à la suite d'une rupture

d'attelage, la broche est retirée automatiquement et le clapet retombe sur son siège arrêtant ainsi tout débit d'huile.

Un serpentin placé à côté du clapet et dans lequel peut circuler de la vapeur, réchauffe l'huile contenue dans le réservoir et l'amène au degré de fluidité nécessaire pour assurer un écoulement régulier.

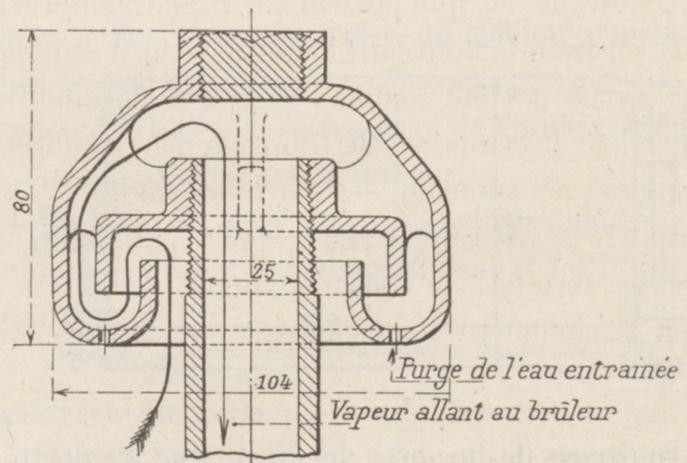
Près du clapet, à l'intérieur du réservoir, débouche un tuyau par lequel une arrivée de vapeur peut souffler l'huile autour du clapet, ce soufflage est nécessaire lorsque le débit est modifié du fait d'un encrassement des organes occasionné par l'emploi d'huiles visqueuses et impures.

Fig. 6. — ÉCHAPPEMENT.



Dans les locomotives chauffées au « fuel oil » il n'est pas nécessaire d'avoir un échappement aussi puissant que celui des mêmes locomotives chauffées au charbon. Dans les 2 locomotives d'essai, l'échappement variable type Nord dont elles étaient munies a été supprimé et remplacé par un échappement

Fig. 7. — SÉPARATEUR D'EAU ET DE VAPEUR.

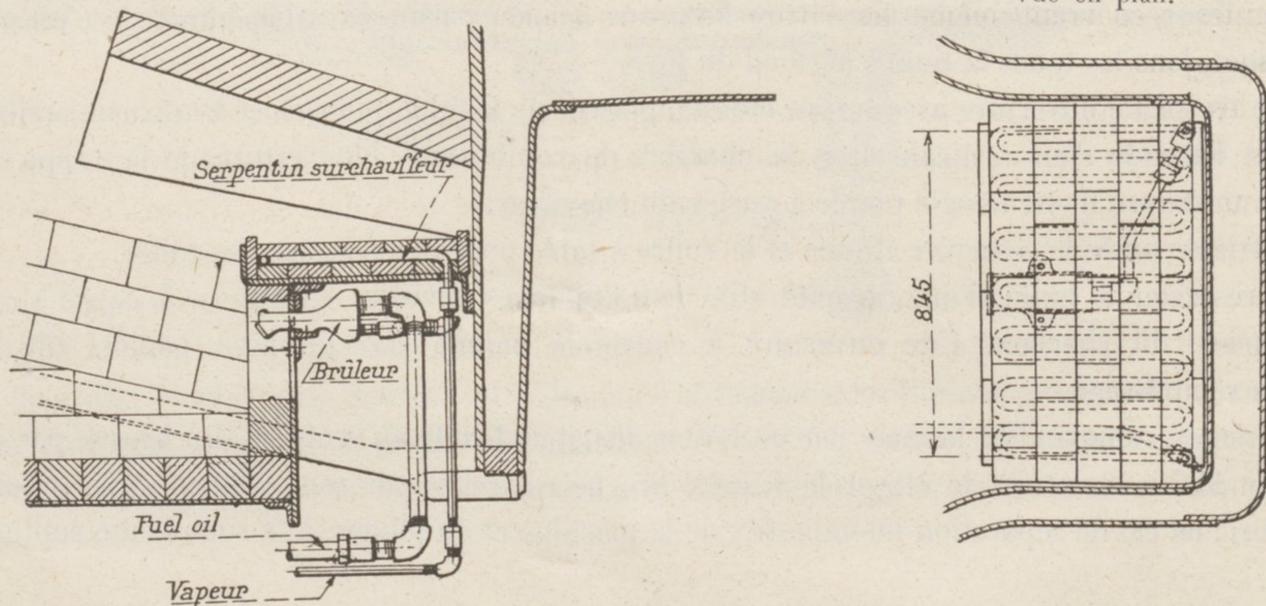


fixe dont le diamètre du cône a été déterminé expérimentalement (Fig. 6).

Fig. 8 et 9. — SURCHAUFFEUR DE LA VAPEUR DE PULVÉRISATION.

Coupe longitudinale.

Vue en plan.



le diamètre du fourreau de cheminée a été augmenté et un fourreau à embase conique (petticoat) a été placé entre le cône d'échappement et la cheminée; ce dernier dispositif employé aux Etats-Unis paraît nécessaire pour obtenir un tirage approprié.

La grille à flammèches placée sous la cheminée n'étant plus utile a été supprimée.

La vapeur destinée à la pulvérisation du fuel oil doit être aussi sèche que possible. Cette condition est obtenue par l'emploi des 2 appareils ci-après.

La vapeur prise à la partie supérieure du dôme pénètre dans le conduit en traversant un petit séparateur (Fig. 7) qui rejette l'eau ayant pu être entraînée, cette vapeur passe ensuite dans un serpentin (Fig. 8 et 9) installé dans le foyer, sous le revêtement réfractaire, où elle se surchauffe avant d'entrer dans le brûleur. Ce surchauffeur est appliqué sur la locomotive 3569.

### III. — ESSAIS DES LOCOMOTIVES.

La locomotive 4563, à sa sortie des ateliers, a été affectée à la remorque des trains réguliers. La Compagnie d'Orléans s'était assuré le concours d'un Agent technique spécialisé dans le chauffage à l'huile. Cet Agent, prêté par le Southern Pacific, une des Compagnies américaines de chemins de fer qui possède un grand nombre de locomotives chauffées au fuel oil, devait mettre en train le nouveau chauffage et former le personnel de conduite.

Les essais ont été commencés avec la locomotive 4563 dans la première quinzaine d'Avril dernier, par la remorque de trains de marchandises; ils ont été continués avec des trains de voyageurs; actuellement les machines 4563 et 3569 sont incorporées dans le roulement et assurent le service des trains express réguliers entre Paris, Tours et Bordeaux. Le tableau I donne les résultats de consommation obtenus avec quelques trains auxquels on avait attelé le wagon dynamomètre pour l'enregistrement des efforts, des vitesses et des travaux.

*Tenue au feu des différentes parties du foyer.* — En raison de la haute température régnant dans les foyers des locomotives chauffées à l'huile, température qui peut atteindre parfois 1700°, certaines précautions sont prises aux Etats-Unis pour garantir les pièces métalliques saillantes du foyer qui ne sont pas en contact direct avec l'eau de la chaudière: la hauteur des têtes d'entretoises est réduite au minimum, les écrous des tirants sont supprimés et ces derniers sont rivés comme les entretoises; tous les rivets d'assemblage des tôles sont fraisés. Quelques Compagnies recouvrent même les rivures d'un revêtement réfractaire maintenu en place par des goujons.

Pour les locomotives d'essai, rien n'a été changé à la disposition intérieure du foyer, depuis leur mise en service on a pu constater que toutes les pièces faisant saillie dans le foyer: écrous des tirants, têtes des rivets et des entretoises, recouvrement des tôles dans les rivures, s'étaient parfaitement comportées au feu; les tôles en cuivre du foyer, dont l'épaisseur est relativement forte, ont également résisté à la haute température et n'ont présenté aucune trace de fatigue ni d'usure. Il n'en a pas été de même de l'enveloppe en fonte protégeant le cadre de la porte du foyer; cette pièce exposée directement à la flamme a été brûlée dès les premiers voyages, on a dû la protéger par un cadre maçonné en briques réfractaires, ce cadre non fixé se désagrégeant rapidement sera remplacé finalement par un autre en 2 parties maintenu en place par 4 goujons (Fig. 4).

