

AGENDA DUNOD

1931

CHEMINS DE FER

RUE BONAPARTE 92-PARIS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Pour faire un BON TECHNICIEN

adressez-vous à l'INSTITUT des CONSTRUCTIONS CIVILES
DE L'ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

PLACÉE SOUS LE HAUT PATRONAGE DE L'ÉTAT

Directeur : J. GALOPIN *, I., Ingénieur

152, Avenue de Wagram, PARIS. Tél. : Wagram 27-97



Fondé il y a 25 ans par des INDUSTRIELS
Dirigé par des INGÉNIEURS-SPÉCIALISTES
Cet Institut met 300 COURS à votre disposition
Rédigés par 200 professeurs

Cours oraux de jour et de soir, 500 ÉLÈVES

Cours par Correspondance, 8.000 ÉLÈVES

Enseignement pratique, Élémentaire, Moyen et Supérieur
Facilité d'accès aux diplômes suivants,
pour les diverses branches :

*Travaux publics, Chemins de fer
Topographie, Béton armé, Architecture
Bâtiment, Chauffage central
Ponts et Chaussées, Mines, Métallurgie
Agents techniques
Piqueurs, Dessinateurs, Métreurs, etc.*

Jeunes techniciens, perfectionnez-vous
vous gagnerez davantage, et votre patron également

Envoi du Programme, n° 807 gratuit
La Carrière des Chemins de fer, Université Lille 1 5 fr.

LE BUREAU DE DESSIN MODERNE

F. DARNAY, (Ing^r A. et M.) 7, Rue Coppel

TÉL. : GOB. 46.56 **PARIS** (XIII^e) MÉTRO : ITALIE



TABLES A DESSIN

Normographe

Appareil à Dessiner

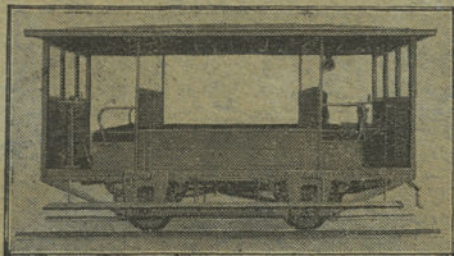
*Toutes les
Fournitures
de Dessin*

Catalogues AD
sur demande

E. CAMPAGNE & C^{ie}

Ingénieur-Constructeur, E. C. P., A. et M.

45, Boulevard de Belleville, **PARIS** (XI^e)

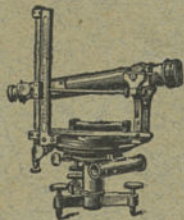


N^o 288 - Drainage Voie Normale pour l'entretien des Voies.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Catalogue AD

TACHÉOMÈTRES SANGUET



AUTORÉDUCTEURS

*Réunissant en un seul
tous les Instruments
de Topographie et Nivellement*

Demandez
notre Notice B

Tél. : Odéon 48.48

Haute précision. Contrôles multiples

Établ^{ts} SANGUET, 31, Rue Monge, PARIS

FREINS JOURDAIN MONNERET

Soc. Anonyme au Cap^{al} de 6.000.000 de frs
30, Rue Claude-Decaen, PARIS (XII^e)

FREINS CONTINUS

DIRECTS OU AUTOMATIQUES
à AIR COMPRIMÉ ou à VIDE de tous SYSTÈMES
COMPRESSEURS d'AIR et POMPES à VIDE
à COMMANDE ÉLECTRIQUE et MÉCANIQUE
pour CHEMINS de FER et TRAMWAYS
SABLIÈRES LAMBERT pour LOCOMOTIVES

Concessionnaires exclusifs des Chariots transporteurs et tracteurs électriques marque **SATIM** pour le service des gares.

SUPÉRIORITÉ INCONTESTABLE
◇ ◇ DURÉE ILLIMITÉE ◇ ◇

Parquet Hygiénique
SANS JOINT
Terrazzolith

SUPÉRIORITÉ GARANTIE
Ne gondole ni ne se fend jamais.
Belles Couleurs. Inalterables.
Durée Illimitée.

DEMANDEZ PROSPECTUS
TELEPHONE NORD 125-53

COMPLÈTMENT
INCOMBUSTIBLE



Terrazzolith
DÉPOSÉ

LE TERRAZZOLITH. Sie^{me} Anc. ET S^{ve} DOUCE & MOULIN
64, RUE PETIT

Le Parquet par excellence pour :
BUREAUX, MAGASINS, ATELIERS, VOITURES à VOYAGEURS
ÉCOLES, HOPITAUX, ÉGLISES, SALLES de SPECTACLES

Procédés brevetés S. G. D. G. — Se méfier des substitutions.

LES TRAVAUX SONT ENTIÈREMENT GARANTIS

◇ ◇ ECONOMIE CERTAINE ◇ ◇
RÉSISTANCE A TOUTE ÉPREUVE

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ÉTABLISSEMENTS RUGGIERI

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 4.700.000 FRANCS

Siège Social : PARIS, 21, Rue Ballu (9^e) - Tél. : Gut. 58-18

Maison fondée en 1739

Registre du Commerce, Paris 172.249

PYROTECHNIE

CARTONNAGES

PÉTARDS SIGNAUX

TORCHES ÉCLAIRANTES

Fournisseurs des Principales C^{ies} de Chemins de Fer
Françaises et Étrangères

Appareillage électrique haute tension

ÉTUDE DES PROBLÈMES D'ISOLEMENT, APPLICATION AUX ISOLATEURS, AUX ISOLANTS. — RÉSISTANCE D'ISOLEMENT ET RIGIDITÉ ÉLECTRIQUE. — L'utilisation des tensions élevées met au premier plan l'examen des problèmes d'isolement.

Maxwell comparait un diélectrique parfait, soumis à un champ, à un fil parfaitement élastique auquel on applique un couple de torsion, le fil subit une torsion et revient à son état primitif si le couple cesse d'agir. Si le couple dépasse une certaine valeur, le fil se rompt.

Un diélectrique réel placé entre deux électrodes et soumis à une différence de potentiel, présente l'état de contrainte dont parle Maxwell, mais laisse passer un courant créant, un échauffement du diélectrique. En courant continu, le quotient de la différence de potentiel par l'intensité de ce courant, définit la résistance d'isolement du diélectrique.

En courant alternatif, des phénomènes auxiliaires s'ajoutent et provoquent un échauffement plus élevé qu'en courant continu.

La résistance d'isolement était autrefois la grandeur principale que l'on considérait pour la définition de la valeur d'un diélectrique. Mais les isolants sont surtout utilisés en courant alternatif, la résistance est alors fonction de multiples facteurs qui enlèvent beaucoup d'intérêt à cette grandeur. Certaines matières, présentant une grande résistance, par exemple l'air, ne peuvent être soumises à des champs élevés sans donner naissance à des phénomènes lumineux, sans être traversés par l'arc, on dit que l'air a une faible rigidité diélectrique.

Pratiquement, le problème courant est de déterminer les dimensions et la disposition d'emploi d'un isolant, pour qu'il résiste à une tension donnée, avec un certain facteur de sécurité.

La tension de rupture de l'isolant ne dépend pas seulement de la forme, des dimensions, de l'état de l'isolant, mais aussi de la forme des électrodes entre lesquelles il est placé.

Nous établirons donc les lois qui régissent les phénomènes de rupture des isolants, en supposant ces isolants placés entre les différents types

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(Voir la suite page 4.)

LES

Ateliers de Construction du Nord de la France

Société anonyme au capital de 28.000.000 de francs

Siège social et Usines à **CRESPIN, BLANC-MISSERON** (Nord)

Délégué à PARIS : **M. R. SOREAU**,
VICE-PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

65, Rue de la Victoire, à PARIS (9^e)

Matériel Roulant

pour

Chemins de fer, Tramways Mines et autres industries

(Locomotives à vapeur et électriques
de toutes puissances

Voitures - Wagons et Tenders)

APPAREILS DE LEVAGE et de Manutention

Adresse postale : "Les Ateliers de Construction du Nord
de la France", à Crespin (Nord).

Adresse télégraphique : Noratel-Valenciennes.

Téléphone : IRIS-HELIAD 58 Université Lille, 1

4

Société Anonyme des Forges, Usines et Fonderies
de et à **HAINÉ-SAINT-PIERRE** (Belgique)

ÉTABLISSEMENT FONDÉ EN 1829

Administ.-Direct.-Gérant : G. GOLDSCHMID

Locomotives et Grues à Vapeur

Locomotives électriques

Wagons à marchandises, Tenders, Trains de roues

Aciers moulés

CODES : 5 th. et 6 th. Éditions A. B. C. ; Western Union Code, Bentleys.

Adr. Télégr. : **Goldschmid-Haine-Saint-Pierre.**

d'électrodes. Nous pourrions ainsi définir ce qu'on entend par rigidité diélectrique d'un isolant et connaître les facteurs dont elle dépend.

Si la résistance d'isolement possède un certain intérêt dans l'étude de la haute tension, la rigidité diélectrique est la grandeur essentielle. Elle sera définie pour les gaz et les liquides par des considérations théoriques (telles que le commencement de l'ionisation par choc), elle sera indépendante des dimensions de l'isolant. Pour les solides, ce sera la valeur expérimentale provenant du quotient de la tension de rupture par l'épaisseur de l'isolant, dans des conditions d'essai bien définies : elle sera fonction de beaucoup de variables, en particulier, des dimensions de l'isolant.

Nous rappellerons les formules fondamentales utiles dans l'étude des problèmes d'isolement ¹.

¹ *Appareillage électrique haute tension*, par Charles BRESSON, Dunod, éditeur, Paris.

Exploitation commerciale des Chemins de Fer

CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES SUR LES TARIFS PROPORTIONNELS ET DIFFÉRENCIELS. — Si nous prenons deux tarifs, l'un proportionnel et l'autre différentiel tels que la base kilométrique initiale du second soit égale à la base kilométrique du premier, nous constaterons immédiatement que, pour un même prix de transport, une même marchandise pourra atteindre avec le tarif différentiel des marchés plus éloignés qu'avec le tarif proportionnel. La zone d'écoulement des produits sera donc très augmentée, permettant une concurrence plus active sur les lieux de consommation.

Supposons qu'une marchandise donnée ne puisse supporter un prix de transport supérieur à 20 francs par tonne, avec le tarif différentiel du système belge qui nous a servi d'exemple, ce prix de transport de 20 francs correspond à une distance de 250 kilomètres alors qu'avec le tarif proportionnel de 0,08 par tonne, cette distance est réduite à 250 kilomètres ;

(Voir la suite page 6).

SOCIÉTÉ ALSACIENNE de Constructions Mécaniques

Société Anonyme au Capital de 114.750.000 Francs

Usines à :
MULHOUSE (Haut-Rhin) GRAFFENSTADEN (Bas-Rhin) CLICHY (Seine) OBLÈRE à CLICHY
Maison à PARIS : 32 Rue de Lisbonne 8^e

Agences à :

BORDEAUX, 15, c. Georges-Clémenceau.

CLERMONT-FERRAND, 32, r. St-Genès.

DIJON, 3, pl. Émile-Zola.

ÉPINAL { 24, r. de la Gare (text.).

{ 12, r. de la Préfecture.

LILLE { 16, r. Faidherbe (text.).

{ 61, r. de Tournai.

LYON, 13, r. Grôlée.

MARSEILLE, 148, r. Paradis.

NANCY, 4, r. de la Croix de Bourgogne.

NANTES, 1, r. Camille-Berruyer.

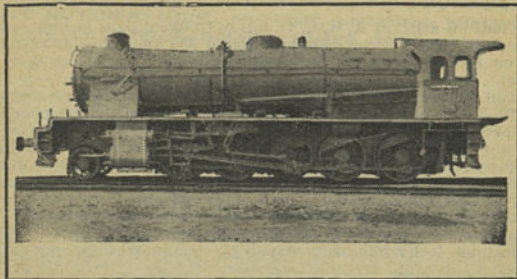
REIMS, 2, r. de Mars.

ROUEN, 7, r. Fontenelle.

STRASBOURG, 36, r. du St-Gothard.

TOULOUSE, 21, r. Lafayette.

TOURS, 17 bis, r. Bancheveau.



Locomotive à marchandises à trois cylindres, simple expansion de la
Compagnie des chemins de fer de l'Est

MATÉRIEL DE CHEMINS DE FER

Locomotives à vapeur à voie normale et à voie étroite.
Locomotives pour Mines et Usines.

Moteurs à Gaz et Installations d'Épuration de Gaz
Turbo-Compresseurs, Machines et Turbo-Soufflantes
Turbines Hydrauliques.

