

## EXPOSÉ

DE LA QUESTION DES RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES RELATIFS AUX  
TUBES A FUMÉE DES LOCOMOTIVES (ART. XII, LITT. B, DU QUESTION-  
NAIRE DE LA TROISIÈME SESSION DU CONGRÈS) <sup>(1)</sup>

Par A. HODEIGE  
INGÉNIEUR AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE

(PLANCHE XIV<sup>96</sup>)

Les développements dans lesquels nous sommes entré pour la rédaction des formulaires relatifs aux bandages nous permettent d'être beaucoup plus bref en ce qui concerne les tubes à fumée des locomotives.

Les conditions de réception, d'établissement, de montage, etc., des tubes à fumée présentent d'ailleurs peu de variété.

Des considérations analogues à celles que nous avons fait valoir à propos des bandages, nous ont amené à diviser également les formulaires relatifs aux tubes à fumée en cinq chapitres, savoir :

- CHAPITRE I<sup>er</sup>. — *Consommation des tubes à fumée.*
- II. — *Nature des tubes à fumée.*
- III. — *Conditions d'établissement des tubes à fumée.*
- IV. — *Essais.*
- V. — *Renseignements complémentaires.*

### CHAPITRE I.

#### Consommation des tubes à fumée.

Les dimensions et le nombre des tubes à fumée varient suivant la puissance des locomotives. Cependant, en vue de faciliter les approvisionnements et de pou-

<sup>(1)</sup> Ce littéra est ainsi rédigé : « Examen des formulaires des renseignements techniques à recueillir en vue d'une nouvelle session du Congrès sur... B. *Les tubes à fumée des locomotives.* »

voir utiliser aisément les tubes de remploi, les Compagnies de chemins de fer ont adopté généralement, tout au moins pour les locomotives des types usuels, un diamètre de tube uniforme. Pour obtenir la surface de chauffe exigée par la puissance de leurs moteurs, elles font varier le nombre et la longueur des tubes. Le diamètre intérieur des tubes est ordinairement de 40 à 50 millimètres; ce n'est que pour des chaudières très courtes qu'on a parfois réduit le diamètre des tubes à moins de 40 millimètres.

L'épaisseur des tubes ne s'écarte guère de 2.5 millimètres.

Quant à la longueur, elle varie avec la puissance des moteurs; elle s'abaisse rarement en dessous de 3 mètres; elle ne dépasse qu'exceptionnellement 5 mètres.

Eu égard à la diversité des dimensions des tubes à fumée, la base la plus rationnelle pour évaluer leur consommation est le poids; nous prendrons comme unité le kilogramme.

Les réactions chimiques des produits de la combustion sur le métal des tubes et l'usure occasionnée par les particules solides entraînées sont les causes principales de la détérioration des tubes à fumée. La composition des eaux utilisées et la qualité du métal employé interviennent également, surtout lorsque les tubes sont en fer ou en acier. L'altération des tubes peut donc être considérée comme étant en rapport avec le travail des locomotives.

Ce travail peut être évalué en fonction du parcours effectué ou en fonction des quantités de combustible consommées. Cette dernière base est la plus rationnelle, mais il convient de remarquer que toutes les Compagnies ne font pas usage du même combustible. Aussi, nous croyons qu'il est utile de tenir compte également du parcours des machines.

Nous rapporterons, en conséquence, la consommation des tubes à fumée à la consommation de combustible et au parcours des locomotives, et nous la déterminerons en kilogrammes par tonne de combustible et par locomotive kilomètre.

Pour obtenir des résultats comparables, il convient de ne pas envisager l'ensemble des locomotives, mais de faire une distinction entre les différents types en usage.

Au point de vue de la question qui nous occupe, la distinction doit surtout être basée sur la puissance des moteurs et sur le service qu'ils ont à assurer. Nous proposons la classification suivante :

Locomotives à voyageurs ordinaires;  
— — — pour fortes rampes;

Locomotives à marchandises ordinaires ;  
— — pour fortes rampes ;  
— de gare.