I. — TABLEAU DES RÉSULTATS DES ESSAIS

| N <sup>o</sup><br>du<br>train              | PARCOURS                             | Tonnage     | DURÉE   |          | VITESSE<br>MOYENNE<br>de marche<br>par heure | Temps<br>gagné<br>sur<br>la<br>marche | CONSOMMATION<br>TOTALE |                 | EAU<br>VAPORISÉE<br>par kg.<br>de fuel<br>oil | PUISSANCE<br>MOYENNE<br>au crochet<br>du tender | CONSOMMATION<br>PAR CHEVAL-HEURE<br>au crochet<br>du tender |          | Consom-<br>mation<br>de fuel oil<br>p. 100 km.<br>(locomotive<br>et tender<br>compris) |        |
|--|--------------------------------------|-------------|---------|----------|--|---------------------------------------|------------------------|-----------------|---|---|---|----------|--|--------|
|  |                                      | du<br>train | minutes | secondes |  |                                       | Eau                    | Fuel oil<br>(1) |   |   | Eau   | Fuel oil |  | tonnes |
| <b>TRAINS DES 20 ET 21 AVRIL 1920</b>      |                                      |             |         |          |  |                                       |                        |                 |   |   |   |          |  |        |
| 6324                                       | St-Pierre-des-Corps-Les-Aubrais..... | 1.137       | 224     | 41       | 30,780                                       | 20                                    | 29.843                 | 2.413           | 12,37   | 492   | 16,23   | 1,31     | 1,65   |        |
| 4116 W                                     | Les Aubrais-Ivry.....                | 911         | 204     | 6        | 33,820                                       | "                                     | 21.489                 | 1.392           | 15,43   | 390   | 16,20   | 1,05     | 1,13   |        |
| <b>TRAINS DES 8, 9, 10 ET 11 JUIN 1920</b> |                                      |             |         |          |  |                                       |                        |                 |   |   |   |          |  |        |
| 1  | Paris-Saint-Pierre-des-Corps.....    | 613         | 209     | 50       | 66,700                                       | "                                     | 43.274                 | 3.720           | 11,63   | 829   | 14,92   | 1,28     | 2,12   |        |
| 122  | Tours-Paris.....                     | 624         | 221     | 19       | 63,800                                       | 15                                    | 48.209                 | 3.420           | 14,08   | 788   | 16,58   | 1,17     | 1,89   |        |
| 3  | Paris Saint-Pierre-des-Corps.....    | 528         | 195     | 14       | 71,700                                       | 22                                    | 39.336                 | 2.980           | 13,20   | 758   | 15,94   | 1,20     | 1,91   |        |
| 122  | Tours-Paris.....                     | 540         | 217     | 6        | 64,940                                       | 24                                    | 43.071                 | 2.980           | 14,45   | 692   | 17,20   | 1,19     | 1,85   |        |

(1) La dépense de « Fuel oil » pour la mise en pression de la locomotive n'est pas comprise.

**Essais thermiques.** — Les essais mécaniques ont été complétés par des essais thermiques. Ces essais ont été faits sur la demande de la Direction des recherches scientifiques et industrielles et des inventions par M. de la Condamine, Ingénieur principal, que l'Office central de chauffe rationnelle avait bien voulu mettre gracieusement à notre disposition. Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire ci-après *in-extenso* le très intéressant rapport établi par M. de la Condamine et qui nous a été adressé à la suite de ces essais.

## COMPTE-RENDU DES ESSAIS EFFECTUÉS

les 8, 9, 10 et 11 Juin 1920 pour étudier la combustion  
dans une locomotive chauffée à l'huile lourde.

- I. — But des essais ; conditions dans lesquelles ils ont été faits.
- II. — Analyses des fumées.
- III. — Mesures des températures des fumées.
- IV. — Mesures complémentaires.
- V. — Calcul du bilan thermique du générateur à vapeur.
- VI. — Comparaison avec les résultats obtenus dans d'autres installations employant l'huile lourde.
- VII. — Comparaison avec une locomotive chauffée au charbon.
- VIII. — Conclusions.

### I. — BUT DES ESSAIS.

#### CONDITIONS DANS LESQUELLES ILS ONT ÉTÉ FAITS.

Le but des essais était d'étudier la combustion de l'huile lourde pulvérisée au moyen de la vapeur fournie par la chaudière de la locomotive.

Afin de se mettre dans les conditions réalisées en pratique, la Compagnie d'Orléans a fait poursuivre les essais sur une locomotive en marche, attelée à un train de voyageurs effectuant un parcours normal. De plus, la machine n'a pas été choisie spécialement ; on a pris au contraire une machine quelconque. Il en résulte que les résultats obtenus au lieu d'être des « résultats d'essais » doivent être considérés comme devant être sanctionnés dans la pratique courante. Pour ce motif, ils sont donc particulièrement intéressants.

Les essais ont été faits les 8, 9, 10 et 11 Juin 1920 entre Paris et Tours, la locomotive étant attelée à un train express lourd.

L'huile employée était du fuel oil ayant les caractéristiques suivantes :

|   |                     |             |
|---|---------------------|-------------|
| Voyages des 8 et 9. — Composition :               | Hydrogène.....      | 11,9        |
| —   | Carbone.....        | 84,5        |
| —   | Impuretés, eau..... | 3,6         |
| Pouvoir calorifique mesuré à la bombe Mahler..... |                     | 10.456 cal. |
| Voyages des 10 et 11. — Composition :             | Hydrogène.....      | 11,7        |
| —   | Carbone.....        | 86,1        |
| —   | Impuretés, eau..... | 2,2         |
| Pouvoir calorifique mesuré à la bombe Mahler..... |                     | 10.500      |

L'étude de la combustion de l'huile comporte la détermination de la composition et de la température des fumées, qui permet après analyse de l'huile employée, d'établir le bilan thermique.

II. — ANALYSES DES FUMÉES (1).

La Compagnie avait installé sur le flanc de la locomotive un dispositif permettant de faire sans difficulté les prises d'essais destinées à l'analyses.

Un système de deux vases communiquant fonctionnait comme pompe à piston d'eau et permettait d'envoyer les gaz aspirés sur une cuve à eau où ils étaient recueillis dans des flacons.

Le gaz carbonique étant assez soluble dans l'eau, on a commencé par faire barboter les gaz dans la cuve à eau afin de saturer cette eau en acide carbonique. Cette manœuvre permettait en même temps de chasser l'air qui aurait pu se trouver soit dans la conduite, soit dans le flacon aspirateur.

Les analyses ont été faites à l'appareil Orsat installé dans le wagon dynamomètre. Autant que possible on a profité des arrêts aux stations pour faire des analyses, mais ces arrêts étant peu fréquents, un grand nombre d'analyses ont été faites en marche, dans ces conditions on peut faire les lectures dans le tube mesureur à 2 ou 3 % près.

Les résultats obtenus sont indiqués ci-dessous, ils donnent l'analyse en volume des fumées, eau condensée :

Journée du 8 Juin 1920, aller de la gare d'Austerlitz  
à Saint-Pierre-des-Corps.

| N <sup>os</sup> DES ÉCHANTILLONS ..... | 1      | 2     | 3      | 4     | 5     |
|--|--------|-------|--------|-------|-------|
| CO <sup>2</sup> .....                  | 8.09   | 9.61  | 9.40   | 9.40  | 9.01  |
| O <sup>2</sup> .....                   | 7.24   | 3.26  | 4.77   | 5.30  | 6.28  |
| CO .....                               | 0.00   | 0.46  | 0.29   | 0.00  | 0.00  |
| Az <sup>2</sup> .....                  | 84.80  | 85.80 | 85.90  | 85.00 | 84.70 |
| TOTAUX .....                           | 100.03 | 99.13 | 100.36 | 99.70 | 99.99 |

| N <sup>os</sup> ..... | 6      | 7     | 90    | 89    | 88    | 87    | 86    | 85     | 84    |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| CO <sup>2</sup> ..... | 9.79   | 8.80  | 9.14  | 9.77  | 10.26 | 9.27  | 11.18 | 9.04   | 9.22  |
| O <sup>2</sup> .....  | 5.82   | 6.02  | 4.12  | 5.12  | 4.10  | 5.96  | 2.95  | 5.13   | 5.58  |
| CO .....              | 0.00   | 0.46  | 0.91  | 0.37  | 0.09  | 0.47  | 0.46  | 0.47   | 0.09  |
| Az <sup>2</sup> ..... | 84.50  | 84.70 | 85.80 | 84.70 | 85.30 | 85.20 | 85.40 | 85.40  | 85.10 |
| TOTAUX .....          | 100.11 | 99.98 | 99.97 | 99.96 | 99.75 | 99.90 | 99.99 | 100.04 | 99.99 |

(1) Le mot « fumées » est employé ici dans son sens le plus général et désigne les produits de la combustion. En fait d'ailleurs la fumée produite était presque nulle.