Fils et Câbles isolés et armés pour toutes applications.

Machines pour l'Industrie Textile.

Machines-Outils.

Crics et Vérins U. G., Bascules, Transmissions.

Machines et Appareils pour l'Industrie Chimique.

SOCIÉTÉ ANONYME LA BRUGEOISE et NICAISE et DELCUVE
Acieries, Forges et Ateliers de Construction
 Siège Social, à SAINT-MICHEL-LEZ-BRUGES
 Usines à SAINT-MICHEL et LA LOUVIERE

Adr. Tél. { Brugeoise-Bruges (Belgique). } Téléph. { Bruges n° 12 et 13
 Delnic-La Louvière (Belgique) } La Louvière n° 34

Matériel roulant : Tenders, wagons et voitures à voyageurs ;
 Châssis pour wagons-foudres et wagons-réservoirs.

Matériel fixe : Changements de voie, signaux, plaques tournantes, ponts à peser, grues fixes et roulantes.

Acieries Bessemer et Siemens Martin : Aciers moulés ;
 Pièces forgées et étirées.

Laminoirs à bandages et fabrication d'essieux.

Ateliers de construction et Trains de roues montés. **Fabrique de ressorts.**

Ponts, charpentes, châssis à molettes, gazomètres, réservoirs
Fonderies de fer. — Boulonnerie.

donc tous les marchés A, B, C, D, qui se trouvent dans la zone comprise entre deux cercles concentriques de 250 et 350 kilomètres de rayon, vont pouvoir être desservis par le centre producteur O, grâce au tarif différentiel.

Quant à la décroissance des taxes avec la longueur des parcours elle se justifie elle-même. Les prix de transport de chemin de fer ont pour but de rémunérer le transporteur ; or, parmi les frais que ce dernier supporte, il y en a qui sont fixes, donc indépendants du parcours effectué par la marchandise, et d'autres au contraire qui sont proportionnels à la distance. Or, les premiers sont, par kilomètre, d'autant moins élevés que la distance parcourue est moins grande et cette seule considération suffit à justifier la réduction des prix de transport avec les distances parcourues.

PRIX FERMES. — Avant l'unification des tarifs (fin 1919), la tarification des chemins de fer français contenait un nombre très important de prix fermes.

La création de ceux-ci se justifiait dans nombre de cas, parmi lesquels

(Voir la suite page 8).

Tous les BRANCHEMENTS
Toutes les DÉRIVATIONS
Toutes les JONCTIONS
des Fils et Câbles électriques
se font avec le

« **Connecteur Fauris** »

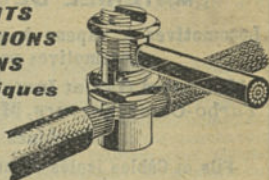
Brev. S. G. D. G. France et Étranger

ET SES DÉRIVÉS

sans épissures ni soudures, conformément aux règlements en vigueur, en assurant des contacts parfaits, un serrage énergique et le maximum de sécurité.

Demandez **NRIS** à **LILLIAD** à Université Lille 1

CH. FAURIS, Ing^r-Const^r, 91, rue d'Inkermann, LYON



**S^TE DE LOCATION
DE
WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ**

Société anonyme. Capital 11 millions de francs

Bureaux : 24, rue du Rocher, PARIS

TELEPHONE :
LABORDE 25-05
25-06

R. C^o Seine
n^o 54995 A

ADR. TÉLÉG. :
LOCWAGONS-PARIS 118

TRANSPORTS

de MATIÈRES PONDÉREUSES,
en MATÉRIEL ROULANT de toutes CAPACITÉS

EXPLOITATION ET ENTRETIEN
de WAGONS PLATS, TOMPEREAUX, et à DÉCHARGE-
MENT AUTOMATIQUE, universel, unilatéral, bilatéral,
central. CADRES MÉTALLIQUES SPÉCIAUX.
CONTAINERS.



WAGONS ARBEL DE 40 TONNES DE CHARGE UTILE, EN TOLE
D'ACIER EMBOUTIE, A TARE RÉDUITE, BOGIES DE TOUS TYPES
Agreés par toutes les Compagnies

ÉCONOMIE DE TRAVAIL DE LONGUEUR DE TRAIN
IRIS-LILLIAD - Université Lille 1

Index commercial, page 434.

SOC^É ANONYME des ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES

A. DURENNE

Téléphone

Capital 5.200.000 frs.

Provence } 24.41
24.42
24.43
Inter-Prov. : 19

26, Faubourg Poissonnière, PARIS

R. C. 44.843 Seine.

FONTES POUR CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

Candélabres pour Gares

**TOUTES FONTES POUR VOIES, WAGONS
LOCOMOTIVES, Brutes ou Finies**

TUYAUX POUR TOUTES CANALISATIONS

nous indiquerons les suivants qui sont parmi les principaux ? Le chemin de fer peut avoir un trafic enlevé entre deux localités par la batellerie ou le roulage ; un prix ferme lui permettra de concurrencer l'un ou l'autre de ces modes de transport.

Un marché est alimenté par une région productrice A ; les produits de la région B ne peuvent y arriver en raison de l'élévation des tarifs : un prix ferme, en permettant aux producteurs de B de lutter sur le marché avec les producteurs de A, pourra amener un trafic nouveau au chemin de fer et une baisse de prix sur le marché.

Enfin, un prix ferme peut permettre à une région de développer une industrie naissante. Le sacrifice momentané consenti par le chemin de fer sera compensé, et au delà, par les transports nouveaux qui lui viendront par la suite.

Le prix ferme, qui est toujours plus réduit que le prix kilométrique qu'il remplace, a soulevé de violentes critiques ? Reconnaissons que celles-

(Voir la suite page 10).

PAPIERS PEINTS



M^{ON} A. GERMAIN

Fournisseur pour

ADJUDICATIONS - ADMINISTRATIONS

GENRES SPÉCIAUX,

RICHES ET ORDINAIRES

Les plus importantes Références

86-88, Rue de la Guillotière, LYON

Prix de Gros

et détail

Téléph. : Parmentier 24-96

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ENVOI D'ÉCHANTILLONS en COMMUNICATION

MARCEL SEBIN & C^{ie}

79, RUE D'ANGOULÊME, 79. PARIS-XI'

LA
CHAÎNE

DANS TOUTES SES
APPLICATIONS

GILLET et FOREST

EPERVIER (A. & M.), GILLET & C^{ie}

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS

32, Boulevard Henri IV - PARIS

Téléphone : Arch. 34-73

reseau

APPAREILS D'ÉCLAIRAGE

ET DE

CHAUFFAGE

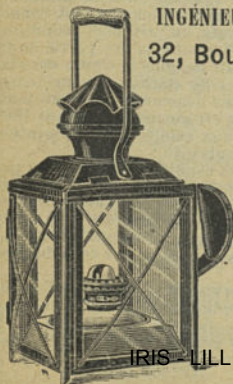
de tous genres pour

CHEMINS de FER, TRAMWAYS



RÉFLECTEURS - RÉSERVOIRS

LAMPES A SOUDER
au PÉTROLE et à l'ESSENCE



IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

DICTIONNAIRES TECHNIQUES ILLUSTRÉS

EN SIX LANGUES

(Français, Allemand, Anglais, Russe, Italien, Espagnol)

Par **A. SCHLOMANN**

Prix susceptibles de variations correspondant à celles des prix pratiqués par l'éditeur allemand, et compte tenu du change.

I. Éléments de machines. — Outils usuels, 43 fr. — II. Électrotechnique et électrochimie, 2^e édition, 488 fr. — III. Chaudières. Machines. Turbines à vapeur, 147 fr. — IV. Moteurs à combustion interne, 63 fr. — V. Chemins de fer (Construction. Exploitation), 93 fr. — VI. Chemins de fer (Matériel roulant), 87 fr. — VII. Appareils de levage, 70 fr. — VIII. Béton armé, 46 fr. — IX. Machines-outils, 80 fr. — X. Automobiles, Canots automobiles, Dirigeables, Aéroplanes, 117 fr. — XI. Sidérurgie, 107 fr. — XII. Hydraulique, Pneumatique, Froid, 234 fr. — XIII. Construction, 134 fr. — XIV. Matières textiles, 122 fr. — XV. Filature et filés, 207 fr. — XVI. Tissage et tissus, 207 fr.

Ces volumes ne peuvent être fournis par la librairie Dunod qu'en France et colonies françaises, Belgique et Congo belge, Italie et Suisse romande, exception faite pour le tome II qui peut être fourni en tous pays.

ci étaient parfois fondées et que nombre de prix fermes ne répondaient pas toujours à de réelles nécessités économiques? Nous avons vu en traitant de l'homologation des tarifs les règles suivies par l'administration lors de la création d'un prix ferme.

L'unification des tarifs en 1919 et 1920 avait fait disparaître tous les prix fermes. Depuis quelques-uns ont été créés.

CLAUSES DES STATIONS NON DÉNOMMÉES. - STATIONS INTERMÉDIAIRES. - Un tarif spécial uniquement applicable entre deux stations pouvait donner pour la distance totale séparant ces deux points, un prix plus réduit que le tarif normal appliqué à un transport n'effectuant qu'une partie dudit parcours. Pour éviter cette anomalie, on avait imaginé la clause des stations non dénommées d'après laquelle toutes les stations intermédiaires situées sur le parcours entre les deux stations dénommées peuvent jouir des avantages créés par le tarif. Cette clause est sanctionnée depuis 1866 par une circulaire ministérielle qui impose aux compagnies l'inscription dans leurs tarifs spéciaux de la disposition suivante :

« Les marchandises qui se trouvent dans les conditions déterminées par un tarif spécial, et qui sont expédiées de ou pour une gare non dénommée à un tarif spécial, peuvent jouir du bénéfice de ce tarif spécial en payant pour la distance entière depuis la dernière gare dénommée située avant le lieu de départ jusqu'à la première gare dénommée située après le lieu de destination, si la taxe ainsi calculée est plus avantageuse que celle du tarif général.

Lorsque les deux points A et B sont desservis par deux lignes C et D, la clause des stations intermédiaires est applicable au parcours le plus réduit, soit la ligne ABC.

Toutefois et nonobstant le passage par la grande ceinture, Paris continue d'être traité

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(1) *Exploitation commerciale des chemins de fer*, par M. CHATEL, Dunod, éditeur, Paris.

Compagnie des Freins
WESTINGHOUSE

Siège Social : 23, Rue d'Athènes, PARIS
Usines à SEVRAN (S.-et-O.) et à PONS (Ch.-Inf.)

FREINS

à air et à vide
 pour Chemins de fer et Tramways
CHAUFFAGE DES TRAINS
 Amortisseur à friction
 Compresseurs d'air
 Ajusteurs Automatiques de Timonerie

Marque



de Fabrique

COMPAGNIE GÉNÉRALE
DE SIGNALISATION

23, Rue d'Athènes, PARIS

SIGNAUX. — ENCLENCHÉMENTS

Électro-pneumatiques — Électriques
 Électro-mécaniques

à courant continu et courant alternatif

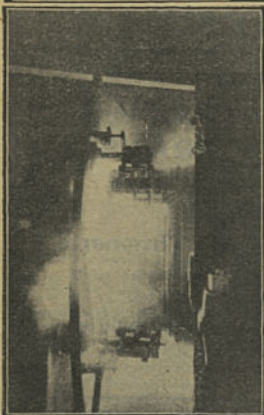
BLOCK AUTOMATIQUE

Signaux lumineux de jour et de nuit
 Signaux Avertisseurs de Passages à Niveau
 Redresseur Oxymetal Westinghouse

Index commercial, page 434.