Toutefois, comme les renseignements statistiques de toutes les Compagnies peuvent ne pas être suffisamment détaillés, nous évaluerons également la consommation des tubes à fumée sur l'ensemble des moteurs employés.

## CHAPITRE II.

### Nature des tubes à fumée.

*Métal employé.* — Le cuivre, le laiton, le fer et l'acier sont employés pour la fabrication des tubes à fumée.

Les tubes en cuivre ont l'avantage d'être peu attaqués par les produits de la combustion ; mais leur prix élevé et leur manque de rigidité et de dureté en ont fait restreindre l'usage.

L'acier est peu utilisé également ; il ne présente sur le fer aucun avantage, il semble même s'altérer plus aisément.

Les tubes en laiton et en fer sont de beaucoup les plus employés et la tendance générale des Compagnies semble faire prévoir que les tubes en fer se substitueront un jour complètement aux tubes en laiton.

En Amérique et en Allemagne notamment, les tubes en fer sont d'un emploi à peu près général. Ils présentent d'ailleurs sur les tubes en laiton des avantages très sérieux. Leur prix est beaucoup moins élevé ; ils ne crèvent que très rarement en service et leur durée paraît devoir être au moins aussi considérable que celle des tubes en laiton ; leur raideur permet de réaliser un meilleur ancrage des parois des chaudières ; leur dilatation, en rapport avec celle du corps cylindrique, doit assurer une durée plus longue des plaques tubulaires ; enfin, ils permettent la suppression des viroles et facilitent ainsi le dégagement des produits de la combustion.

Les tubes en fer exigent cependant plus de soin, dans le montage, que les tubes en laiton. Toutefois, moyennant quelques précautions, et en employant du métal de bonne qualité, on parvient à obtenir, avec les tubes en fer, des joints aussi étanches qu'avec les tubes en laiton.

Les tubes en fer ont l'inconvénient de s'entarter beaucoup plus que ceux en laiton et cet inconvénient très sérieux a empêché beaucoup de Compagnies d'en

étendre l'emploi. Avec de bonnes eaux, les tubes en fer et les tubes en laiton ont donné des résultats identiques : les incrustations n'étaient pas plus fortes pour les uns que pour les autres, et, pour un même travail, la consommation de combustible était la même dans les deux cas.

Il semble donc qu'avec des eaux de bonne qualité les tubes en fer doivent être préférés aux tubes en laiton ; mais ceux-ci présentent des avantages lorsque les eaux sont de qualité médiocre ou mauvaise.

On a cherché à corriger ce défaut des tubes en fer, en les étamant à l'extérieur ou en les recouvrant d'une couche de cuivre par la galvanoplastie. Les résultats n'ont pas été satisfaisants ; au bout d'un certain temps de service, la couche d'étain ou de cuivre disparaissait et l'avantage obtenu ne compensait pas l'augmentation de prix résultant de l'opération.

Un procédé, qui a été employé avec plus de succès et dont certaines Compagnies font usage couramment, consiste à souder un bout de cuivre à l'extrémité des tubes en fer. On parvient ainsi à protéger la plaque tubulaire contre les incrustations et à obtenir aisément des joints parfaits.

*Conditions de réception des tubes à fumée.* — Les conditions de réception des tubes à fumée ne varient guère d'une Compagnie à l'autre.

Au point de vue de la fabrication, on peut exiger que l'épaisseur des tubes soit rigoureusement uniforme sur toute leur longueur et que l'état des surfaces extérieure et intérieure ne laisse rien à désirer.

Au point de vue de la malléabilité du métal, on peut prescrire qu'une portion de tube devra pouvoir être emboutie suivant une forme déterminée ou résister à une augmentation de diamètre obtenue par l'action d'un mandrin.

Au point de vue de la résistance, on peut fixer une pression intérieure ou extérieure à laquelle les tubes devront résister.

Lorsqu'il s'agit de tubes en laiton, on peut déterminer la composition du métal employé.