**Échantillons prélevés le 9 Juin entre Tours et Paris.**

| Nos .....             | 44     | 34    | 42    | 45    |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|
| CO <sup>2</sup> ..... | 10.14  | 10.48 | 10.23 | 10.76 |
| O <sup>2</sup> .....  | 4.15   | 3.85  | 4.46  | 3.39  |
| CO .....              | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.19  |
| Az <sup>2</sup> ..... | 85.80  | 85.63 | 85.10 | 85.60 |
| TOTAUX .....          | 100.09 | 99.96 | 99.79 | 99.94 |

**Échantillons prélevés le 10 Juin de Paris à Saint-Pierre-des-Corps.**

| Nos .....             | 54    | 54     | 54    | 54    | 32     | 52     |
|-----------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| CO <sup>2</sup> ..... | 10.70 | 10.28  | 10.32 | 10.00 | 10.55  | 10.70  |
| O <sup>2</sup> .....  | 4.27  | 4.32   | 3.94  | 4.37  | 4.59   | 5.12   |
| CO .....              | 0.09  | 0.00   | 0.09  | 0.00  | 0.46   | 0.28   |
| Az <sup>2</sup> ..... | 84.90 | 85.40  | 85.60 | 85.60 | 84.40  | 83.90  |
| TOTAUX .....          | 99.96 | 100.00 | 99.95 | 99.97 | 100.00 | 100.00 |

**Échantillons prélevés le 11 Juin de Tours à Paris.**

Ces échantillons ont été analysés au Laboratoire de l'« Office de Chauffage ».

| Nos .....             | 55    | 39    | 64    | 53    |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| CO <sup>2</sup> ..... | 8.7   | 9.7   | 10.0  | 9.8   |
| O <sup>2</sup> .....  | 4.1   | 3.9   | 4.5   | 4.2   |
| CO .....              | 0.2   | 0.0   | 0.5   | 0.0   |
| H <sup>2</sup> .....  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| CH <sup>4</sup> ..... | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| Az <sup>2</sup> ..... | 87.0  | 86.4  | 85.0  | 86.0  |
| TOTAUX .....          | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

Afin d'avoir une idée de la précision des analyses, l'échantillon n° 54 a été analysé 4 fois. Les résultats sont indiqués ci-dessus.

Le tableau suivant montre la précision des analyses effectuées :

| MOYENNE DES ANALYSES        | RÉSIDUS |      |      |      |      |
|-----------------------------|---------|------|------|------|------|
|                             | +       |      | -    |      |      |
| CO <sup>2</sup> ..... 10.32 | 0.38    | 0.00 |      | 0.04 | 0.32 |
| O <sup>2</sup> ..... 4.22   | 0.05    | 0.10 | 0.15 | 0.28 |      |
| CO ..... 0.04               | 0.05    | 0.05 |      | 0.04 | 0.04 |
| Az <sup>2</sup> ..... 85.37 | 0.03    | 0.23 | 0.23 | 0.47 |      |
| 99.95                       |         |      |      |      |      |

L'erreur probable est de :

|                            |      |
|----------------------------|------|
| pour CO <sup>2</sup> ..... | 0,19 |
| » O <sup>2</sup> .....     | 0,14 |
| » CO.....                  | 0,05 |
| » Az <sup>2</sup> .....    | 0,33 |

La précision des analyses est tout à fait suffisante pour permettre d'apprécier la manière dont se produit la combustion et dresser un bilan thermique.

Ces résultats indiquent que la combustion est à peu près complète, la proportion d'oxyde de carbone étant toujours très faible et les fumées contenant ni hydrogène, ni méthane. Le mélange de l'huile pulvérisée et de l'air de combustion se fait donc dans de bonnes conditions.

Mettant à part les analyses des échantillons N<sup>os</sup> 1 et 55, la proportion d'acide carbonique dépasse toujours 9 %. Il faut remarquer d'ailleurs que la prise d'essai N<sup>o</sup> 1 avait été faite dans des conditions qui peuvent faire craindre que l'appareil de prise d'essai n'ait pas été complètement purgé d'air, cette première analyse n'est indiquée que pour mémoire.

La moyenne des autres analyses est la suivante ;

|       |                       |       |
|-------|-----------------------|-------|
| (a) { | CO <sup>2</sup> ..... | 9,78  |
|       | O <sup>2</sup> .....  | 4,57  |
|       | CO.....               | 0,21  |
|       | Az <sup>2</sup> ..... | 85,36 |
|       | Total.....            | 99,92 |

(Dans le calcul de cette moyenne il n'a été tenu compte que d'une des analyses 54).

Cette proportion de gaz carbonique ne pourrait pas être considérée comme très élevée si le combustible employé était du charbon.

Il n'en est pas de même dans le cas actuel. Il faut en effet remarquer que plus le combustible est hydrogéné, plus la proportion centésimale d'acide carbonique dans les fumées diminue, pour un même excès d'air. En même temps, la proportion d'azote augmente.

Si par exemple nous comparons un charbon contenant 95 % de carbone et 5 % d'hydrogène (abstraction faite de l'oxygène, de l'azote, de l'eau et des cendres) un excès d'air de 20 % donnerait des fumées dont la comparaison serait :

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| CO <sup>2</sup> ..... | 14,8         |
| O <sup>2</sup> .....  | 3,4          |
| Az <sup>2</sup> ..... | 81,8         |
|                       | <u>100,0</u> |

Une huile contenant 12 % d'hydrogène et 88 % de carbone donnera avec le même excès d'air de 20 %.

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| CO <sup>2</sup> ..... | 12,4  |
| O <sup>2</sup> .....  | 3,6   |
| Az <sup>2</sup> ..... | 84,0  |
|                       | 100,0 |

Le maximum de gaz carbonique qu'il serait possible d'obtenir dans les fumées, en supposant la combustion complète sans excès d'air serait de 20 % avec le carbone pur et 15 % seulement avec l'huile à 12 % d'hydrogène.

Pour calculer l'excès d'air correspondant à l'analyse (a) brûlons l'oxyde de carbone avec 0,10 d'oxygène, nous obtiendrons 0,21 de CO<sup>2</sup> et la composition des fumées (eau condensée) sera :

|                       |      |   |      |   |       |    |       |
|-----------------------|------|---|------|---|-------|----|-------|
| CO <sup>2</sup> ..... | 9,78 | + | 0,21 | = | 9,99  | ou | 10,0  |
| O <sup>2</sup> .....  | 4,57 | - | 0,10 | = | 4,47  | »  | 4,5   |
| Az <sup>2</sup> ..... |      |   |      | = | 85,36 | »  | 85,5  |
|                       |      |   |      |   | 99,82 | »  | 100,0 |

On peut admettre que l'air contient 4 volumes d'azote pour un d'oxygène. La présence de 85,5 volumes d'Az<sup>2</sup> dans les fumées montre que 21,4 de O<sup>2</sup> ont été introduits dans le foyer. Il reste 4,5 inutilisés, l'excès d'air est donc :

$$\frac{4,5}{21,4 - 4,5} = 26 \%$$

### III. — MESURES DES TEMPÉRATURES DES FUMÉES.

Cette mesure a été faite au moyen d'un couple nickel, nickel-chrome installé à la sortie des tubes à fumée. Le galvanomètre [a] d'abord été installé à l'avant de la locomotive. Il a été constaté que l'aiguille du galvanomètre est animée d'oscillations de grande amplitude (correspondant à des variations de température de 200° environ), lorsque les fils du couple ne sont pas branchés sur le galvanomètre ; mais, dès que le courant électrique passe dans les fils, l'aiguille se stabilise et les oscillations ne dépassent pas une amplitude de 5 à 10° dans chaque sens.

La lecture de la température se fait donc sans difficulté avec une erreur de moins de 5°.

Les températures lues dans ces conditions le 9 Juin au départ de Tours ont été les suivantes :

| Heures    | Température<br><small>(Résultats corrigés)</small> | Observations    |  | Heures    | Température<br><small>(Résultats corrigés)</small> | Observations        |
|-----------|--|-----------------|--|-----------|--|---------------------|
| 11 h. 47' | 300  | Départ de Tours |  | 11 h. 56' | 310  | Arrêt               |
| » 49'     | 310  | Arrêt           |  | 12 h. 12' | 380 à 390  | En pleine marche    |
| » 52'     | 350  |                 |  | 12 h. 19' | 320  | au départ d'Amboise |

Le galvanomètre a été ensuite installé dans le courant de la même journée dans le wagon dynamomètre et relié au couple par un câble de 20 mètres de longueur (distance de la canne

du couple au galvanomètre). La température constatée a été sensiblement constante et égale à 360°.