Curieux

instantané

d'un **COUP**  **DE FEU**

AU COLLECTEUR
 D'UNE COMMUTATRICE
 réparé définitivement
 en quelques minutes
SANS AUCUN DÉMONTAGE
 avec le

CIMENT ISOLANT
VANTHOM

*Produit unique permettant
 la restauration immédiate,
 radicale et sans démontage :*

- Des micas brûlés entre les lames des collecteurs ;*
- Des défauts d'isolement, courts-circuits, avaries diverses de machines ou appareils électriques.*
- Remarquable dans la fabrication et la réfection de résistances, éléments chauffants de réchauds, étuves, fers à repasser, à friser, etc.*
- Restauration de porcelaines, faïences, verrerie, lustre-rie, objets d'art, bibelots, etc.*

LES PLUS HAUTES RÉFÉRENCES

- : NOTICE SUR DEMANDE : -

CIMENT VANTHOM

IRIS ULLIAD Université Lille 1

52 Af

CHEMINS DE FER

1931

AGENDAS DUNOD

- Assurances**, par Pierre VÉRON et F. POURCHEIROUX.
Automobile, par G. LIENHARD.
Banque, par H. DUFAYEL.
Bâtiment, par E. AUCAMUS, revu par Ph. ROUSSEAU.
Béton armé, par V. FORESTIER.
Chemins de fer, par P. PLACE.
Chimie, par E. JAVET.
Commerce, par E. RACHINEL.
Construction mécanique, par J. IZART.
Électricité, par L.-D. FOURCAULT.
Métallurgie, par A. ROUX.
Mines. — *Prospection et exploitation.* — *Préparation mécanique*, par J. ROUX-BRAHIC.
Physique Industrielle, par J. IZART.
Travaux publics, par E. AUCAMUS, revu par Ph. ROUSSEAU.
Vente et Publicité, par E. RACHINEL et M. BUISSON.
-

Prix de chaque volume relié pégamoïd : 20 fr.

En vente à la même librairie

Recueil des cahiers des charges unifiés et des spécifications techniques adoptés par les chemins de fer français, pour la fourniture du matériel roulant et des matières destinées à la construction de ce matériel, suivi de l'indication des principales unifications se rapportant à ce même matériel, par L. VIOLET, ingénieur des études aux chemins de fer du P.-L.-M., 495 pages 10 × 15, avec figures. 5^e édition. 1925. Avec 6 compléments 64, 32, 124, 20, 64 et 16 pages, à jour au 6 février 1930 (320 gr.). Relié toile..... **35 fr.**

CHEMINS DE FER

PAR

PIERRE PLACE

Ancien élève de l'École Polytechnique
Ingénieur principal à l'Office Central d'Études de Matériel
de Chemin de fer (O. C. E. M.)

A L'USAGE DES

Agents de la Construction, de la Voie, du Matériel
de la Traction, de l'Exploitation
et de toutes les personnes qui s'intéressent
aux Chemins de fer.

50^e édition

1931

PARIS



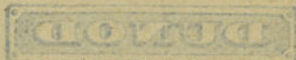
IRIS, ULLIAD Université Lille 1

AVERTISSEMENT

En raison du développement considérable pris par l'Agenda Dunod *Chemins de Fer*, nous nous sommes trouvés dans l'obligation d'en extraire les **Cahiers des charges unifiés** des grandes Compagnies de chemins de fer français. Ceux-ci, publiés séparément, sont suivis d'indications relatives à divers autres **Cahiers des charges**, spécifications et unifications adoptées en France et à l'étranger; ils forment un élégant volume du format des agendas présentant en face de chaque page de texte une page blanche pour notes.

Les **Agendas Dunod** offrent, dans leurs pages d'annonces, le moyen de diffusion le plus puissant des procédés, machines ou fournitures utilisés par l'industrie à laquelle chacun d'eux s'adresse spécialement.

Tout industriel et commerçant disposant d'un budget de propagande, ou prévoyant une campagne d'annonces doit s'adresser au **Service de publicité des Agendas Dunod**.



Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés
pour tous pays.

JANVIER



Les jours croissent de
1 heure 1 minute

FÉVRIER



Les jours croissent de
1 heure 39 minutes

MARS



Les jours croissent de
1 heure 48 minutes

P. L. le 4, à 13 h. 15 m.
D. Q. le 11, à 5 h. 9 m.
N. L. le 18, à 18 h. 36 m.
P. Q. le 27, à 0 h. 6 m.

P. L. le 3, à 0 h. 26 m.
D. Q. le 9, à 16 h. 10 m.
N. L. le 17, à 13 h. 11 m.
P. Q. le 25, à 16 h. 42 m.

P. L. le 4, à 10 h. 36 m.
D. Q. le 11, à 5 h. 15 m.
N. L. le 19, à 7 h. 51 m.
P. Q. le 27, à 5 h. 4 m.

1	J	<i>Circoncision</i>
2	V	S. Basile
3	S	S ^e Geneviève
4	D	S. Rigobert
5	L	S ^e Amélie
6	M	<i>Epiphanie</i>
7	M	S ^e Mélanie
8	J	S. Lucien
9	V	S. Marcellin
10	S	S. Paul erm.
11	D	S ^e Hortense
12	L	S. Arcade
13	M	<i>Bapt. de N.-S.</i>
14	M	S. Hilaire
15	J	S. Maur
16	V	S. Marcel
17	S	S. Antoine
18	D	S ^e Prisca
19	L	S. Sulpice
20	M	S. Sébastien
21	M	S ^e Agnès
22	J	S. Vincent
23	V	S. Raymond
24	S	S. Babylas
25	D	Conv. s. Paul
26	L	S ^e Paule
27	M	S. Julien
28	M	S. Charlem.
29	J	S. Fr. de S.
30	V	S ^e Bathilde
31	S	S ^e Marcelle

1	D	<i>Septuagésim e</i>
2	L	<i>Purification</i>
3	M	S. Blaise
4	M	S. Gilbert
5	J	S ^e Agathe
6	V	S ^e Dorothee
7	S	S. Fidèle
8	D	<i>Sexagésim e</i>
9	L	S ^e Apollonte
10	M	S ^e Scholastiq
11	M	S. Adolphe
12	J	S ^e Eulalie
13	V	S. Enogat
14	S	S. Valentin
15	D	<i>Quinquagés.</i>
16	L	S ^e Julienne
17	M	<i>Mardi-Gras</i>
18	M	<i>Cendres</i>
19	J	S. Gabin
20	V	S. Syly.
21	S	S. Pépin
22	D	<i>Quadrages.</i>
23	L	S. Gérard
24	M	S. Mathias
25	M	S. Léandre ^{o.I.}
26	J	S. Nestor
27	V	S ^e Honorine
28	S	S. Romain

1	D	<i>Reminiscere</i>
2	L	S. Jacob
3	M	S. Marin
4	M	S. Casimir
5	J	S. Adrien
6	V	S ^e Colette
7	S	S. Thomas A.
8	D	<i>Oculi</i>
9	L	S ^e Françoise
10	M	S. Doctrové
11	M	S. Euloge
12	J	<i>Mi-Carême</i>
13	V	S ^e Euphrasie
14	S	S ^e Mathilde
15	D	<i>Lætare</i>
16	L	S. Cypriaque
17	M	S. Patrice
18	M	S. Gabriel
19	J	S. Joseph
20	V	S. Joachim
21	S	S ^e Clémence
22	D	<i>Passion</i>
23	L	S. Victorien
24	M	S. Timothée
25	M	<i>Annonciation</i>
26	J	S. Emmanuel
27	V	S ^e Lydie
28	S	S. Gontran
29	D	<i>Rameaux</i>
30	L	S. Amédée
31	M	S ^e Cornélie

AVRIL



Les jours croissent de
1 heure 46 minutes

P. L. le 2, à 20h. 6 m.
D. Q. le 9, à 20h. 15 m.
N. L. le 18, à 1h. 0 m.
P. Q. le 25, à 13h. 40 m.

1	M	S. Hugues
2	J	S. François P.
3	V	<i>Vend.-Saint</i>
4	S	S ^e Adèle
5	D	Pâques
6	L	FÉRIÉ
7	M	S. Clotaire
8	M	S. Albert
9	J	S ^e Marie Eg.
10	V	S. Fulbert
11	S	S. Léon
12	D	<i>Quasimodo</i>
13	L	S ^e Ida
14	M	S. Tiburce
15	M	S ^e Anastasie
16	J	S ^e Odette
17	V	S. Anicet
18	S	S. Parfait
19	D	S. Socrate
20	L	S. Théodore
21	M	S. An-clme
22	M	S ^e Léonide
23	J	S. Georges
24	V	S. Gaston
25	S	S. Marc
26	D	S. Clet
27	L	S. Frédéric
28	M	S. Aimé
29	M	S. Robert
30	J	S. Ludovic

MAI



Les jours croissent de
1 heure 17 minutes

P. L. le 2, à 5h. 14 m.
D. Q. le 9, à 12h. 48 m.
N. L. le 17, à 15h. 28 m.
P. Q. le 24, à 19h. 39 m.
P. L. le 31, à 14h. 33 m.

1	V	SS. J. et P.
2	S	S. Athanase
3	D	<i>Inv. s^e Croix</i>
4	L	S ^e Pélagie
5	M	S. Pie V
6	M	S. Jean P.-L.
7	J	S. Stanislas
8	V	S ^e Félicie
9	S	S. Grégoire N.
10	D	<i>Fête J. d'Arc</i>
11	L	<i>Rogations</i>
12	M	S. Achille
13	M	S. Servais
14	J	Ascension
15	V	S ^e Denise
16	S	S. Honoré
17	D	S. Pascal
18	L	S ^e Juliette
19	M	S. Yves
20	M	S. Bernardin
21	J	S ^e Gisèle
22	V	S. Emile
23	S	S. Didier.
24	D	Pentecôte
25	L	FÉRIÉ
26	M	S. Philippe N.
27	M	S. Ildev. Q.-I.
28	J	S. Olivier
29	V	S. Maximin
30	S	S. Ferdinand
31	D	Trinité

JUIN



Les jours croissent de
16 minutes

D. Q. le 8, à 6h. 48 m.
N. L. le 6, à 3h. 2 m.
P. Q. le 23, à 0h. 23 m.
P. L. le 30, à 0h. 47 m.

1	L	S. Fortuné
2	M	S ^e Émilie
3	M	S ^e Clotilde
4	J	<i>Fête-Dieu</i>
5	V	S ^e Yvonne
6	S	S. Claude
7	D	S. Lié
8	L	S. Médard
9	M	S. Félicien
10	M	S. Edgard
11	J	S. Barnabé
12	V	S. Guy
13	S	S. Ant. de P.
14	D	S. Rufin
15	L	S. Modeste
16	M	S. Cyr
17	M	S. Avit
18	J	S. Florentin
19	V	S. Gervais
20	S	S. Silvère
21	D	S. Méen
22	L	S. Alban
23	M	S. Félix
24	M	<i>N. de s. J.-B.</i>
25	J	S. Prosper
26	V	S. David
27	S	S. Crescent
28	D	S. Irénée
29	L	SS. Pier. et P.
30	M	S ^e Emilienne

JUILLET



Les jours diminuent de
55 minutes

D. Q. le 7, à 23 h. 52 m.
N. L. le 15, à 12 h. 20 m.
P. Q. le 22, à 5 h. 16 m.
P. L. le 29, à 12 h. 48 m.

1	M	S. Martial
2	J	<i>Visitat. N.-D.</i>
3	V	S. Anatole
4	S	S ^o Berthe
5	D	S ^o Zoé
6	L	S ^o Colombe
7	M	S. Elie
8	M	S ^o Virginie
9	J	S. Cyrille
10	V	S ^o Félicité
11	S	S. Norbert
12	D	S. Gualbert
13	L	S. Eugène
14	M	<i>Fête Nation.</i>
15	M	S. Henri
16	J	S. Héliér
17	V	S. Alexis
18	S	S. Camille
19	D	S. V. de Paul
20	L	S ^o Marguer.
21	M	S. Victor
22	M	S ^o Marie-M.
23	J	S ^o Valentine
24	V	S. Christine
25	S	S. Christophe
26	D	S ^o Anne
27	L	S ^o Nathalie
28	M	S. Samson
29	M	S ^o Marthe
30	J	S. Abdon
31	V	S. Germain

AOÛT



Les jours diminuent de
1 heure 35 minutes

D. Q. le 6, à 16 h. 28 m.
N. L. le 13, à 20 h. 27 m.
P. Q. le 20, à 11 h. 36 m.
P. L. le 28, à 3 h. 10 m.

1	S	S. Pierre ès L.
2	D	S. Alphonse
3	L	S. Geoffroy
4	M	S. Dominiq.
5	M	S. Abel
6	J	<i>Transf. J.-C.</i>
7	V	S. Gaëtan
8	S	S. Justin
9	D	S. Amour
10	L	S. Laurent
11	M	S ^o Suzanne
12	M	S ^o Claire
13	J	S. Hippolyte
14	V	S. Eusébe
15	S	Assomption
16	D	S. Roch
17	L	S. Septime
18	M	S ^o Helène
19	M	S. Flavien
20	J	S. Bernard
21	V	S ^o Jeanne
22	S	S. Symphor.
23	D	S. Sidonie
24	L	S. Barthél.
25	M	S. Louis, roi
26	M	S. Privat
27	J	S. Césaire
28	V	S. Augustin
29	S	S. Médéric
30	D	S. Fiacre
31	L	S. Aristide