*Composition du métal employé.* — Ce renseignement n'est utile que pour les tubes en laiton. La composition qui paraît la plus convenable est celle d'un alliage formé d'environ 70 parties de cuivre et 30 parties de zinc. Dans un but d'économie, on a essayé d'augmenter la proportion de zinc et l'on a fait des tubes contenant 60 parties de cuivre et 40 parties de zinc ; mais cet alliage n'a pas réussi. Une proportion exagérée de zinc donne un produit très inférieur au point de vue de la résistance à l'usure. D'après M. von Waldegg, il existe une diffé-

rence variant du simple au double, lorsque la proportion de cuivre atteint 67 à 68 p. c. Il est acquis que l'acide sulfureux qui se dégage de la combustion des houilles plus ou moins pyriteuses et mouillées avant leur introduction dans le foyer, attaque plus facilement le zinc que le cuivre.

Nous croyons qu'il n'est pas sans intérêt, à ce sujet, de rapporter des essais qui ont été faits au laboratoire de l'Etat belge, en vue de comparer l'action des produits de la combustion sur le métal des tubes à fumée.

On a introduit, dans un récipient en verre, quatre plaques de 0<sup>m</sup>10 de longueur, 0<sup>m</sup>05 de largeur et 0<sup>m</sup>001 d'épaisseur : l'une de ces plaques était en zinc, une autre en cuivre, la troisième en laiton au titre de 69.4 p. c. de cuivre pour 30.6 p. c. de zinc, et la quatrième en laiton recouvert par la galvanoplastie d'une couche de cuivre. On a fait circuler pendant cinq heures, dans le récipient, un courant d'acide sulfureux et de vapeur d'eau. La plaque de zinc avait perdu, après ce temps, 2.237 p. c. de son poids; la plaque de laiton, 0.156 p. c.; la plaque de cuivre, 0.105 p. c. et la plaque de laiton et cuivre, 0.110 p. c. D'après cet essai, le zinc serait donc attaqué 45 fois autant que le laiton et 20 fois autant que le cuivre; le cuivre résisterait mieux que le laiton à l'action de l'acide sulfureux.

Comme il n'était pas possible de réunir, dans une expérience de laboratoire, toutes les conditions de la pratique, on a vérifié les résultats de l'essai primitif par l'analyse des produits recueillis à l'intérieur d'un tube à fumée. On a divisé ces produits en trois échantillons : *a*) produits recueillis dans le premier tiers du tube vers le foyer; *b*) produits recueillis dans le deuxième tiers du tube, et *c*) produits recueillis dans la partie voisine de la boîte à fumée.

L'analyse a donné les résultats suivants :

	Échantillon <i>a</i> .	Échantillon <i>b</i> .	Échantillon <i>c</i> .
Sulfate de cuivre . . . . .	5.05	6.42	6.85
Sulfate de zinc . . . . .	26.15	25.38	24.65
Oxyde de cuivre . . . . .	17.75	17.60	16.65
Oxyde de zinc . . . . .	6.24	5.35	4.82
Eau . . . . .	15.90	16.28	17.40
Suie . . . . .	24.20	24.22	25.45
Cendres . . . . .	4.10	4.10	3.45
Pertes . . . . .	0.61	0.65	0.73
	<hr/> 100.00	<hr/> 100.00	<hr/> 100.00

Le sulfate de cuivre se transforme en oxyde, par la chaleur, beaucoup plus facilement que le sulfate de zinc. C'est ce qui explique la quantité assez grande d'oxyde de cuivre relativement à la quantité d'oxyde de zinc. Les quantités de cuivre et de zinc à l'état métallique correspondant aux sulfates et aux oxydes sont les suivantes :

	Échantillon <i>a</i> .	Échantillon <i>b</i> .	Échantillon <i>c</i> .
Cuivre. . . . .	21.19 p. c.	26.60 p. c.	26.15 p. c.
Zinc . . . . .	15.37 —	14.53 —	13.81 —
Totaux. . . . .	41.76 p. c.	41.13 p. c.	39.96 p. c.

Le laiton du tube comprenait 70.11 p. c. de cuivre, 29.04 de zinc et 0.85 de plomb. Le rapport du zinc au cuivre dans la composition du laiton est donc 1 à 2.44; tandis que, pour l'échantillon *a*, il est de 1 à 1.68; pour l'échantillon *b*, 1 à 1.83; pour l'échantillon *c*, 1 à 1.89.