Le 10 Juin le galvanomètre a été installé de nouveau dans le wagon dynamomètre et la température a été notée pendant le trajet d'Austerlitz à Saint-Pierre-des-Corps.

Les résultats trouvés ont été les suivants : (toutes corrections faites).

| Heures   | Température | Observations               | Heures    | Température | Observations           |
|----------|-------------|----------------------------|-----------|-------------|------------------------|
| 8 h. 15' | 230         | Brûleur en veilleuse       | 10 h. 06' | 370         | Toury                  |
| » 40'    | 300         | Départ                     | » 23'     | 370         | Cercottes              |
| » 56'    | 330         |                            | » 28'     | 310         | Arrivée aux Aubrais    |
| 9 h. 00' | 370         | Epinay                     | » 35'     | 290         | Départ des Aubrais     |
| » 08'    | 320         | Arrêt signal               | » 42'     | 380         |                        |
| » 15'    | 350         | Marolles                   | » 50'     | 370         | Beaugency              |
| » 23'    | 370         | Arrivée Etampes            | 11 h. 19' | 360         |                        |
| » 37'    | 290         | Départ Etampes             | » 22'     | 300         | Arrivée à Blois        |
| » 39'    | 330         | Rampe de 8 <sup>m</sup> /m | » 30'     | 260         | Départ de Blois        |
| » 41'    | 340         | Rampe de 8 <sup>m</sup> /m | » 47'     | 340         |                        |
| » 45'    | 350         | Rampe de 8 <sup>m</sup> /m | » 53'     | 340         |                        |
| » 50'    | 360         |                            | 12 h. 09' | 260         | Saint-Pierre-des-Corps |
| » 55'    | 360         | 81 kil. à l'heure          |           | 8.920       |                        |
| » 58'    | 370         | 90 » »                     |           |             |                        |

Moyenne ..... 330°.

Ces températures sont remarquablement basses. Au premier abord, il paraît surprenant que les températures des fumées ne soient pas plus élevées que dans le cas du charbon (1) alors que la flamme de l'huile est beaucoup plus chaude que celle du charbon. En réalité, cela s'explique facilement : l'excès d'air nécessaire à la combustion de l'huile est beaucoup moindre que celui nécessaire à la combustion du charbon, la masse des fumées est donc moins grande dans le cas de l'huile que dans le cas du charbon ; pour cette raison, et aussi à cause de la température élevée de la flamme, l'échange des calories avec l'eau de la chaudière se fait mieux, les fumées se refroidissent plus.

#### IV.

La température de la flamme a été mesurée dans la journée du 9 Juin entre Tours et Paris, au moyen d'un couple nickel, nickel-chrome. Elle a été trouvée variant entre 1.200° et 1.450°.

La température de 1.200° a été obtenue en enfonçant complètement dans le foyer une canne dont la longueur totale est de 3 mètres. La température de 1.450° a été obtenue dans le voisinage de la porte du foyer.

Dans la journée du 11 Juin, les essais ont été repris. La température n'a pu être mesurée exactement, la graduation du galvanomètre n'étant pas assez étendue.

(1) Au cours des essais des locomotives chauffées au charbon au Laboratoire de l'Université de l'Illinois, les températures trouvées ont varié de 266° à 405°.

(Voir Laboratory Tests of a Consolidation Locomotive).

Ces mesures n'étaient pas satisfaisantes, le pyromètre à couple nickel, nickel-chrome ne permet pas d'effectuer dans de bonnes conditions des mesures de température aussi élevées.

Des mesures ont été faites à nouveau le 17 Juin au pyromètre Féry ; les résultats ont été les suivants :

|  |        |
|--|--------|
| Flamme.....  | 1.650° |
| Sortie du brûleur.....   | 1.700° |
| Point où la flamme frappe la devanture en pleine marche près de la porte.. | 1.680° |

V. — **ETABLISSEMENT DU BILAN THERMIQUE.**

Le bilan thermique (1) a été établi en partant des mesures moyennes effectuées au cours du voyage du 10 Juin de Paris à Saint-Pierre-des-Corps.

**Données du bilan.** — 1° *Huile* composition : ..... C = 86,1  
 ..... H = 11,7  
 Impuretés..... = 2,2

Pouvoir calorifique mesuré à la bombe Mahler : 10.500 cal.

2° *Fumées* analyse moyenne : CO<sup>2</sup>..... 10,57  
 O<sup>2</sup>..... 4,55  
 CO ..... 0,22  
 Az<sup>2</sup>..... 84,64  
 Température..... 330°

3° *Vaporisation moyenne par kg. d'huile* : ..... 13<sup>k</sup>2

(Cette quantité a été déterminée d'après le volume d'eau employé à l'alimentation ; elle est un peu trop forte pour des raisons que nous exposerons plus loin).

4° *Pression moyenne de la chaudière* : ..... 16 kg. au manomètre  
 ..... soit 17 kg. absolus

5° *Vapeur employée à la pulvérisation* : ..... 0<sup>kg</sup>,450 par kg. d'huile  
 (Les mesures ont été faites par la Compagnie d'Orléans).

6° *Température extérieure* : ..... 20°

**Calories disponibles dans 1 kg. d'huile.** — Le pouvoir calorifique de l'huile employée mesuré à la bombe Mahler, c'est-à-dire à volume constant, eau condensée, est

---

(1) Au sujet des bilans thermiques en général, voir Ch de la Condamine et P. Appell. — Qu'est-ce qu'un bilan thermique et comment l'établit-on. *Chaleur et Industrie*, Nos de Juin et suivants.

de 10.500 calories. L'huile étant en réalité brûlée à pression constante, l'eau restant à l'état de vapeur, il convient d'effectuer une correction donnée par la formule :

$$53 H + 6 A \text{ dans laquelle}$$

H représente la teneur en hydrogène et  
A la teneur en eau.

Le pouvoir calorifique réel dans les conditions d'emploi est donc :

$$10.500 - 53 \times 11,7 - 6 \times 1,5 = 9.871$$

(en supposant 1,5 d'eau sur les 2,2 d'impuretés de l'huile).

**Calories disponibles dans la vapeur de pulvérisation.** — 450 g. de vapeur à 203° (température correspondant à la pression de 17 kg.) apporte un nombre de calories égal au nombre de calories nécessaires pour élever 450 g. de vapeur de 20 à 200° à pression constante, soit : 39 calories.

**Calories perdues par les fumées.** — a) *Calcul du volume de fumées correspondant à 1 kg. de combustible.* — Tout le carbone du combustible se retrouve dans les fumées. Supposons les volumes de l'analyse des fumées exprimées en volumes moléculaires et calculons le poids de carbone dans 100 volumes de fumées :

$$10,57 \text{ de } CO^2 \text{ contiennent } 10,57 \times 12 = 126,84 \text{ g.}$$

$$0,22 \text{ de } CO \quad \text{— d° —} \quad 0,22 \times 12 = \underline{2,64 \text{ g.}}$$

$$100 \text{ vol. moléculaires de fumées contiennent : } 129,48 \text{ g.}$$

Comme d'autre part, 1 kg. de combustible contient 861 g. de carbone, à 1 kg. de combustible correspond un volume de fumées eau condensée égal à :

$$100 \times \frac{861}{129,48} = 665 \text{ volumes moléculaires.}$$

b) *Composition des fumées.* — A ces 665 volumes moléculaires il faut ajouter :

1° La vapeur d'eau provenant du combustible, c'est-à-dire  $\frac{117}{2} = 58,5$  molécules provenant de la combustion de l'hydrogène.

$$\frac{1,5}{18} = 0,8 \text{ molécules provenant de l'eau du combustible.}$$

2° La vapeur d'eau de pulvérisation, c'est-à-dire :

$$\frac{450}{18} = 25 \text{ molécules}$$

Les fumées globales correspondant à 1 kg. de combustible se répartissent finalement ainsi :

$$CO^2 \dots\dots 665 \times \frac{10,57}{100} = 70,3 \text{ molécules.}$$

$$O^2 \dots\dots 665 \times \frac{4,55}{100} = 30,2 \quad \text{»}$$

$$CO \dots\dots 665 \times \frac{0,22}{100} = 1,5 \quad \text{»}$$

$$Az^2 \dots\dots 665 \times \frac{84,64}{100} = 562,9 \quad \text{»}$$

$$H^2O \dots\dots 58,5 + 0,8 + 25 = 84,3 \quad \text{»}$$

c) *Calories perdues par la combustion incomplète.* — La combustion de 1 molécule d'oxyde de carbone dégage 68,2 calories. La non-combustion de 1,5 molécules a donc fait perdre :  $1,5 \times 68,2 = 102$  calories.

d) *Calories perdues par la chaleur latente des gaz s'échappant à la cheminée.* — Le nombre des calories emportées par les gaz à 330° est égal au nombre de calories qu'il aurait fallu leur fournir pour les porter de la température ambiante (20°) à 330°.