SEPTEMBRE



Les jours diminuent de
1 heure 39 minutes

D. Q. le 5, à 7 h. 21 m.
N. L. le 12, à 4 h. 26 m.
P. Q. le 18, à 20 h. 37 m.
P. L. le 26, à 19 h. 45 m.

1	M	S. Leu
2	M	S. Lazare
3	J	S. Grégoire
4	V	S ^o Rosalie
5	S	S. Bertin
6	D	S. Onésip.
7	L	S ^o Reine
8	M	<i>Nat. de N.-D.</i>
9	M	S. Omer
10	J	S ^o Pulchérie
11	V	S. Hyacinthe
12	S	S. Séraphin
13	D	S. Maurille
14	L	<i>Exalt. de Cr.</i>
15	M	S. Nicomède
16	M	S ^o Edith Q.-I.
17	J	S. Lambert
18	V	S ^o Sophie
19	S	S. Gustave
20	D	S. Eustache
21	L	S. Matthieu
22	M	S. Maurice
23	M	S. Lin
24	J	S. Andoche
25	V	S. Firmin
26	S	S ^o Justine
27	D	S. Côme
28	L	S. Wenceslas
29	M	S. Michel
30	M	S. Jérôme

OCTOBRE



Les jours diminuent de
1 heure 44 minutes

D. Q. le 4, à 20 h. 15 m.
N. L. le 11, à 13 h. 6 m.
P. Q. le 18, à 9 h. 20 m.
P. L. le 16, à 13 h. 34 m.

1	J	S. Rémi
2	V	SS, Angès
3	S	S ^e Fauste
4	D	S. Franç. d'A.
5	L	S. Constant
6	M	S. Arthur
7	M	S. Serge
8	J	S. Brigitte
9	V	S. Denis
10	S	S. Paulin
11	D	S. Quirin
12	L	S. Wilfrid
13	M	S. Édonard
14	M	S. Calixte
15	J	S ^e Thérèse
16	V	S. Léopold
17	S	S ^e Edwige
18	D	S. Luc, év.
19	L	S ^e Laure
20	M	S. Aurélien
21	M	S ^e Céline
22	J	S. Modéran
23	V	S. Hilarjon
24	S	S. Raphaël
25	D	S. Crépin
26	L	S. Evariste
27	M	S ^e Antoinette
28	M	S. Alfred
29	J	S. Rodolphe
30	V	S. Arsène
31	S	S. Narcisse

NOVEMBRE



Les jours diminuent de
1 heure 20 minutes

D. Q. le 3, à 7 h. 18 m.
N. L. le 9, à 22 h. 55 m.
P. Q. le 17, à 2 h. 13 m.
P. L. le 25, à 7 h. 10 m.

1	D	Toussaint
2	L	<i>Morts</i>
3	M	S. Hubert
4	M	S. Charles
5	J	S. Théotime
6	V	S. Léonard
7	S	S. Ernest
8	D	S. Godfroy
9	L	S. Mathurin
10	M	S. Juste
11	M	<i>Fête Victoire</i>
12	J	S. René
13	V	S. Stanisl. K.
14	S	S ^e Philomène
15	D	S ^e Eugénie
16	L	S. Edme
17	M	S. Agnan
18	M	S. Eudes
19	J	S ^e Élisabeth
20	V	S. Edmond
21	S	<i>Près. de N.-D.</i>
22	D	S ^e Cécile
23	L	S. Clément
24	M	S ^e Flora
25	M	S ^e Catherine
26	J	S ^e Delphine
27	V	S. Séverin
28	S	S. Sosthène
29	D	<i>Avent</i>
30	L	S. André

DÉCEMBRE



Les jours diminuent de
18 minutes

D. Q. le 2, à 16 h. 51 m.
N. L. le 9, à 22 h. 55 m.
P. Q. le 17, à 2 h. 13 m.
P. L. le 25, à 7 h. 10 m.

1	M	S. Eloi
2	M	S ^e Aurélie
3	J	S. Franç. X.
4	V	S ^e Barbe
5	S	S. Sabas
6	D	S. Nicolas
7	L	S. Ambroise
8	M	<i>Imm. Conc.</i>
9	M	S ^e Léocadie
10	J	S ^e Valérie
11	V	S. Daniel
12	S	S ^e Constance
13	D	S ^e Lucie
14	L	S. Nicaise
15	M	S. Mesmin
16	M	S ^e Adéla. Q.-I.
17	J	S ^e Olympe
18	V	S. Gatien
19	S	S. Timoléon
20	D	S. Philogone
21	L	S. Thomas
22	M	S. Honorat
23	M	S ^e Victoire
24	J	S. Irmine
25	V	Noël
26	S	S. Étienne
27	D	S. Jean, ap.
28	L	SS. Innocents
29	M	S ^e Éléonore
30	M	S. Roger
31	J	S. Sylvestre

AU LECTEUR

Nous donnons dans l'Agenda 1931, la suite et la fin de l'étude de M. Lefèvre, Ingénieur des services techniques à la Compagnie des chemins de fer P.-O. sur les appareils destinés à garantir la sécurité.

Cette dernière partie concerne le block-system.

Nous avons introduit : des nomogrammes pour calculer diverses formules concernant la puissance des locomotives et la charge remorquée.

Une étude sur l'application des cinèmes de Marbec à la détermination des accélérations d'un mouvement de distribution.

Un bilan thermique de chaudière de locomotive.

Des résultats de consommation.

Les prix des locomotives, tenders, voitures, wagons.

La liste des spécifications techniques et cahiers des charges unifiés des grands réseaux français.

Nous avons repris le chapitre des chaudières à haute pression.

Par contre nous avons procédé aux suppressions suivantes :
Fabrication des rails.

Canalisation des grues hydrauliques.

Expériences de Noro et Geoffroy.

Étude du passage des véhicules en courbe et dans les appareils de voie.

P. PLACE.

ABRÉVIATIONS

PAYS	NOMS DES REVUES	ABRÉVIATIONS
Françaises.	<i>Annales des Mines</i>	A. M.
	<i>Annales des Ponts et Chaussées</i>	A. P.
	<i>Arts et Métiers</i>	A. Me.
	<i>Bulletin de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de fer</i>	B. A. I.
	<i>Bulletin des Associations Françaises des Propriétaires d'appareils à vapeur</i> ...	B. P. A. V.
	<i>Bulletin Officiel de la Division des Re- cherches et Inventions</i>	B. R. I.
	<i>Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale</i>	B. S. E.
	<i>Bulletin de la Société Française des Électriciens</i>	B. E.
	<i>Chaleur et Industrie</i>	C. I.
	<i>Génie Civil</i>	G. C.
	<i>La Houille Blanche</i>	H. B.
	<i>L'Industrie Électrique</i>	I. E.
	<i>Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils</i>	S. I. C.
	<i>Revue Générale des Chemins de fer</i> ...	R. G.
	<i>Revue Générale de l'Électricité</i>	R. G. E.
	<i>Revue de l'Aluminium</i>	R. A.
	<i>Revue de l'Industrie Minérale</i>	R. I. M.
	<i>Revue de la Métallurgie</i>	R. M.
	<i>Technique Moderne</i>	T. M.
	<i>Usine</i>	U.
Anglais.	<i>The Engineer</i>	Engineer.
	<i>Engineering</i>	Engineering.
	<i>The Locomotive</i>	T. Locomotive.
	<i>Railway Gazette</i>	Ry. Gaz.
Américaines.	<i>Journal of the American Institute of Electrical Engineer</i>	A. I. E.
	<i>General Electric Review</i>	G. E. R.
	<i>Railway Electrical Engineer</i>	R. E. E.
	<i>Railway Age</i>	Ry. Age.
	<i>Railway and Locomotive Engineering</i> ...	R. L. E.
<i>Railway Mechanical Engineer</i>	R. M. E.	
Allemandes.	<i>Electrotechnische Zeitschrift</i>	E. Z.
	<i>Glaser's Annalen</i>	G. A.
	<i>Organ für die Fortschritte des Eisen- bahnwesens</i>	Organ.
	<i>Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure</i>	V. D. I.
Italiennes.	<i>Electrotecnica</i>	Electrotecnica.
	<i>Rivista Tecnica delle Ferrovie Italiane</i> ...	R. T.

TABLE SYSTÉMATIQUE

PREMIÈRE PARTIE

Études et Construction.

CHAPITRE I. — Études préalables.

§ 1. — *Évaluation du trafic probable.*

	Pages.
Méthode de M. J. Michel.....	1
Méthode J. Michel, modifiée par M. Cossmann.....	2
Méthode J. Michel, modifiée en Allemagne.....	5
Méthode de comptage sur routes.....	5
Méthode comparative.....	6

§ 2. — *Conditions d'établissement.*

Type et largeur de la voie.....	7
Voies larges.....	8
Voie normale.....	9
Voies moyennes.....	9
Voies métriques.....	10
Voies étroites.....	10
Choix de la voie.....	10
Pentes et courbes.....	12

CHAPITRE II. — Formalités administratives.

Demande en concession.....	15
Enquête administrative.....	16
Formulaire.....	16
Avant-projet.....	16
Enquête d'utilité publique.....	16
Projet de tracé et de terrassements.....	16

Désignation des territoires traversés.....	17
Nombre et emplacement des stations.....	17
Enquêtes parcellaires.....	17
Projet d'exécution.....	17
Arrêté de cessibilité ; expropriation.....	17
Prise de possession d'urgence.....	17
Estimations, cessions amiables.....	17
Offres légales : jury.....	17
Paiement des indemnités.....	17
Occupations temporaires.....	17
Récolement, réception et remise des ouvrages.....	17

CHAPITRE III. — Études définitives.

Conditions générales du tracé.....	19
Tracé sur la carte.....	19
Étude sur le terrain.....	20
Levé du terrain.....	20
Étude dans le bureau.....	20
Projet définitif.....	20
Observations générales.....	21

CHAPITRE IV. — Travaux d'art.

Tranchées.....	22
Souterrains.....	22
Longueurs de quelques grands tunnels.....	23
Remblais.....	24
Viaducs.....	24
Ponts tournants.....	25
Ponts basculants.....	25
Ponts à travée relevable.....	25
Passages à niveau.....	25
Clôtures.....	26
Gabarit.....	26

CHAPITRE V. — Voie.

§ 1. — Matériel de la voie.

Différentes sortes de voies.....	28
Voies avec traverses en bois.....	28

	Pages.
Rails.....	28
Rail à double champignon.....	28
Rail à patin.....	30
Dimensions et poids des rails.....	30
Longueur des rails.....	32
Fabrication des rails.....	32
Conditions de réception des rails.....	32
Usure des rails.....	33
Choix du type de rail.....	34
Coussinets et éclisses.....	35
Traverses.....	36
Augmentation de la durée des traverses.....	37
Ballast.....	37

§ 2. — Pose de la voie.

Profil de la plate-forme.....	38
Largeur de la voie.....	38
Inclinaison des rails.....	39
Surhaussement dans les courbes.....	39
Surécartement de la voie.....	41
Raccordements.....	43
Rails longs et rails courts en courbe.....	44
Espacement des traverses.....	44
Écartement des voies.....	45
Réglementation sur la construction et sur les épreuves des ponts métalliques.....	46
Voies métalliques.....	46
Aiguilles.....	48
Croisements, traversées obliques.....	48
Traversées-jonctions.....	49
Traversées rectangulaires.....	50
Plaques tournantes.....	50
Plaques tournantes et ponts tournants pour locomotives.....	51
Chariots roulants.....	52
Ponts à bascule.....	52
Gabarits.....	52
Taquets d'arrêt.....	53
Heurtoirs.....	53
Fosses à piquer.....	53

CHAPITRE VI. — Stations d'alimentation, grues hydrauliques
et canalisations.

	Pages
Alimentation d'eau.....	54
Grues hydrauliques.....	54
Canalisations.....	55
Alimentation en marche.....	55
Épuration des eaux.....	55

DEUXIÈME PARTIE

Traction.

CHAPITRE VII. — Résistance des trains.
Puissance de la locomotive.

§ 1. — *Estimation des résistances.*

Utilisation de formules de résistance.....	57
Accélération au départ.....	61

§ 2. — *Puissance de la locomotive.*

Poids par cheval.....	63
Formules donnant approximativement la puissance d'une locomotive...	64
Nomogramme pour calculer la puissance d'une locomotive.....	65
Effort moyen de traction à la jante.....	73
Adhérence.....	75

§ 3. — *Calcul des charges.*

Détermination des charges que peuvent remorquer les locomotives dans différentes conditions de rampes et de vitesses.....	76
Nomogramme.....	78

§ 4. — *Types de locomotives.*

Types de locomotives.....	85
Désignation des types.....	86

CHAPITRE VIII. — Locomotive à vapeur.