Il résulte de là que le zinc est relativement plus attaqué que le cuivre dans les tubes à fumée et que cette action des produits de la combustion est d'autant plus forte qu'on se rapproche davantage des parties les plus chauffées.

Il importe donc que la quantité de zinc dans le laiton des tubes à fumée ne dépasse pas une certaine proportion que l'expérience a fixée à 30 p. c. environ.

### CHAPITRE III.

#### Conditions d'établissement des tubes à fumée.

Les conditions d'établissement des tubes à fumée, au sujet desquelles il est utile d'être renseigné, sont celles relatives à la disposition des tubes dans la chaudière, à leur mode de fixation aux plaques tubulaires, à leur nombre et à leurs dimensions.

*Disposition des tubes.* — Les tubes peuvent être disposés soit en quinconce, soit par rangées verticales.

La première disposition permet de placer un plus grand nombre de tubes et d'obtenir ainsi une surface de chauffe plus considérable. La disposition par rangées verticales présente l'avantage de faciliter le dégagement de la vapeur. Aussi est-elle généralement préférée aujourd'hui.

*Mode de fixation des tubes aux plaques tubulaires.* — Les tubes sont placés dans la chaudière par la boîte à fumée. Afin de faciliter l'introduction et, le cas échéant, l'extraction des tubes, on donne aux trous de la plaque tubulaire

d'avant un diamètre un peu plus grand qu'aux trous de la plaque tubulaire d'arrière. Cette différence de diamètre, qui n'est généralement que de 1 ou 2 millimètres, atteint cependant quelquefois 3 et 4 millimètres. Dans ce cas, les trous de la plaque tubulaire d'arrière ont un diamètre un peu moindre que celui des tubes; l'extrémité postérieure de ces derniers est alors effilée sur une certaine longueur. Lorsque les tubes ont été mis en place, on les maintient en évasant leurs extrémités. Au moyen d'appareils spéciaux, on procède ensuite au mandrinage qui établit un contact intime entre le métal des tubes et celui des plaques tubulaires et on termine l'assemblage en rabattant, contre ces plaques, l'extrémité des tubes sous forme de bourrelet.

Le joint est souvent complété par l'application de viroles dont on laisse saillir l'extrémité de quelques millimètres afin de pouvoir au besoin les enfoncer plus avant.

Ces viroles sont en fer ou en acier. L'emploi de ce dernier métal permet de réduire l'épaisseur des viroles et de faciliter ainsi le dégagement des produits de la combustion.

Les viroles ont l'avantage d'assurer l'étanchéité des joints, mais elles ont l'inconvénient de diminuer la section de tirage. Aussi a-t-on cherché à en supprimer l'emploi; beaucoup de Compagnies n'en font usage que vers le foyer où, à cause de la haute température, il est plus difficile de maintenir le joint étanche; d'autres les ont supprimées aux deux extrémités des tubes. Lorsque l'on fait usage de tubes en fer, on supprime généralement les viroles.

Les renseignements techniques relatifs à la disposition des tubes et à leur fixation aux plaques tubulaires peuvent être donnés complètement au moyen d'un croquis coté, analogue à celui qui est annexé à la présente note. Pour distinguer les différents métaux qui entrent dans la confection des plaques tubulaires, du tube et des viroles, il suffira de faire usage de hachures différentes. Des cotes indiqueront l'épaisseur et le diamètre des trous des plaques tubulaires, le diamètre des tubes, la forme et les dimensions des viroles. On montrera la disposition des tubes en indiquant quelques-uns d'entre eux et en cotant l'écartement des rangées horizontales et des rangées verticales.

*Dimensions des tubes.* — Le diamètre, l'épaisseur et, par suite, le poids au mètre courant des tubes sont généralement les mêmes pour toutes les machines des types normaux d'une même Compagnie. On peut donc, pour ces dimensions, envisager l'ensemble des machines.