En tenant compte des chaleurs d'échauffement des différents gaz de 20° à 330°, on trouve que ce nombre est :

|   |                             |         |
|---|-----------------------------|---------|
| Pour CO <sup>2</sup> .....                      | 70,3 × 3,00 =               | 210,9   |
| Pour CO, Az <sup>2</sup> , O <sup>2</sup> ..... | (1,5 + 562,9 + 30) × 2,17 = | 1.290,3 |
| Pour H <sup>2</sup> O .....                     | 84,3 × 2,79 =               | 235,2   |
|   |                             | 1.736,4 |

**Calories utilisées à la vaporisation.** — La vaporisation par kg. d'huile a été déterminée en divisant la quantité d'eau envoyée du tender à la chaudière par la quantité d'huile brûlée entre le départ de Paris et l'arrivée à St-Pierre-des-Corps. On a trouvé 13<sup>kg</sup>,2.

Le chiffre trouvé est probablement trop élevé : il s'est en effet produit des entraînements d'eau, la machine étant à vapeur saturée, une partie de l'eau a donc été consommée sans être vaporisée.

Il est possible de déterminer avec une approximation plus grande que celle donnée par les mesures précédentes, la quantité de calories employée à la vaporisation, par différence des calories disponibles et des calories perdues. En supposant le nombre des calories perdues par rayonnement et conductibilité égal à 300 (le rayonnement des locomotives est faible) nous trouvons :

$$9.871 + 39 - 102 - 1.736 - 300 = 7.772 \text{ calories.}$$

ce qui correspond à une vaporisation de :

$$\frac{7,772}{651,8} = 11^{\text{kg}},9 \text{ par kg. d'huile brûlée.}$$

Il faut en effet 651,8 calories pour transformer 1 kg. d'eau à 20° en vapeur à 17 kg.

Sur ces 11<sup>kg</sup>,9 de vapeur, 450 grammes sont employés à la pulvérisation de l'huile. Ces 450 grammes ont absorbé pour leur vaporisation  $0,45 \times 651,8 = 293,3$  calories.

Le bilan est finalement le suivant pour 1 kilogramme de combustible :

|  | RECETTES | DÉPENSES |
|--|----------|----------|
| Calories disponibles dans le combustible .....                             | 9.871    | »        |
| d° apportées par la vapeur de pulvérisation .....                          | 39       | »        |
| d° perdues par combustion incomplète .....                                 | »        | 102      |
| d° emportées par les fumées .....  | »        | 1.736    |
| d° utilisées à la production de la vapeur disponible pour la propulsion... | »        | 7.479    |
| d° — d° — de la vapeur de pulvérisation .....                              | »        | 293      |
| d° perdues par rayonnement et conductibilité .....                         | »        | 300      |
|  | 9.910    | 9.910    |

La répartition des calories disponibles est la suivante :

|   |        |
|---|--------|
| Calories perdues par combustion incomplète.....                             | 1,0 %  |
| — emportées par les fumées.....   | 17,5 % |
| — perdues par rayonnement et conductibilité.....                            | 3,0 %  |
| — utilisées à la production de la vapeur disponible pour la propulsion..... | 75,5 % |
| — utilisées à la production de la vapeur de pulvérisation.....              | 3,0 %  |

Ce bilan fait ressortir un rendement thermique de la chaudière de 78,5 %.

Mais en réalité, toute la vapeur produite n'est pas disponible pour la propulsion : 450 g. sur 12<sup>kg</sup>,1 sont employés à la pulvérisation de l'huile. Pour la comparaison avec les locomotives chauffées au charbon, il convient de déterminer le rapport des calories utilisées à la production de vapeur disponible pour la propulsion, aux calories existant dans le combustible :

$$\frac{7.479}{9.871} = 75,7.$$

75,7 des calories du combustible sont employées à produire de la vapeur disponible pour la propulsion.

**Précision de ce bilan.** — Les mesures de température et les analyses de gaz qui ont servi à l'établissement de ce bilan ont pu être effectuées avec une grande précision. La somme des calories rayonnées et des calories utilisées à la vaporisation peut être considérée comme exacte ; seule la répartition des calories entre ces deux catégories a été faite d'une manière quelque peu arbitraire. L'erreur ne peut cependant dépasser 4 % des calories disponibles, le nombre des calories perdues par rayonnement et conductibilité étant certainement compris entre 1 et 7 %.

#### VI. — COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS OBTENUS DANS D'AUTRES INSTALLATIONS CHAUFFÉES A L'HUILE LOURDE.

Il est intéressant de comparer les résultats indiqués précédemment avec ceux obtenus dans les essais de diverses installations de chaudières chauffées à l'huile lourde. Malheureusement la plupart des résultats d'essais publiés ne donnent pas suffisamment de renseignements pour permettre une comparaison utile.

Les quelques essais que nous citons ci-dessous ont été intentionnellement choisis parmi ceux ayant donné les meilleurs résultats.

**Chaudière de torpilleur.** — Les essais d'une chaudière de torpilleur ont donné les résultats suivants (1) :

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Pression à la chaudière.....        | 12 kg. |
| Combustible : pétrole de Bakou..... | C = 87 |
|                                     | H = 13 |
| Pouvoir calorifique supérieur.....  | 10.805 |
| » » inférieur.....                  | 10.143 |

(1) Voir Damour « Les sources de l'Energie Calorifique », p. 151.

|   |         |
|---|---------|
| Analyse des gaz : CO <sup>2</sup> .....   | 13,1    |
| — O <sup>2</sup> .....                    | 3       |
| — Az <sup>2</sup> .....                   | 83,9    |
| Température à la base de la cheminée..... | 500°    |
| Vaporisation par kg. d'huile.....         | 11 kg,7 |

La répartition des calories disponibles est la suivante :

|  |        |
|--|--------|
| Calories utilisées.....                          | 70,9 % |
| — emportées par les fumées.....                  | 21,9 % |
| — perdues par rayonnement et conductibilité..... | 7,2 %  |

L'on voit que la proportion d'acide carbonique est un peu plus forte que dans le cas de la locomotive, l'excès d'air est donc un peu moins grand ; mais par contre, la température des gaz à la base de la cheminée est plus forte, et finalement le rendement est moins bon.

**Analyse des gaz de combustion d'huile lourde.** — Les résultats suivants sont donnés par Ed. Butler dans son ouvrage sur l'huile lourde (1) comme exemples d'excellente combustion d'huiles lourdes :

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| Composition de l'huile lourde..... | H = 10,78 |
|                                    | C = 87,9  |

**Analyse des gaz.**

|  | 1 <sup>er</sup> Exemple. | 2 <sup>e</sup> Exemple. |
|--|--------------------------|-------------------------|
| CO <sup>2</sup> .....                      | 13,2                     | 12,6                    |
| O <sup>2</sup> .....                       | 3,6                      | 4,0                     |
| Az <sup>2</sup> .....                      | 83,2                     | 83,4                    |
| CO, CH <sup>4</sup> , H <sup>2</sup> ..... | 0,0                      | 0,0                     |

Ces analyses sont à peine meilleures que celles trouvées dans les cas de la locomotive.

Ed. Butler donne également (2) des analyses effectuées sur des chaudières marines, lors d'essais effectués par la « United States Liquid fuel Board » ; les meilleures sont les suivantes :

|                       | 7,6 | 7,8 | 7,8  | Température<br>à la cheminée.<br>—<br>373° |
|-----------------------|-----|-----|------|--|
| CO <sup>2</sup> ..... | 7,6 | 7,8 | 7,8  | 373°                                       |
| O <sup>2</sup> .....  | 9,2 | 9,6 | 10,1 | 257°                                       |
| CO.....               | 0,4 | 0,5 | 0,0  | 322°                                       |

Ces analyses montrent un excès d'air beaucoup plus fort que dans le cas de la locomotive.