§ 1. — Dimensions courantes principales d'une locomotive.

	Pages.
Diamètre des roues.....	89
Pression de la vapeur.....	89
Course des pistons, <i>l</i>	89
Longueur des bielles.....	90
Diamètre des cylindres, <i>d</i>	90
Chaudière.....	90

§ 2. — Essais des locomotives.

Méthode d'essai Creczott.....	91
Méthode d'essai allemande.....	91
Observations.....	91
Banc d'essais de locomotives.....	92

§ 3. — Étude pratique d'un projet de locomotive.

Établissement du diagramme.....	94
Surface de grille.....	95
Chaudière.....	96
Passage en courbe.....	96
Passage en gabarit.....	99
Dimensions des cylindres.....	99
Locomotive 241-A. — OCEM — détermination du centre de gravité... Répartition des poids sur rails.....	104 105

§ 4. — Étude des différentes parties de la locomotive.

Chaudière.....	105
Cendrier.....	106
Grille.....	106
Section de passage des gaz dans les tubes.....	106
Surfaces de chauffe directe et indirecte, surface de surchauffe... Expériences de Nozo et Geoffroy.....	108 108
Vaporisation horaire de la chaudière.....	109
Calorifuge.....	109
Bilan thermique.....	109
Exemple de bilan thermique.....	111
Pouvoir calorifique du combustible.....	114
Injecteurs.....	114
Essais des injecteurs.....	118
Choix du numéro d'injecteur à monter sur une machine.....	118

	Pages.
Choix du type d'injecteur.....	118
Débit des injecteurs.....	118
Injecteurs à vapeur d'échappement.....	119
Explosions de chaudières.....	121
Réglementation des appareils à vapeur.....	122
Distribution.....	123
Distribution par tiroirs.....	123
Phases de la distribution.....	123
Étude d'une distribution.....	124
Nouveau procédé de représentation graphique de l'ensemble d'une distribution.....	126
Ouverture des lumières.....	127
Distributions à coulisse améliorées.....	128
Mouvement du tiroir qui donne l'accélération maximum la moins grande possible.....	130
Détermination des vitesses et des accélérations des différentes articulations d'un système de distribution (cinémas de Marbec).....	134
Distributions conjuguées.....	152
Distributions par obturateurs.....	155
Distributions par soupapes.....	155
Châssis et roulement.....	159
Contrepoids des roues.....	159
Booster.....	160

§ 5. — *Perfectionnement des machines locomotives.*

Séchage de la vapeur.....	163
Surchauffe.....	163
Économie d'eau.....	164
Économie de combustible.....	164
Obtention de la vapeur surchauffée sur les locomotives.....	165
Étude de la chaudière-locomotive à surchauffe.....	165
Précautions à prendre dans la construction de la machine à surchauffe.....	168
Réchauffeurs d'eau d'alimentation.....	169
Réchauffeurs à surface.....	169
Réchauffeurs à mélange.....	170
Injecteurs à vapeur d'échappement.....	170
Injecteur Metcalfe.....	170
Réchauffeur Caprotti.....	171
Chauffage au mazout.....	173
Chauffage au charbon pulvérisé.....	174
Chaudières chauffées au charbon pulvérisé.....	174

	Pages.
Chargeurs mécaniques.....	175
Avantages et inconvénients.....	176
Chaudières à tubes d'eau.....	177
Réchauffage de l'air de combustion.....	179
Compoundage.....	180
Avantages du système compound.....	180
Divers systèmes de machines compound.....	181
Rapport des volumes des cylindres.....	183
Économie des machines compound.....	183
Échappement des locomotives.....	184
Obtention du tirage.....	185
Établissement de l'échappement.....	186
Causes de notre ignorance.....	187
Fonctionnement de l'échappement.....	187
Amélioration de l'échappement.....	188
Gain maximum qu'on peut retirer de l'abaissement de la contrepression dans la colonne d'échappement.....	188
Nouveaux systèmes d'échappement.....	189
Fumivorité.....	190
Appareils fumivores.....	194
Dispositifs pour éviter les rabattements de fumée.....	207
Consommation des locomotives.....	208
Chaudières à haute pression.....	212
Avantages économiques des hautes pressions.....	212
Application aux locomotives.....	219
Avenir des locomotives à haute pression.....	231
Locomotives à turbine.....	233
Machine Ramsay.....	235
Machine Ljungström.....	235
Locomotive Zoëlly.....	237
Locomotive Reid Mac Leod de la North British Loc. Cy.....	238
Locomotives Infeld et Ludwig, construite par Maffei pour les chemins de fer de Reich.....	238
Locomotive Krupp.....	240
Conclusion.....	240
Locomotive mixte à pistons et à turbine.....	241
Locomotives articulées.....	242
Conditions d'emploi.....	242
Divers types.....	243
Locomotives semi-articulées.....	244
Locomotives Mallet.....	244
Locomotives articulées proprement dites.....	245
Locomotives jumelées.....	245
Locomotive.....	245

	Pages.
Locomotives Pechot-Bourdon.....	245
Locomotive Fairlie modifiée à deux chaudières indépendantes.....	245
Locomotive Fairlie de la North British C ^o	246
Locomotives Meyer.....	246
Locomotives du Bousquet du Nord Français.....	247
Locomotives Garratt.....	247
Locomotives Golwé.....	247
Locomotives à transmission par engrenage.....	247
Locomotives spéciales.....	249
Locomotives à crémaillère.....	249
Locomotive à vis sans fin.....	252
Locomotive à adhérence supplémentaire.....	252
Dimensions principales des locomotives des réseaux français.....	253
Renseignements divers concernant les locomotives à vapeur.....	279

**CHAPITRE IX. — Traction par moteurs à combustion interne.
Automotrices et locotracteurs.**

Automotrices.....	287
Locotracteurs.....	288

CHAPITRE X. — Traction électrique.

§ 1. — Système triphasé.

a) Système à deux conducteurs aériens.....	292
b) Système à trois conducteurs aériens.....	293

§ 2. — Système monophasé. 293

§ 3. — Système monophasé-triphasé. 294

§ 4. — Système monophasé continu. 294

§ 5. — Système continu.

1 ^o Système continu à la ligne aérienne, à tension de 550 à 600 volts... ..	296
2 ^o Système continu à troisième rail à tension de 600 à 800 volts.....	296
3 ^o Système continu à deux conducteurs de courant isolés.....	296
4 ^o Système continu des Grands Réseaux de chemins de fer français à 1.500 volts.....	297
5 ^o Systèmes continus à 2.400 et 3.000 volts.....	299
6 ^o Système continu à 4.500 volts.....	299
Avantages de l'électrification.....	300
Bibliographie.....	302
Locomotives à 1.500 volts des grands réseaux français.....	304

TROISIÈME PARTIE

Matériel de transport.

CHAPITRE XI. — Train ou châssis.

§ 1. — <i>Caractères généraux.</i>	308
§ 2. — <i>Châssis.</i>	309
§ 3. — <i>Essieux.</i>	

Pages.

Parties de l'essieu.....	309
Efforts.....	309
Dimensions.....	310
Conditions de fabrication et d'essai.....	312
Ecartement des essieux; empattement.....	312
Essieux convergents et jeux des essieux.....	313

§ 4. — *Roues.*

Bandages.....	314
Corps de roues.....	315
Ecartement des roues.....	315
Conditions de fabrication et d'essai.....	315

§ 5. — *Ressorts.* 315§ 6. — *Graissage.* 316§ 7. — *Attelages.*

Attelages automatiques.....	317
-----------------------------	-----

CHAPITRE XII. — Caisse.

§ 1. — *Voitures à voyageurs.*

Types de voitures.....	320
Construction de la caisse.....	320
Première classe.....	320
Deuxième classe.....	321
Troisième classe.....	321

	Pages.
Mixtes.....	321
Coupés, salons et voitures-lits.....	321
Voitures à étages.....	321
Bureaux ambulants.....	322
Matériel lourd.....	322
Prix des voitures.....	323
<i>§ 2. — Fourgons et wagons.</i>	
Fourgons.....	323
Trucks à équipages.....	324
Écuries.....	324
Wagons couverts et fermés.....	324
Wagons à primeurs. — Wagons frigorifiques.....	324
Wagons plate-formes.....	325
Wagons tombereaux.....	325
Wagons divers et spéciaux.....	326
Prix des wagons.....	326
<i>§ 3. — Poids mort des véhicules.</i>	
Voitures à voyageurs.....	326
Wagons à marchandises.....	327
<i>§ 4. — Coefficient d'utilisation.</i>	
<i>§ 5. — Dépréciation du matériel roulant.</i>	
Matériel léger.....	327
Estimation de M. de Billy.....	327
Formule usuelle.....	328
Règle suivie par les Compagnies françaises.....	328
<i>§ 6. — Dépense kilométrique d'achat du matériel remorqueur et roulant.</i>	
329	
CHAPITRE XIII. — Freins.	
Nécessité des freins.....	331
Frein des machines. — Contre-vapeur.....	331
Frein à vapeur.....	331
Classification des freins des véhicules.....	331
Freins à main.....	332
Effet des freins.....	332

	Pages.
Freins continus.....	333
Freins à air comprimé.....	333
Freins à vide.....	334
Prix des freins.....	336

CHAPITRE XIV. — Éclairage et chauffage.

§ 1. — Éclairage des voitures.

Éclairage électrique.....	337
Poids et prix.....	337

§ 2. — Chauffage des voitures.

Chauffage par la vapeur.....	338
Chauffage indirect.....	339
Chauffage par la vapeur directe.....	340
Chauffage par un mélange de vapeur et d'air.....	342
Chauffage Lancrenon.....	342
Chauffage Heintz.....	342
Chauffage Westinghouse.....	343
Chauffage préalable des voitures.....	344
Chauffage par l'électricité.....	345
Comparaison des prix de revient de chauffage par la vapeur et par l'électricité.....	346
Liste des spécifications techniques et cahier des charges.....	347

QUATRIÈME PARTIE

Exploitation.

CHAPITRE XV. — Mouvement.

§ 1. — Circulation des trains.

Vitesse des trains.....	349
Indicateurs de vitesse.....	350
Intercommunication.....	351
Parcours et utilisation des wagons.....	352

§ 2. — *Dépenses des gares et stations.*

	Pages.
Rapport des dépenses aux recettes.....	353
Prix de revient par voyageur.....	353
Prix de revient de la manutention.....	353

CHAPITRE XVI. — **Appareils destinés à garantir la sécurité.**

I. — SIGNALISATION.

Signaux optiques.....	356
Signaux acoustiques.....	356
Signalisation française.....	356
Signalisations étrangères.....	356

II. — MODE D'INSTALLATION DES SIGNAUX.

COMMANDER A DISTANCE DES SIGNAUX ET DES AIGUILLES.

Installation des signaux.....	356
Commande des signaux.....	356
Commande des aiguilles.....	356
Contrôle des aiguilles et des signaux.....	356

III. — ENCLENCHEMENTS.

Généralités.....	356
Réalisation des enclenchements.....	356
Postes d'enclenchement.....	356
Enclenchements produits par les trains eux-mêmes.....	356

IV. — BLOCK-SYSTEM.

*Double voie.**Espacement des trains.*

Espacement par le temps.....	357
Block-system.....	358
Block manuel.....	360
Block automatique.....	368
Signaux d'avertissement.....	370
Signaux à trois positions.....	371
Circuits de voie.....	372

Voie unique.

	Pages.
Exploitation en navette.....	380
Pilotage.....	380
Bâton-pilote.....	380
Block enclenché de voie unique.....	383
Block automatique de voie unique.....	387

CHAPITRE XVII. — Tarification.

§ 1. — *Objet et base de l'exploitation commerciale.*

Objet.....	389
Systèmes d'exploitation.....	389
Bases d'établissement des tarifs.....	389
Prix de revient comparatifs des divers moyens de transports.....	390

§ 2. — *Classification des tarifs.*

Tarif légal.....	391
Tarifs généraux.....	391
Tarifs spéciaux.....	391

§ 3. — *Différentes formes de tarifs.*

Tarifs proportionnels.....	392
Tarifs différentiels.....	392
Tarifs à bases variables.....	393
Tarifs par zones.....	393
Tarif postal.....	393
Tarif à prix ferme.....	394

§ 4. — *Différentes applications des tarifs.*

Tarifs intérieurs.....	394
Tarifs communs.....	394
Tarifs de transit.....	394
Tarifs d'exportation.....	394
Tarifs de pénétration.....	395

§ 5. — *Tarifs en usage.*

Tarifs des voyageurs.....	395
Taxe moyenne.....	397

	Pages.
Tarifs des marchandises.....	398
Tarifs de grande vitesse.....	399
Petite vitesse.....	400
Homologation des tarifs.....	402

§ 6. — *Frais accessoires.* 402

§ 7. — *Camionnage et factage.* 403

§ 8. — *Colis postaux.* 403

CHAPITRE XVIII. — Recettes et dépenses des chemins de fer.