Il n'en est pas de même de la longueur et du nombre des tubes, qui varient d'une manière notable suivant la puissance et l'affectation des moteurs. Il est

nécessaire, pour ces données, d'envisager séparément chaque type de moteur. Nous avons adopté la classification dont nous avons fait usage pour déterminer la consommation des tubes, savoir :

- Locomotives à voyageurs ordinaires ;
- — — pour fortes rampes ;
- à marchandises ordinaires ;
- — — pour fortes rampes ;
- de gare.

#### CHAPITRE IV.

##### Essais.

Nous ne pouvons que répéter ce que nous avons dit au sujet des bandages. Le chapitre des essais est destiné à mettre à jour la question étudiée.

Il suffit de relater dans des notes spéciales les essais qui ont été faits, soit au point de vue de l'emploi de nouveaux métaux, soit au point de vue de nouvelles dispositions de montage des tubes. Ces notes indiqueront la nature des essais, leur importance, les résultats obtenus. Elles seront, le cas échéant, accompagnées de croquis explicatifs. Il ne s'agit pas, bien entendu, de rapporter tous les essais entrepris, mais ceux qui ont été faits récemment et qui ont une certaine importance.

#### CHAPITRE V.

##### Renseignements complémentaires.

*Formation des dividendes et des diviseurs.* — La consommation des tubes à fumée, telle que nous l'avons déterminée dans le chapitre I<sup>er</sup>, résulte du rapport de deux facteurs : l'un, la consommation totale des tubes exprimée en kilogrammes ; l'autre, le travail des machines représenté, soit par la consommation de combustible, soit par le parcours kilométrique.

La consommation des tubes, de même que le travail des machines, peuvent être obtenus de différentes façons ; on peut envisager l'ensemble des locomotives en service ou un certain nombre d'entre elles seulement ; on peut se baser sur la mise en service des tubes neufs ou sur la mise hors de service des tubes arrivés à leur limite d'usure ; les statistiques dont on a fait usage peuvent porter sur une seule ou plusieurs années ; on peut aussi observer pendant toute leur existence un certain nombre de tubulures et leur attachement, pendant cette période, de la consommation et du parcours des locomotives auxquelles elles sont appliquées.



Comme les façons de procéder pour la détermination de la consommation des tubes à fumée peuvent différer suivant les Compagnies, il est nécessaire d'être renseigné sur le mode adopté. C'est pour ce motif que nous croyons utile de comprendre dans les renseignements complémentaires ceux qui se rapportent à la formation des dividendes et des diviseurs.

*Règles qui régissent la mise hors d'usage des tubes.* — La consommation des tubes est influencée dans une certaine mesure par les règles admises pour leur mise hors de service.

Chez certaines Compagnies, les tubes sont mis hors d'usage lorsque leur épaisseur est réduite dans une limite déterminée ; d'autres assignent aux tubes une certaine durée exprimée en fonction du temps ou du parcours kilométrique ; d'autres admettent que les machines doivent consommer une quantité de combustible déterminée avant que leur tubulure puisse être renouvelée.

Il importe de connaître quels sont, à cet égard, les errements suivis par les Compagnies.

*Règles qui régissent le emploi des tubes.* — Il arrive souvent qu'une partie des tubes d'une tubulure peuvent encore être employés, soit parce que leur position dans la tubulure a peu compromis leur résistance, soit parce qu'ils ont été enlevés pour vérifier l'état général de la tubulure. Il arrive également qu'une tubulure est remplacée avant d'avoir atteint sa limite d'existence, par suite d'une avarie survenue à l'une des plaques tubulaires, ou d'un accident qui met la machine elle-même hors de service.

La plupart des Compagnies admettent un classement des tubes encore utilisables. Ce classement est généralement basé sur l'épaisseur des tubes ou sur la durée de leur service antérieur.

Les tubes retirés prématurément du service ont généralement leurs extrémités avariées. Dans certains cas, on rétablit la longueur primitive par l'adjonction d'un bout neuf ; dans d'autres circonstances, on préfère les utiliser dans des chaudières plus courtes.