**Locomotives.** — Les seuls essais méthodiques de locomotives chauffées à l'huile lourde dont nous ayons connaissance sont les suivants :

1° Ed. Butler (3) cite les résultats d'essais effectués par la « South Pacific Railroad ».

(1) Butler Oil Fuel, its supply, composition and application. Londres 1914, p. 41.

(2) Butler. Oil Fuel its supply composition and application, p. 132 et suivantes.

(3) Ed. Butler. Oil Fuel, Its supply, composition and application, p. 220.

Malheureusement des données essentielles manquent pour apprécier les résultats : l'analyse de l'huile, son pouvoir calorifique, l'analyse des gaz à la cheminée ne sont pas donnés.

Dans ces conditions les seuls résultats qui peuvent être utilement comparés à ceux trouvés au cours des essais faits par la Compagnie d'Orléans sont les suivants :

Température des gaz ..... 425° (centigrades)  
 Rendement de la chaudière..... 73,84 %

2° Le dernier bulletin de l'«International Railway fuel association», paru en Juin 1920, donne la description d'essais très complets de locomotive chauffée à l'huile lourde (1).

Ces essais ont été faits en service normal au cours de l'année 1919 dans les Etats de Californie et d'Arizona sur trois locomotives munies de dispositifs différents.

Les résultats ci-dessous sont les résultats moyens des essais pour ces divers locomotives :

Huile employée : Fuel Oil, pouvoir calorifique 18.550 B. T. U. par livre, 10.332 calories par kilogramme.

|                                   | LOCOMOTIVES |       |       |
|-----------------------------------|-------------|-------|-------|
|                                   | 1643        | 956   | 954   |
| Température des gaz.....          | 334°        | 316°  | 339°  |
| Eau évaporée par kg. d'huile..... | 11,14       | 10,98 | 10,86 |
| Rendement de la chaudière .....   | 76,4        | 75,6  | 75,3  |

L'essai le meilleur, locomotive 956, 40° voyage, a donné les résultats suivants :

Température des gaz..... 311°  
 Eau évaporée par kg. d'huile..... 11,42  
 Rendement de la chaudière..... 78,3

Les analyses de gaz ne sont pas données.

Au cours du même article (2) on cite des essais faits en 1909 pour régler l'arrivée d'air, au cours desquels on a obtenu la composition des gaz suivants (composition moyenne pendant un voyage) :

O<sup>2</sup> ..... 2,97  
 CO ..... 0,53  
 CO<sup>2</sup> ..... 12,53  
 Az<sup>2</sup> ..... 83,97

(1) International Railway Fuel Association-Twelfth assural meeting Chicago 24 au 27 Mai 1920. Article de Walter Bohnstengel « Oil burning practice on locomotive with resulting fuel performance on the A. T. and S. F. Railway system ». Voir le résumé des résultats, p. 157-158-159.

Il est intéressant de noter que ces essais n'étaient pas encore connus en France lorsque les essais de l'Orléans ont eu lieu.

(2) Même publication, p. 84.

**Conclusion.** — Le tableau ci-dessous permet la comparaison des résultats obtenus dans ces différents cas avec ceux que nous avons déterminés au cours des essais effectués par la Compagnie d'Orléans.

**Locomotives.**

|   | ORLÉANS | CALIFORNIE ET ARIZONA |      |      |      | 1909     | SOUTH   | CHAUDIÈRE        |
|---|---------|-----------------------|------|------|------|----------|---------|------------------|
|   |         |                       |      |      |      | AMÉRIQUE | PACIFIC | de<br>TORPILLEUR |
| Température des gaz.....                | 330°    | 334°                  | 316° | 339° | 311° |          | 425°    | 500°             |
| Analyse des gaz.. CO <sup>2</sup> ..... | 10,57   |                       |      |      |      | 12,52    |         | 13,4             |
| » .. O <sup>2</sup> .....               | 4,55    |                       |      |      |      | 2,97     |         | 3,0              |
| » .. CO.....                            | 0,22    |                       |      |      |      | 0,53     |         | 0,0              |
| » .. Az <sup>2</sup> .....              | 84,64   |                       |      |      |      | 83,97    |         | 83,9             |
| Rendement de la chaudière ...           | 78,5    | 76,4                  | 75,6 | 75,3 | 78,3 |          | 73,84   | 70,9             |

Les divers exemples cités font apparaître les résultats obtenus dans le cas de la locomotive essayée par la Compagnie d'Orléans comme excellents, aussi bien lorsque l'on considère le rendement, que lorsque l'on considère la température ou l'analyse des gaz.

**VII. — COMPARAISON AVEC LES LOCOMOTIVES  
CHAUFFÉES AU CHARBON.**

Pour chiffrer avec quelque exactitude l'économie de calories résultant de l'emploi de combustibles liquides, il serait nécessaire de procéder à des essais complets sur deux locomotives du même type chauffées, l'une à l'huile lourde, l'autre au charbon.

En attendant que ces essais aient lieu, on peut cependant prévoir que l'utilisation des calories du charbon est moins bonne que l'utilisation des calories de l'huile, et cela pour plusieurs raisons :

1° Pour brûler du charbon sur une grille il faut un excès d'air beaucoup plus fort que pour brûler de l'huile pulvérisée, d'où perte à la cheminée plus forte à égalité de température des gaz ;

2° En brûlant du charbon on ne peut éviter que les cendres et les escarbilles ne contiennent des imbrûlés ;

3° Les pertes à la mise en pression, aux arrêts, à la mise bas des feux, sont beaucoup plus grandes avec le charbon qu'avec l'huile.

Pour se rendre compte de l'importance de ces pertes supplémentaires on peut se baser sur les résultats obtenus à l'« Engineering experiment station » de l'Université de l'Illinois. Cette université a monté un laboratoire où des essais peuvent être faits sur une locomotive au point

fixe. Dans une publication récente de cet établissement le bilan suivant est donné comme bilan type d'une locomotive bien conduite (1) :

|   |      |
|---|------|
| Calories utilisées à produire de la vapeur..... | 70 % |
| — emportées par les fumées.....                 | 14 % |
| — perdues par les imbrûlés des cendres.....     | 4 %  |
| — perdues par les escarbilles.....              | 8 %  |
| Chaleur perdue dans le cendrier.....            | 4 %  |

Il y a lieu de faire quelques réserves au sujet de ce bilan, les pertes par les fumées semblent singulièrement faibles, et le rendement exagéré. En effet, lors des 82 essais énumérés dans une publication antérieure (2) les rendements ont varié de 38,8 % à 69,88 %, et les pertes par les fumées 11,0 % à 33,7 %.

On peut cependant conclure de ces renseignements, par comparaison avec le bilan que nous avons établi pour une locomotive chauffée à l'huile lourde, que, en marche normale, 7 à 16 % des calories sont utilisées en plus, lorsque l'on emploie du combustible liquide. Si l'on fait intervenir les arrêts, mises en pression, mises bas des feux, l'avantage en faveur de l'huile lourde apparaît comme encore plus fort.

#### VIII. — CONCLUSIONS.

Les conclusions à tirer des essais effectués sont les suivantes :

1° La combustion de l'huile dans la locomotive essayée se fait dans d'excellentes conditions (faible excès d'air, combustion complète) ;

2° Le rendement thermique est très satisfaisant. On ne pourra guère l'améliorer que d'une faible quantité en diminuant l'excès d'air, et encore il conviendra d'agir avec prudence, car on risque d'arriver à une combustion incomplète ;

3° Dans le cas du chauffage des locomotives, l'utilisation des calories disponibles dans l'huile lourde est plus complète que l'utilisation des calories disponibles dans le charbon. Si les prix du charbon et de l'huile lourde étaient les mêmes à pouvoir calorifique égal, il y aurait certainement économie à employer l'huile lourde pour le chauffage des locomotives.

On peut évaluer cette économie à 20 ou 25 % de la dépense (3).

Les Américains admettent le chiffre de 25 % (4).

De plus, il faudrait faire intervenir les facilités plus grandes de manutention du combustible

(1) The economical use of coal in railway locomotives. — Circulaire N° 8, Septembre 1918. — University of Illinois Bulletin, p. 14.

(2) Laboratory tests of a consolidation locomotive, by Schmidt, Saodgrass and Keller Bulletin N° 82. Engineering experiment station published by the University of Illinois, p. 20. 47 et 114.