§ 1. — *Classification des recettes et dépenses.* 405

§ 2. — *Tableaux des recettes et dépenses.*

Répartition des recettes..... 406

§ 3. — *Coefficient d'exploitation.* 407

§ 4. — *Impôts.* 408

CINQUIÈME PARTIE

Statistique.

Coefficients d'exploitation des grands réseaux de 1910 à 1928.....	409
Recettes des grands réseaux de 1901 à 1928.....	410
Dépenses des grands réseaux de 1901 à 1928.....	410
Recettes kilométriques des grands réseaux de 1910 à 1928.....	411
Dépenses kilométriques des grands réseaux de 1922 à 1928.....	411
Effectif du matériel roulant des grands réseaux (31 décembre 1928)...	412
Longueur des lignes exploitées en France.....	413
Effectif du personnel au 1 ^{er} janvier 1925.....	413
Combustible et travail électrique dépensé en 1926.....	414

SIXIÈME PARTIE
Législation et Divers.

Organisation internationale des chemins de fer.

	Pages.
Unité technique des chemins de fer.....	416
Résumé des prescriptions de l'unité technique.....	417
Conventions relatives aux échanges de wagons entre les administrations de chemins de fer de divers pays. R. I. V.....	418
Résumé des dispositions R. I. V.....	419
Conventions techniques concernant l'emploi réciproque des voitures en trafic international R. I. C.....	420
Résumé des dispositions du R. I. C.....	421
Règlement technique français.....	422
Conventions internationales diverses.....	422
Convention sur le transport des marchandises (14 octobre 1890)...	423
Convention sur le transport des voyageurs et des bagages par chemin de fer (C. I. V.).....	424
Union internationale des chemins de fer.....	428
Organes de l'U. I. C.....	429
 <i>Note sur l'amélioration du gabarit passe-partout.</i>	 432

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

NOTA. — L'indication 128-1930, par exemple, indique que l'on trouvera dans l'agenda 1930 à la page 128, l'article indiqué, qui n'a pas été reproduit dans l'édition 1931.

A		Pages.	
	Pages.		
Accidents.....	378-1929	Canalisations d'eau.....	55
Adhérence.....	75	Cendrier.....	106
Aiguilles (commande des). 351-1930		Charges remorquées.....	76
— (contrôle des)....	367-1931	Chargeurs mécaniques.....	175
Alimentation d'eau.....	54	Chariot roulant.....	52
— en marche.....	55	Châssis.....	159-309
Articulations (vitesse et accélé- ration des).....	134	Chaudières.....	90-96-105
Attelages.....	316	— (explosion des)....	121
Attelages automatiques.....	317	— à haute pression... 212	
Automotrices.....	287 et 250-1929	— à tubes d'eau.....	177
		Chauffage au charbon pulvérisé	174
		— Heintz.....	342
		— indirect.....	339
		— Lancrenon.....	342
		— au mazout.....	173
		— par l'électricité....	345
		— par la vapeur.....	338
		— préalable des voitures	344
		— des voitures.....	338
		— Westinghouse.....	343
		Chemin de fer de ceinture.	396-1928
		Choix des rails.....	34
		Circuit de voie.....	372
		— à courant alternatif....	375
		— à courant continu.....	373
		Circulation des trains.....	349
		Classification des locomotives..	86
		Clôtures.....	26
		Code des signaux.....	351-1929
		Coefficients d'exploitation.....	407
B			
Ballast.....	37		
Bancs d'essais de locomotives..	92		
Bandages.....	314		
Bascules.....	52		
Bielles (longueurs des).....	10		
Bilan thermique.....	109-111		
Block-system.....	357		
Booster.....	160		
Bureaux ambulants.....	322		
C			
Caisse des voitures.....	320		
Calorifuge.....	109		
Camionnage.....	403		

	Pages.		Pages.
Coefficients d'utilisation du matériel.....	327	Dépenses d'achat du matériel	319-1929
Colis postaux.....	403	— des gares.....	353
Combustibles (consommation)..	411	— de l'exploitation.....	405
— (pouvoir calorifique)	114	Dépréciation du matériel roulant.....	327
Commande des aiguilles..	351-1930	Distribution.....	123
— des signaux... 351-1930		— à coulisse.....	128
Compoundage.....	180	— par obturateur... 155	
Concession.....	15	— par soupape..... 155	
Conditions d'établissement de la voie.....	7	— par tiroir..... 123	
Conditions de Lübeck.....	420	Douane (fermeture des wagons passant en douane.....)	420
Consommation des locomotives.	208		
Conférences de Berne.....	416	E	
Congrès des chemins de fer....	424	Ecartement des voies.....	45
Contrepoids des roues.....	159	Echappement des locomotives.	184
Contrôle des aiguilles.... 367-1930		Eclairage.....	337
— des signaux.... 367-1930		Eclisses.....	35
Convention du 28 juin 1921.	374-1928	Economie de combustible.....	164
Corps de roues.....	315	— d'eau.....	164
Cossmann (Méthode de).....	2	Ecuries.....	324
Coulisses.....	128	Effectif du matériel.....	412
— de Walschaerts.....	129	— du personnel.....	413
Courbes (rayon des).....	12-39	Effort de traction.....	73
— (résistances dues aux)	57	Enclenchements.....	370-1930
Coussinets de la voie.....	35	Enquêtes administrative.....	16
Creezott (méthode de).....	91	— parcellaire.....	17
Croisements.....	48	— d'utilité publique... 16	
Cylindres de locomotives.... 90-99		Epuration des eaux.....	55
D		Epures elliptique.....	125
Déclivités.....	12	— d'une distribution.....	124
— (résistance due aux).. 57		— de Zeuner.....	124
Décret sur les appareils à vapeur (25 août 1929)..	128-1930	Espacement des traverses....	44
— (2 avril 1926)....	122-1929	Essai des injecteurs.....	118
Décret du 11 novembre 1917 sur la police, la sûreté et l'exploitation des chemins de fer	348-1928	— des locomotives.....	90
Demande en concession.....	15	Essieux.....	309
Dépenses de combustible.....	414	Etudes préalables de la voie... 1	
— de construction.. 65-1930		— définitive.....	19
		Evaluation du trafic probable..	1
		Exploitation.....	349
		Explosion des chaudières.....	121
		Expropriation.....	17

F		Pages.	
	Pages.		
Factage.....	403	Inscription de la locomotive en	
Formalités administratives.....	15	courbe.....	149-1930
Fosses à piquer.....	53	Inscription de la locomotive dans	
Fourgons.....	373	les appareils de voie.....	154-1930
Frais accessoires de transport.....	402	Intercommunication.....	351
Freins à air comprimé.....	333		
— continu.....	333	L	
— (effet des).....	332	Largeur de la voie.....	7-38
— à main.....	332	Locomotive :	
— à vide.....	334	— à adhérence supplé-	
— (prix des).....	336	mentaire.....	252
Freins à contre-vapeur.....	331	— articulées.....	88-242
Fumée (rabattement de).....	207	— du Bousquet.....	247
Fumivorité.....	190	— à crémaillère.....	249
		— Fairlie.....	245
G		— Garratt.....	247
Gabarit.....	26-52-330-432	— Imfeld et Ludwig... ..	238
Geoffroy (expérience de).....	108	— jumelées.....	245
Graissage.....	316	— Krupp.....	240
Grille.....	106	— Ljungstrom.....	235
— (surface de).....	95	— Mallet.....	244
Grue hydraulique.....	54	— Meyer.....	246
— (débit des).....	62-1930	— Pechot-Bourdon... ..	245
		— Ramsay.....	235
		— Reid-Mac Leod.....	238
H		— Semi-articulée.....	244
Hautes pressions.....	190	— à turbine.....	233
Heurtoir.....	53	— mixte à pistons et à	
		turbine.....	241
		— à transmission par	
		engrenage.....	247
		— à vis sans fin.....	252
I		— dimensions courantes	
Impôts.....	408	principales... ..	89-253
Inclinaison des rails.....	39	— essais.....	90
Indicateur de vitesse.....	350	— étude pratique... ..	94
Injecteurs.....	114	— perfectionnements... ..	163
— à vapeur d'échappe-		— électriques.....	304
ment.....	119-170	— (prix des).....	285-302
— (choix des).....	118	— (types de).....	86
— (débit des).....	118	Locomotives.....	288 et 274-1929
— (essais des).....	118	Loi de 1845.....	235-1927
		Loi du 29 octobre 1921... ..	391-1928

M	Pages.		Pages.
Matériel de transport.....	308	Pouvoir calorifique du combustible.....	114
Matériel (effectif).....	412	Prix de la construction.....	68-193
Mazout (chauffage au).....	173	— du matériel roulant.....	329
J. Michel (méthode de).....	1	— des voitures et wagons.....	323-326
Mouvement.....	349	— des freins.....	336
		— des trains.....	353
		— de revient par voyageur.....	353
		— de la manutention.....	353
		— comparatif des transports.....	390
		Projet définitif.....	20
		— d'exécution.....	17
		Profil de la plate-forme.....	38
		Puissance des locomotives.....	62
		R	
		Raccordements.....	43
		Rails.....	28
		— dimensions et poids.....	30
		— à double champignon.....	28
		— (fabrication des).....	32
		— (inclinaison des).....	39
		— à patin.....	30
		— longs et courts en courbe.....	44
		— (réception des).....	32
		— (surécarterment des).....	41
		— (usure des).....	33
		Réchauffage de l'air de combustion.....	179
		Réchauffeurs d'eau d'alimentation.....	169
		— (essais des).....	175-1929
		Régime des chemins de fer (nouveau). Convention du 28 juin 1921 et Loi du 29 octobre 1921.....	374-1: 28
		Régime de l'Alsace-Lorraine.....	412-1929
		Règlement du 10 mai 1927 pour le calcul technique des ponts.....	413-1929
		Règlementation des appareils à vapeur.....	122

	Pages.		Pages.
Règlement technique français..	422	Train ou châssis.....	309
Remblais.....	24	Train (vitesse des).....	349
Rendement de la chaudière....	113	Tranchées.....	22
Résistance des trains.....	57	Travaux d'art.....	22
— au démarrage.....	61	Traverses.....	36
Ressorts.....	315	— (espacement des).....	44
R. I. C.....	418	Traversées-jonctions.....	49
R. I. V.....	420	Trucks à équipement.....	324
Roues.....	89-314	Tunnels.....	22
S		U	
Sablère.....	76	Utilisation des wagons.....	327
Séchage de la vapeur.....	163	U. I. C.....	429
Sécurité (appareils de).....	357	Unité technique (U. T.).....	416
Signalisation.....	306-1930	V	
Signaux (installation)....	: 27-1939	Vaporisation horaire.....	109
Souterrains.....	22	Viaducs.....	24
Spécifications techniques.....	347	Vitesse des trains.....	349
Stabilité des ponts.....	414-1929	Voie.....	28
Statistique des accidents..	378-1929	— étroite.....	10
Surchauffe.....	163	— large.....	8
Surface de chauffe.....	108	— métrique.....	10
— surchauffe.....	108	— normale.....	9
Surhaussement dans les courbes	39	— moyenne.....	9
T		— métallique.....	46
Taquets d'arrêt.....	53	— (écartement des).....	45
Tarification.....	389	— (sorte de).....	28
Tirage des chaudières.....	185	Voitures à voyageur.....	320
Tracé de la voie.....	19	W	
Tracteur de gare.....	260-1929	Wagons divers.....	323
Traction électrique.....	290		
Trafic probable.....	1		

TABLES ET FORMULES USUELLES

	Pages.
Arithmétique.....	I
Trigonométrie.....	II
Géométrie.....	III
Carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, circonférences, surfaces et logarithmes des nombres ou diamètres de 1 à 105.....	VI
Arcs, cordes, flèches et surfaces des segments.....	IX
Tangentes et cotangentes des angles de 0 à 90°.....	XI
Sinus et cosinus des angles de 0 à 90°.....	XI
Intérêts composés.....	XII
Temps de l'amortissement.....	XIII
Valeur de 1 franc payable à la fin de n années.....	XIV
Taux de l'amortissement.....	XIV
Annuités d'amortissement.....	XV
Transformation des pentes métriques en degrés d'inclinaison et réciproquement.....	XVI
Transformation de fractions ordinaires en fractions décimales.....	XVI
Transformation des litres par seconde en litres par minute.....	XVI
Mesures (Loi du 2 avril 1919).....	XVII
Mesures de la marine.....	XXII
Mesures de certaines substances.....	XXII
Mesures anglaises.....	XXIII
Autres mesures étrangères.....	XXIV
Anciennes mesures françaises.....	XXIV
Poids et diamètres des monnaies.....	XXV
Monnaies usuelles des pays étrangers.....	XXV
Mesures agraires.....	XXVI
Densité des gaz.....	XXVI
Densités des vapeurs.....	XXVI
Densités des liquides.....	XXVI
Densités des solides.....	XXVII
Poids des feuilles de tôle en fer laminé, cuivre rouge, plomb, zinc, étain, argent, aluminium.....	XXVIII
Numéros et poids des feuilles de zinc laminé.....	XXVIII
Poids des fers carrés et ronds.....	XXIX
Météorologie.....	XXX
Températures.....	XXX
Points de fusion et d'ébullition.....	XXXI
Coefficient de dilatation linéaire.....	XXXI
Extrait du catalogue de la librairie Dunod.....	XXXIV

BIBLIOGRAPHIE

Principaux ouvrages sur les **Chemins de fer** parus en langue française d'avril 1929 à avril 1930 (1). (*Prix sous réserve de variations.*)

(Voir aussi le catalogue page xxxiv de l'appendice.)