Ces prescriptions, variables suivant les Compagnies, ont une certaine influence sur la consommation des tubes. Il est donc utile de les comprendre également dans les renseignements complémentaires.

*Classification des différents types de moteurs.* — Dans le chapitre relatif à la consommation des tubes et dans celui relatif aux conditions d'établissement des tubes, nous avons été amené à proposer une classification des moteurs.

Nous avons adopté celle qui nous paraissait le mieux convenir au point de vue des tubes. Cette classification pourrait ne pas être admise par toutes les Compagnies qui seront appelées à fournir les renseignements techniques compris aux formulaires.

Rien ne s'oppose à ce qu'elles subdivisent leurs moteurs d'une autre façon, pourvu que les bases de cette subdivision soient indiquées et qu'il soit ainsi possible de comparer les renseignements obtenus.

En résumé, les renseignements complémentaires qu'il importe d'obtenir pour la question des tubes à fumée sont ceux qui se rapportent à la formation des dividendes et des diviseurs, aux règles qui régissent la mise hors d'usage et le emploi des tubes, enfin à la classification des moteurs.

CONCLUSION.

Si nous résumons sous forme de tableaux les résultats de l'exposé qui précède, nous obtenons les formulaires ci-après, que nous avons l'honneur de soumettre aux délibérations du Congrès.

CHAPITRE I<sup>er</sup>. — *Consommation des tubes à fumée.*

DÉNOMINATION.	UNITÉ DE TRAVAIL.	CONSOMMATION EN KILOGRAMMES.	OBSERVATIONS
Locomotives à voyageurs ordinaires . . .	Tonne de combustible	—	
— — — — —	1000 locomotives-kilomètres	—	
— — — — — pour fortes rampes.	Tonne de combustible	—	
— — — — —	1000 locomotives-kilomètres	—	
— à marchandises ordinaires . . .	Tonne de combustible	—	
— — — — —	1000 locomotives-kilomètres	—	
— — — — — pour fortes rampes.	Tonne de combustible	—	
— — — — —	1000 locomotives-kilomètres	—	
— de gare . . . . .	Tonne de combustible	—	
— — — — —	1000 locomotives-kilomètres	—	
— en général . . . . .	Tonne de combustible	—	
— — — — —	1000 locomotives-kilomètres	—	

CHAPITRE II. — *Nature des tubes à fumée.*

DÉNOMINATIONS.		OBSERVATIONS.
Nature du métal employé . . . . .	—	
Composition du métal employé . . . . .	—	
Conditions de réception imposées aux fournitures des tubes à fumée . . . . .	Voir note n° . . . . .	

CHAPITRE III. — *Conditions d'établissement des tubes à fumée.*

DÉNOMINATIONS.	UNITÉ.	OBSERVATIONS.
Disposition des tubes . . . . .	"	Voir croquis n° . . . . .
Mode de fixation des tubes aux plaques tubulaires.	"	Voir croquis n° . . . . .
Diamètre extérieur des tubes . . . . .	Millimètre.	
Épaisseur des tubes . . . . .	—	
Poids au mètre courant . . . . .	Kilogramme.	
NOMBRE DES TUBES.		
Locomotives à voyageurs ordinaires . . . . .	Pièce.	
— — pour fortes rampes . . . . .	—	
— à marchandises ordinaires . . . . .	—	
— — pour fortes rampes . . . . .	—	
— de gare . . . . .	—	
LONGUEUR DES TUBES, MESURÉE ENTRE LES PLAQUES TUBULAIRES.		
Locomotives à voyageurs ordinaires . . . . .	Mètre.	
— — pour fortes rampes . . . . .	—	
— à marchandises ordinaires . . . . .	—	
— — pour fortes rampes . . . . .	—	
— de gare . . . . .	—	

CHAPITRE IV. — *Essais.*

CHAPITRE V. — *Renseignements complémentaires.*

- A. *Formation des dividendes.*
- B. *Formation des diviseurs.*
- C. *Règles qui régissent la mise hors de service des tubes.*
- D. *Règles qui régissent le emploi des tubes.*
- E. *Distinction entre les diverses catégories de locomotives.*