(3) Autrement dit, en admettant, ce qui est en moyenne exact, que à poids égal le pouvoir calorifique, de l'huile lourde est 1,6 fois plus grand que celui du charbon, là où une locomotive brûlerait 2 tonnes de charbon, elle brûlerait 1 tonne d'huile.

(4) International railway fuel association. — Twelfth assural meeting, p. 90.

liquide, le poids moindre à pouvoir calorifique égal, l'absence de cendres, la fatigue moindre du chauffeur, etc., considérations qui sortent du cadre de la présente étude, mais sont toutes à l'avantage de l'huile lourde.

Paris, le 24 Juin 1920.

CH. DE LA CONDAMINE,  
Ingénieur Principal  
de l'Office Central de Chauffage rationnelle.

**Dépense de vapeur pour la pulvérisation.** — La dépense de vapeur nécessaire pour la pulvérisation de l'huile a été déterminée expérimentalement par mesure après condensation.

On a introduit dans une bêche remplie d'eau un tuyau branché sur la conduite de vapeur allant au brûleur et ayant même diamètre que cette conduite ; ce tuyau était terminé par un ajutage présentant le même orifice d'écoulement que celui du brûleur (orifice de  $70 \times 1,5$ ).

Le brûleur étant condamné et la chaudière étant à la pression du timbre, on a fait ensuite condenser dans l'eau de la bêche, pendant 10 minutes, la vapeur de pulvérisation ; le robinet était ouvert dans les conditions normales de marche.

La différence des volumes de l'eau contenue dans la bêche, après et avant l'expérience, en tenant compte des densités respectives de l'eau aux températures initiale et finale, a donné la consommation de vapeur employée pour la pulvérisation.

Cette consommation est d'environ 3,5 % de la dépense totale d'eau et de 0 kg. 450 par kilogramme d'huile pulvérisée.

#### IV. — EXAMEN DES RÉSULTATS DES ESSAIS.

Les trois points intéressants à relever dans les essais sont :

La vaporisation, la consommation d'eau, la consommation de fuel oil.

**Vaporisation.** — Dans les essais faits en 1912 sur le parcours Paris-Tours avec une locomotive Pacific compound 3500, à vapeur surchauffée de même type et de même puissance que la locomotive 4563, en employant un combustible de choix composé de : 60 % gailletterie d'Aniche ; 40 % briquettes d'Aniche et donnant 8.400 calories, on n'a jamais dépassé 8 kg. pour la vaporisation. Le « fuel oil » employé pour les essais donnant 10.500 calories, le chiffre moyen de 13 kg. 2 trouvé pour la vaporisation de la locomotive 4563 doit être trop fort. Cette hypothèse est confirmée par le bilan thermique qui démontre qu'avec l'huile employée, la vaporisation pourrait tout au plus atteindre 12 kg. 2 ; les 8,2 % supplémentaires d'eau n'ont donc pas été vaporisés et sont passés par entraînement aux cylindres. Ce pourcentage d'eau entraînée paraît normal, si l'on considère que la tête du régulateur de prise de vapeur est relativement près du plan d'eau et que ce plan d'eau était souvent situé très haut dans le tube de niveau, l'alimentation de la chaudière ayant été forcée dans certaines périodes du parcours pendant lesquelles la vaporisation abondante n'était pas utilisée complètement ; c'était là évidemment une marche peu économique qui depuis a été améliorée par le réglage judicieux de la combustion, maintenant que la liaison entre le mécanicien et le chauffeur est parfaitement assurée. Quoi qu'il en soit, il paraît nécessaire, pour les machines chauffées au fuel oil, de prévoir dans le dôme sous le régulateur, un séparateur qui réduira au minimum les entraînements d'eau.

**Consommation d'eau.** — La consommation d'eau par cheval-heure au crochet du tender a atteint une moyenne de 16 kg. Aux essais de 1912, faits avec la machine 3545, la dépense correspondante n'avait été que de 12 kg. 5. Or, la locomotive 3545 est à vapeur surchauffée, sa consommation d'eau aurait été environ 15 % plus forte si elle avait été comme la locomotive 4563, à vapeur saturée, soit 14 kg. 4.

L'augmentation de dépense de 11 % peut donc être décomposée ainsi :

3,5 % pour la pulvérisation de l'huile et 7,5 % pour l'eau entraînée et les pertes résultant de l'état médiocre d'entretien dans lequel se trouvait la machine au moment des essais. Il y a lieu de remarquer que la locomotive d'essai avait été choisie à dessein dans cet état pour que les résultats donnés soient des résultats pratiques de marche courante comparable à ceux obtenus avec un matériel usagé.

**Consommation de « fuel oil ».** — La consommation moyenne de « fuel oil » par 100 tonnes kilométriques remorquées y compris la machine et le tender a été pour les 4 trains des 8, 9, 10 et 11 Juin de 2 kg. 16. Dans cette consommation est comprise la dépense pour allumage et mise en pression de la machine ; cette dépense est d'environ 350 kg.

Pour une machine de même série, chauffée au charbon et assurant la remorque des mêmes trains sur les mêmes sections, la dépense de charbon est de 4 kg. 2, allumage et mise en réserve compris.

Le charbon employé ne donnant guère que 7.200 à 7.500 calories et le rapport d'équivalence étant de 1,94 il en résulte que les conclusions de la Note de M. de la Condamine sont pleinement vérifiées.

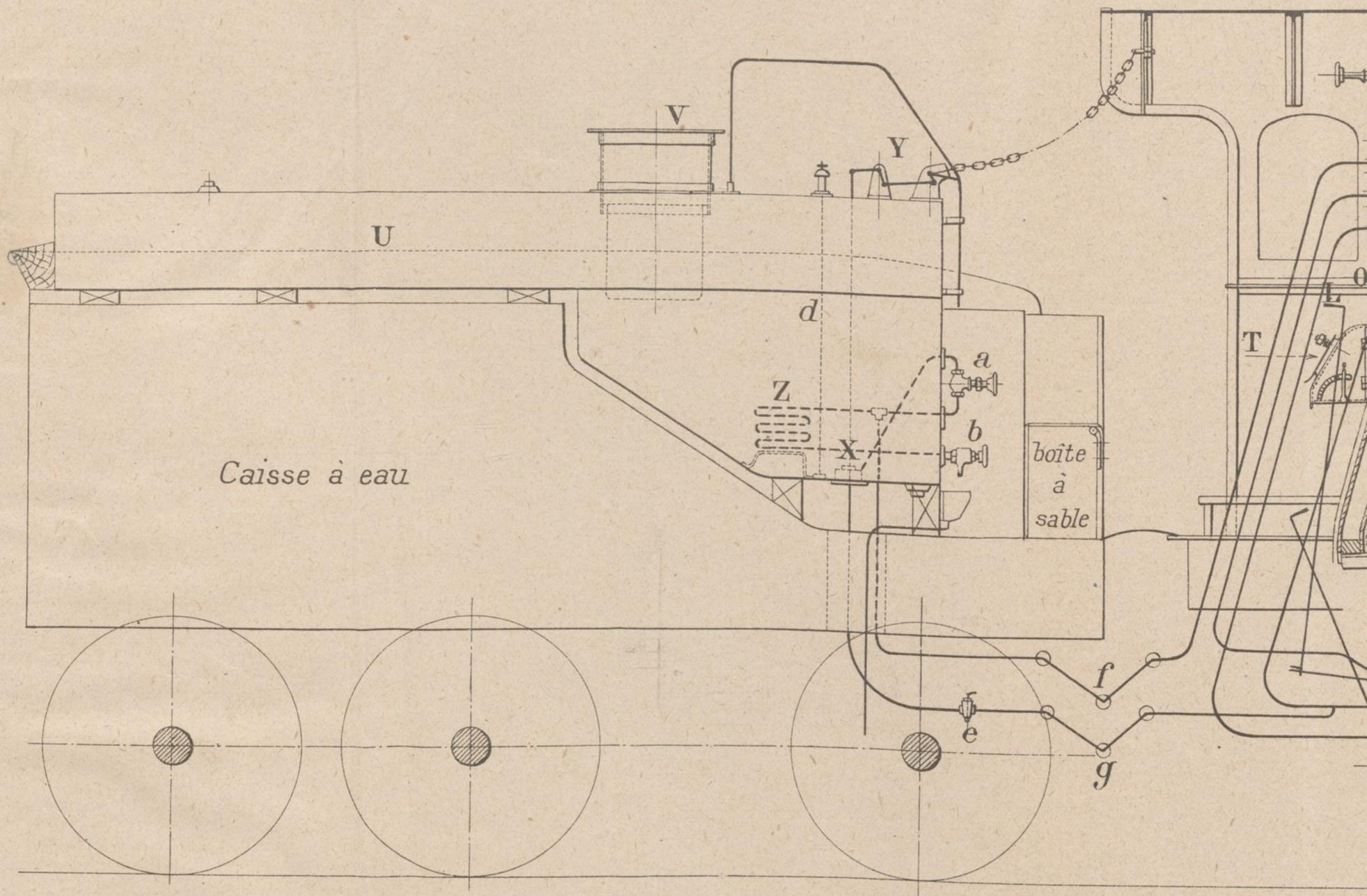
En résumé, les premiers essais effectués avec la machine 4563 ont montré, et c'était leur objet principal, que le chauffage au « fuel oil » pouvait être appliqué avec succès, tant au point de vue mécanique qu'au point de vue thermique, sur des locomotives de construction européenne à foyer en cuivre et à timbre élevé, en conservant intégralement la chaudière existante. Ce fait présente une grande importance, puisque, si pour des raisons financières ou autres on voulait passer du chauffage à l'huile au chauffage au charbon ou réciproquement, la substitution pourrait être faite très rapidement, le travail consistant uniquement dans un démontage et un remontage d'appareils.