- Tables tachéométriques.** S. NOMICOS. In-8° de 128 pages. Relié 50 fr.
- Contrôle des chemins de fer et tramways.** J. DE LA RUELE. 2^e édition revue et mise à jour par M. CHATEL. In-16 de IV-554 pages. Relié, 67 fr. Broché..... 58 fr.
- La question du frein pour les trains internationaux de marchandises.** R. ZEHNDER. In-8° de 76 pages avec 25 figures. Broché..... 22 fr.
- La topographie sans topographes. — *Traité de photogrammétrie.*** F. OLLIVIER. In-8° de 301 pages. Relié..... 42 fr.
- Le personnel des chemins de fer.** J. LASSALETTE. In-8°. Broché..... 20 fr.
- Tables pour le tracé des courbes de chemins de fer, routes et canaux par le procédé des angles successifs.** L. BÉRILLE. In-16 de 37 pages. Cartonné..... 13 fr.
- Déclivités des voies de terre dans les courbes.** E. DUMETZ. In-8° de 31 pages avec 5 figures et 5 tableaux. Broché..... 5 fr.
- Locomotives modernes à vapeur et électriques.** E. MEUNIER et L. DAVALLON. 202 photographies avec caractéristiques des machines. Broché..... 30 fr.

Articles sur les **Chemins de fer** parus dans la *Technique moderne* d'avril 1929 à avril 1930.

- La traction électrique sur les chemins de fer.** P. LÉBOUCHER. In-4° de 10 pages avec 18 figures et 1 planché (*Technique moderne*, 1930, n° 2)..... 8 fr.
- Le matériel moderne de l'électrotechnique, la traction électrique sur le chemin de fer.** L. GALZIN, P. LÉBOUCHER, P. LÉTRILLIART, J. LÉVY et H. DE PISTOYE. In-4° de 72 pages avec 196 figures (*Technique moderne*, 1930, n° 1)..... 12 fr. 50

(1) L'ordre adopté est l'ordre chronologique d'apparition.

AGENDA AIDE-MÉMOIRE

DES

CHEMINS DE FER

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDES ET CONSTRUCTION ¹

CHAPITRE I

ÉTUDES PRÉALABLES

Lorsqu'il s'agit d'établir un chemin de fer, la première question à résoudre, avant de commencer toute étude sur le terrain, est de savoir s'il faut le construire et dans quelles conditions on doit le construire : voie large, voie étroite, traction mécanique, traction électrique, etc. Le rendement commercial étant un des éléments du problème il est le plus souvent nécessaire de faire une évaluation du trafic probable de la ligne et une évaluation des dépenses de construction et d'exploitation. Il existe toutefois des cas dans lesquels ce rendement commercial n'intervient pas : construction des lignes stratégiques, de lignes réalisant des raccords.

§ 1. — Évaluation du trafic probable.

Il est difficile, sinon impossible, de prévoir exactement ce que sera le trafic d'une ligne de chemin de fer projetée; diverses méthodes sont suivies pour faire cette évaluation:

Méthode de M. J. Michel. — M. Michel a proposé la formule suivante :

$$T = 2g (m + n) Sp,$$

¹ Les prix de revient et tarifs indiqués ci-après sont ceux d'avant guerre.

dans laquelle :

- T représente le trafic kilométrique en voyageurs et en marchandises ;
 g, le rapport entre la longueur de la ligne et la distance qui sépare le point où elle aboutit à une artère existante du centre de gravité de la population desservie par l'embranchement projeté ;
 Sp, la population desservie par l'embranchement.

Pour établir ces données, M. Michel a fait le relevé des stations de chemins de fer en France et a mis en regard : 1° la population de chaque *localité-gare* (c'est-à-dire de la localité desservie directement par une gare) ; 2° le nombre de voyageurs expédiés ; 3° la demi-somme des marchandises expédiées et reçues, non compris le tonnage auquel donnent lieu les usines et les carrières importantes. En divisant chacun des deux derniers nombres par le premier, il a obtenu en moyenne :

$$\begin{aligned} m &= 6,50 ; \\ n &= 2,10. \end{aligned}$$

Il arrive, la plupart du temps, que l'on a $g = 0,66$ pour une ligne en impasse. En estimant à 0 fr. 065 la recette kilométrique par voyageur transporté (impôt non compris) et à 0 fr. 0615 celle par tonne de marchandises (1), on a, pour la recette probable :

$$R = 0,6Sp.$$

Cette méthode, fondée sur le rapport qui doit nécessairement exister entre le trafic d'une ligne et l'importance de la population qu'elle dessert, donnait des résultats suffisamment approchés à l'époque où les mailles des réseaux étaient encore peu serrées et où les contrées à desservir avaient une population à peu près aussi dense et une importance commerciale à peu près aussi grande que celles des régions déjà traversées par les lignes existantes ; mais aujourd'hui, où il ne reste plus guère à desservir que des régions ne pouvant donner lieu à un trafic notable, il est nécessaire de faire intervenir des éléments nouveaux dans le calcul ; aussi la méthode de M. Michel a-t-elle été modifiée pour être rendue plus précise.

Méthode J. Michel, modifiée par M. Cossmann 2. — On se procure une bonne carte indiquant les voies ferrées existant aux envi-

1 Recettes moyennes au prix d'avant-guerre.

En 1926 on a eu 0 fr. 13 et 0 fr. 19. On peut d'ailleurs faire l'estimation aux prix d'avant-guerre et multiplier par un coefficient approprié.

2 Publiée, avec exemples à l'appui, dans la livraison de janvier 1879 de la *Revue générale de Chemins de Fer*.

rons, de la ligne à construire dans un rayon de 8 à 10 kilomètres, les voies de communication, routes et chemins de toute nature, les communes que desservent les gares des chemins de fer existants, et celles que desserviront les gares de la ligne projetée. On trace sur cette carte la ligne à construire ainsi que les chemins conduisant des communes aux gares, en noir pour l'ancien itinéraire, en rouge pour le nouveau ; il est facile alors, par la comparaison de la longueur de ces itinéraires, des facilités d'accès qu'ils présentent et des réductions de parcours auxquelles ils paraissent avoir donné lieu, de faire le compte de la population desservie, pour chaque gare, dans l'ancien état de chose et dans le nouveau ; on inscrit ce résultat à côté du nom de la station.

On recherche ensuite, pour celles de ces stations qui existent déjà, le nombre de voyageurs expédiés et la demi-somme des expéditions et des arrivages en tonnes de marchandises, pendant un an, en ayant soin, comme le fait d'ailleurs M. Michel, de distraire du mouvement des marchandises celui qui serait afférent à des usines importantes dont les transports exceptionnels fausseraient le chiffre de la moyenne caractéristique du mouvement de la contrée.

On totalise ces résultats en séparant les voyageurs des marchandises, et l'on divise chacun d'eux par le chiffre total de la population, que desservaient anciennement ces stations ; on obtient ainsi le coefficient de transport de la contrée, en nombre de voyageurs et en tonnes.

Lorsque, au lieu de prendre seulement la population de la localité-gare, on tient compte des communes réellement desservies par chaque station, ces chiffres s'écartent peu des moyennes suivantes :

2 à 4 voyageurs par habitant et par an ;
1 à 2 tonnes — —

Quant au mouvement industriel de quelques usines importantes, telles que les transports des sucreries, des usines métallurgiques, etc., on doit le compter à part.

Cela posé, M. Cossmann admet trois cas, suivant que la ligne à établir sera terminée en impasse et qu'elle ne renfermera aucun centre de population donnant lieu à un trafic intérieur important, ou qu'étant en impasse elle desservira des localités donnant lieu à un trafic intérieur important, ou enfin qu'elle sera reliée à ses deux extrémités.

Premier cas. — On calcule le nombre d'habitants kilométriques destinés à utiliser cette ligne, c'est-à-dire la somme des produits des populations que desservira chaque gare par la distance qui séparera cette gare de l'origine de l'embranchement.

Soient :

p_1, p_2, p_3 , etc., les populations des stations ;
 l_1, l_2, l_3 , etc., leurs distances à l'origine de l'embranchement.

Ce nombre d'habitants kilométriques est égal à :

$$p_1 l_1 + p_2 l_2 + p_3 l_3 + \text{etc.} = Spl \text{ } ^1.$$

Si v et t représentent les caractéristiques du mouvement par habitant en voyageurs et en tonnes de marchandises, le chemin projeté aura, en doublant pour tenir compte de l'aller et retour, un mouvement de :

$$\begin{array}{l} 2Spl \times v \text{ voyageurs kilométriques;} \\ 2Spl \times t \text{ tonnes} \quad \quad \quad \text{---} \end{array}$$

Si d et d_1 sont les tarifs moyens² perçus par les Compagnies pour le transport des voyageurs et des marchandises (impôt déduit), la recette brute de la ligne sera :

$$R = 2Spl(vd + td_1),$$

et la recette kilométrique, L étant la longueur de la ligne, sera :

$$K = \frac{2Spl(vd + td_1)}{L}.$$

On ajouterait au chiffre R , s'il y avait lieu, la recette spécialement due au mouvement industriel.

Deuxième cas. — S'il se trouve sur la ligne un centre important comme un chef-lieu de canton, par exemple, on divisera les habitants desservis par chaque gare en deux groupes :

Le premier groupe correspondra aux transports de provenance ou à destination des *au delà* : le second se composera des relations du chef-lieu avec les diverses stations de la ligne.

Il n'est possible d'établir approximativement cette distinction qu'en consultant les écritures des services de correspondance existant actuellement, tels que les messagers et les voitures, et en prenant le rapport entre le trafic d'*au delà* et le trafic intérieur qu'accusent ces registres.

Dans ce cas, soit p la population desservie par une gare ; on sait assez exactement que ap habitants ont leurs relations au delà de l'embranchement, et que $(1 - a)p$ habitants ont leurs relations avec un centre situé à une distance l' ; au lieu de pl , on devra donc comp-

¹ Si l'un des groupes p_1 par exemple, est très voisin du point de soudure de l'embranchement, et qu'il y soit relié par de bonnes routes, il sera prudent de ne compter que sur $\frac{p_1}{2}$.

² Sur les petites lignes, où les tarifs sont généralement plus élevés que sur les grandes, et où il se fait peu de transports à bas prix, tels que la houille, les minerais, etc., ces tarifs diffèrent peu de 0,04 par voyageur et de 0,087 par tonne kilométrique, alors que sur les grands réseaux le produit moyen est de 0,037 par voyageur et de 0,047 par tonne kilométrique de marchandises.

ter, pour cette station :

$$apl + (1 - a)pl'.$$

On aura, par suite, pour la recette brute :

$$R = 2 [aSpl + (1 - a)Sl'p] (vd + td_1).$$

Troisième cas. — L'embranchement étant relié à ses deux extrémités, on doit se préoccuper, d'une part, du trafic intérieur, et, d'autre part du trafic d'au delà dans les deux directions.