Ces essais ont également fait ressortir l'augmentation de la puissance de la chaudière. Avec une locomotive type 4500 chauffée au charbon, la puissance est limitée, aux grandes vitesses, par la production de vapeur ; avec la même machine chauffée à l'huile, la puissance aux grandes vitesses n'est plus limitée par la production de vapeur.

Aux essais des 8, 9, 10 et 11 Juin, la locomotive 4563, malgré l'augmentation du tonnage normal, a remorqué le train en gagnant environ 1/10 du temps alloué par l'horaire. Avec cette marche dure, la chaudière, dans les points les plus difficiles du parcours, a toujours été maintenue au timbre. La vaporisation aurait pu même être augmentée, mais le tonnage du train n'aurait pas permis d'utiliser ce surcroît de production ; pour cette raison, l'augmentation de puissance de la chaudière due au chauffage à l'huile n'a pu être déterminée.

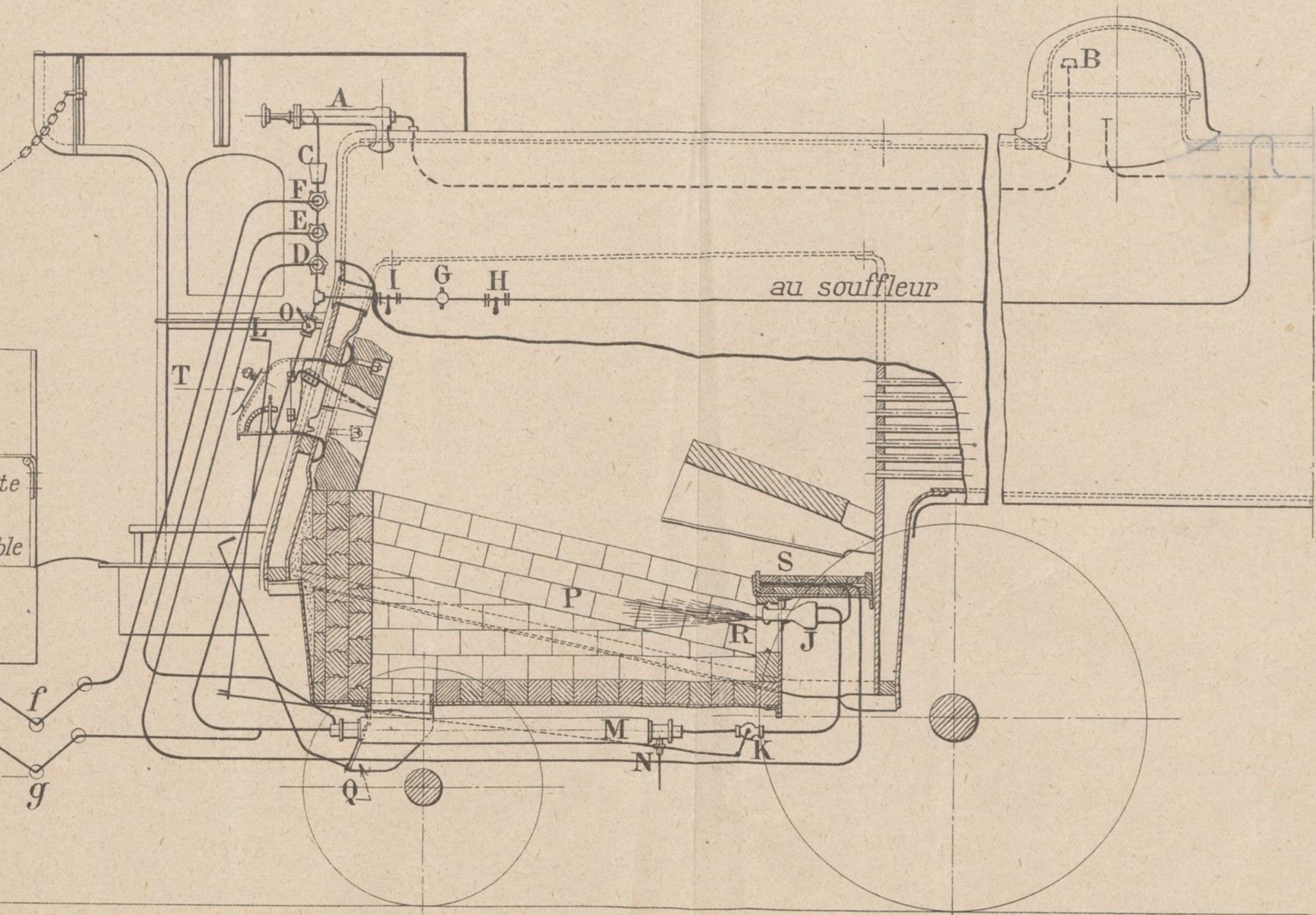
La question technique étant ainsi résolue, la Compagnie d'Orléans se propose, si l'approvisionnement en huile peut être assuré dans des conditions acceptables, d'équiper un certain nombre de locomotives puissantes de différents types assurant le service sur les lignes Paris-Bordeaux et Paris-Nantes.

Disposition schématique des appareils sur



- A - Robinet principal de prise de vapeur
- B - Séparateur d'eau et de vapeur
- C - Soupape de retenue de la prise de vapeur principale
- D - Robinet de prise de vapeur de la pulvérisation du "fuel oil"
- E - Robinet de prise de vapeur du réchauffeur annulaire
- F - Robinet de prise de vapeur du réchauffeur du réservoir
- G - Raccord de la prise de vapeur auxiliaire
- H.I - Robinets d'arrêt
- J - Brûleur
- K - Robinet de réglage de l'arrivée de "fuel oil" au brûleur
- L - Commande du robinet K
- M - Réchauffeur annulaire de "fuel oil" placé au
- N - Purgeur automatique de l'eau condensée
- O - Robinet de nettoyage de la conduite de "fu
- P - Revêtement réfractaire de la chambre de
- Q - Ouverture pour arrivée d'air verticale
- R - Ouverture pour arrivée d'air horizontale
- S - Surchauffeur de la vapeur de pulvérisation
- T - Porte de foyer avec papillon de réglage d
- U - Réservoir de "fuel oil"

Les appareils sur la Locomotive et le Tender.



robinet K  
 nulaire de "fuel oil" placé avant le brûleur  
 atique de l'eau condensée  
 oyage de la conduite de "fuel oil"  
 ractaire de la chambre de combustion  
 arrivée d'air verticale  
 r arrivée d'air horizontale  
 e la vapeur de pulvérisation de "fuel oil"  
 avec papillon de réglage de l'air.  
 fuel oil"

- V. - Ouverture de remplissage avec paniers filtres
- X - Clapet de prise de "fuel oil"
- Y - Commande du clapet X
- Z - Serpentin réchauffeur du "fuel oil" du réservoir
- a - Robinet de soufflage du "fuel oil" dans le réservoir
- b - Robinet purgeur de l'eau du réchauffeur
- d - Jauge de "fuel oil".
- e - Robinet d'arrêt de "fuel oil"
- f - Accouplement métallique de la conduite de vapeur au réchauffeur Z
- g - Accouplement métallique de la conduite de "fuel oil"