Pour obtenir la subdivision de la population desservie, on doit encore recourir aux services de correspondances existants.

Si l'on trouve que, sur la population desservie par une gare, une fraction a se porte à une extrémité de l'embranchement, une fraction b à l'autre extrémité, et enfin le surplus $(1 - a - b)$ au chef-lieu de canton situé à une distance l , on aura, pour la recette, L étant la longueur de l'embranchement :

$$R = 2 [aSPl + bSp(L - l) + (1 - a - b)Spl'] (vd + td_1).$$

Enfin, on tient compte, en outre, du trafic de transit, d'ailleurs très faible en général.

Méthode J. Michel, modifiée en Allemagne. — Dans le but de donner plus de précision à la recherche du *coefficient caractéristique* de la contrée, et de faire ressortir l'influence spéciale que les localités voisines et le territoire environnant exercent plutôt sur les petites stations que sur les grandes, deux ingénieurs allemands, MM. Richard et Mackensen, ont interprété ainsi la méthode de M. Michel; ils ont groupé les stations en cinq catégories.

Dans le premier groupe se trouvent celles dont la population est inférieure à 500 habitants; dans le second se trouvent celles dont la population est de 500 à 1.000 habitants; puis viennent celles de 1.000 à 2.000, de 2.000 à 5.000 habitants et, enfin, celles qui ont plus de 5.000 habitants.

Au lieu d'un coefficient unique m ou n donnant le nombre de voyageurs ou de tonnes par habitant, on a ainsi cinq coefficients. Ils ont trouvé, d'ailleurs, que les coefficients vont en diminuant à mesure que la population augmente.

Cette subdivision est évidemment rationnelle; mais il est plus simple de tenir directement compte de la population réellement desservie par les lignes ferrées; ici encore le rôle du trafic intérieur est laissé de côté.

Méthode de comptage sur routes. — Quelques ingénieurs ont proposé de compter le nombre de voyageurs et la quantité de marchandises correspondant au nombre de colliers qui circulent annuellement sur les routes, dans la direction de la ligne du chemin de fer projeté, et de multiplier ces nombres par 2 ou par 3, pour tenir

compte de l'augmentation de trafic qui sera la conséquence de l'emploi du chemin de fer ¹.

Méthode comparative. — Il n'y a qu'une méthode à recommander, dit M. Bricka, celle qui est basée sur l'étude directe des ressources de la région à traverser et sur la comparaison avec des lignes similaires déjà construites.

Pour déterminer le trafic des voyageurs, il faut rechercher la population des localités à desservir et voir, pour les stations de chemins de fer qui existent dans la région, quel est le rapport du nombre de voyageurs à la population. Dans la comparaison, il faut tenir compte, d'ailleurs, des foires et marchés, des usines locales, etc. Dans la plupart des cas, on n'envisage que la population groupée dans une double zone de 5 kilomètres de largeur de part et d'autre de la ligne. La proportion entre le trafic et la population d'une station décroît très rapidement avec la distance et devient presque insignifiante lorsque celle-ci dépasse 10 kilomètres. M. Considère a trouvé que le nombre des voyageurs que donne une population est à peu près inversement proportionnel à sa distance aux stations, augmentée de 300 mètres, et que la recette fournie par ces voyageurs est à peu près proportionnelle à la même distance augmentée de 1 kilomètre ².

Pour évaluer le trafic des marchandises, il faut considérer les ressources du pays, la nature des produits et la direction qui leur est donnée; dans le cas où un chemin de fer existe déjà dans le voisinage, il ne faut pas manquer de voir si le mode d'exploitation future de la ligne doit entraîner des frais de transmission et de transbordement qui auront une influence sur la direction donnée aux marchandises. Il faut évaluer aussi le trafic de transit. Enfin, il faut tenir compte de l'extension probable que prendront les usines et les exploitations de la région, par suite de la facilité d'écoulement de leurs produits; mais, dans cette évaluation, on ne doit pas perdre de vue que l'augmentation de trafic due à la création du chemin de fer ne se développe que graduellement. On estime généralement que, pendant les quatre ou cinq premières années, le trafic augmente de 5, 6 ou 7 0/0; pendant les quatre ou cinq années qui suivent les premières, la pro-

¹ La majeure partie des chemins de fer construits sous l'empire de la loi de 1865 donnaient à peine, après quelques années d'exploitation, de 5 000 à 7.000 francs de recettes par kilomètre de ligne, alors que, lors de la construction de ces lignes, les prévisions de recettes ayant pour base les comptages de colliers sur les routes avaient indiqué des recettes de 12.000, de 15.000 et même de 20.000 francs par kilomètre (Baum, *Annales des Ponts et Chaussées*, novembre 1878, p. 492).

² *Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1879.

gression est de 3,4 ou 5 0/0; elle finit par prendre une marche régulière qui ne dépasse pas 2 à 3 0/0.

Pour l'application de cette méthode, on consultera les statistiques publiées par le Ministère des Travaux publics et les comptes rendus des assemblées générales d'actionnaires des compagnies de chemins de fer.

§ 2. — Conditions d'établissement ¹.

Lorsqu'on a évalué le trafic probable de la ligne projetée, il faut déterminer les éléments de sa construction. Ces éléments sont de deux sortes: 1° ceux qu'il n'est plus possible de faire varier après la construction de la ligne: tels sont le type et la largeur de la voie, les déclivités, les rayons des courbes; 2° ceux que l'on peut modifier si les besoins futurs de l'exploitation l'exigent: dimensions des gares, nombre de maisons de garde, passages à niveau, etc.

Type et largeur de la voie. — Les voies ne se classent pas seulement suivant leur largeur, car aujourd'hui on ne construit pas que des chemins de fer à deux files de rails, on construit et on exploite des chemins de fer monorails ², et des chemins de fer à trois rails; toutefois ceux-ci sont l'exception, et la généralité des chemins de fer comportent deux rails, plus ou moins écartés, de sorte qu'on peut envisager soit simplement trois sortes d'écartement: *voies larges*, *voies normales*, *voies étroites*, soit un plus grand nombre en créant deux autres classes: les *voies moyennes* et les *voies métriques*, comme on va le voir ci-après.

Voies larges. — Ce sont celles comprises entre 1^m,50 et 2^m,135 (jauge de 7 pieds de Brunel).

¹ *Utilité des Chemins de fer d'intérêt local* (Annales des Mines, 1893, 2^e volume).

² Voir:

Le système Lartigue, ligne de Feurs à Panissières (Loire), 17 kilomètres; ligne de Listowel à Ballybunion (Irlande), 10 kilomètres.

Le système Langen employé sur la ligne de Barmen-Elberfeld (Allemagne), 13 kilomètres et un autre analogue construit en 1901 entre Loschwitz et Roschwitz, près de Dresde.

Les systèmes Brennan, Scherl, Behrt, utilisant l'action d'un gyroscope stabilisateur; voir aussi le système Howard-Tunis, en projet.

Consulter: SCHERL (Auguste), *Ein neues Schnellbahnsystem* (Berlin, 1909), et *Le Ruralway, nouveau système de monorail*, par Georges Hyvert, in-4°.

La ligne de Sceaux (Paris à Limours) a été exploitée jusqu'en 1883 à voie large : elle avait 1^m,75 entre les bords intérieurs des rails.

En Angleterre, le Great Western Railway avait des voies de 2^m,135 d'écartement. Il fut exploité pendant un certain nombre d'années avec une voie mixte à trois rails donnant la voie large et la voie normale ; mais cette situation comportait l'emploi d'un double matériel : toute la ligne fut ramenée peu à peu à la largeur de la voie normale et, dès 1892, cette dernière demeura seule en service.

Voie normale. — La majorité des voies ferrées est établie suivant la voie normale désignée aussi sous le nom de voie de 1^m,44.

L'importance toujours croissante du trafic international a conduit les États et les Compagnies de chemins de fer à fixer pour l'écartement des voies des règles qui permettent l'échange du matériel roulant. Ces règles ont été ainsi formulées par la Conférence de Berne :

La largeur de la voie des chemins de fer (mesurée entre les bords intérieurs des têtes des rails), pour les voies neuves à poser et pour les voies à réfectionner, ne mesurera, dans les alignements droits, pas moins de.....	1,435
Dans les courbes, l'écartement des rails n'excédera pas, y compris le surécartement.....	1,470

La voie normale est donc actuellement définie par ces deux nombres.

Voies étroites. — Il existait un peu partout des chemins de fer à voie étroite de différentes largeurs, lorsqu'en France la voie de 1 mètre, pour les chemins de fer à voie étroite, fut prescrite par une circulaire ministérielle du 12 janvier 1888 ; la voie de 0^m,60 a été admise depuis.

Au Congrès de chemins de fer (Berne, 1910), il a été dit que toutes les fois que l'écartement à choisir pour une ligne projetée n'est pas déterminé soit par son raccordement avec un réseau à voie étroite existant, soit par d'autres considérations administratives, l'écartement de 1 mètre doit être préféré. On ne peut recommander ni un écartement inférieur à 600 millimètres, ni un nouvel écartement non encore appliqué.

Pour compléter les renseignements qui précèdent, voici, d'après une étude publiée dans les *Annales des Travaux Publics* de Belgique ¹, les écartements de rails en usage dans tous les pays.

Voies larges. — On trouve en service les voies suivantes (elles sont

¹ *Les écartements de chemin de fer*, par Lionel Wiener, ancien officier d'artillerie, secrétaire général et chef du service de la Traction de la C^e auxiliaire des chemins de fer au Brésil (juin 1912).

cotées en mesures métriques et en pieds et pouces anglais) :

- 1^m,512 (4' 11" 1/2), en Sardaigne.
 1^m,524 (5 pieds), en Russie et en Sibérie par mesure stratégique; à Panama; existait autrefois dans les États du Sud des États-Unis.
 1^m,60 (5' 3"), Irlande, Brésil, Chili, Victoria, Australie méridionale; Tasmanie (Launceston).
 1^m,676 (5' 6"), Espagne, Portugal, Indes anglaises, Ceylan, Siam, République Argentine (autrefois le Canada).
 1^m,829 (6'), ancien écartement du chemin de fer de l'Erié.
 2^m,135 (7'), ancien écartement du Great Western Ry (voie Brunel) utilisé encore par le chemin de fer du gouvernement de Ceylan et par le chemin de fer central du Brésil.

Les chemins de fer de Bahia à San Francisco et de Recife à San Francisco ont été ramenés de 1^m,60 à 1 mètre, écartement normal de la région.

Le chemin de fer Central Paraguayen a été ramené de 1^m,60 à 1^m,435, afin de se relier aux lignes argentines voisines et d'avoir un accès direct à Buenos-Ayres.

Voie normale. — C'est celle de 1^m,435, définie ci-dessus, avec quelques variations en plus ou en moins.

A l'exception de l'Irlande, de l'Espagne, du Portugal et de la Russie, l'écartement de 1^m,435 est généralement employé en Europe et dans l'Amérique du Nord. Quelques Compagnies, cependant, ont augmenté cette jauge de quelques millimètres pour avoir plus de jeu latéral, mais en restant dans les limites fixées par la conférence de Berne (voir page 8).

1^m,435 se trouve adopté en Asie par la Chine; en Afrique, par l'Égypte; en Océanie, par la colonie de Victoria; en Amérique du Sud, par le Pérou, l'Uruguay, les provinces voisines de l'Argentine et le Paraguay.

1^m,44 (4' 8" 11/16), Nord français, Orléans, Ceinture, etc.

1^m,45 (4' 9" 3/32), Est, État, Midi, Paris-Lyon-Méditerranée, Caen à la mer, etc.

1^m,448 (4' 9"), Pensylvanie, Norfolk et Western, New Orléans et Texas Pacific, Georgia RR, North Alabama, etc.

Voies moyennes. — Ces voies se rencontrent à titre exceptionnel et occasionnel

1^m,270 (4' 2") au Chili.

1^m,219 (4') en Suède, aux Indes anglaises, au Brésil.

1^m,20 (3' 11" 1/4) sur diverses lignes.

1^m,143 (3' 9") en Espagne.

1^m,10 (3' 7" 17/32) en Belgique, au Brésil.

Voies métriques. — On comprend dans ce groupe la voie de 1 mètre et celles qui ne s'en distinguent que par suite de la transformation des pieds en mètres :

- 1^m,067 (3' 6"), correspondant anglais du mètre ; se trouve dans les pays suivants : Japon, Indes hollandaises, Union sud-africaine, Afrique portugaise, ancienne Afrique allemande orientale, Haute Egypte, Nigérie, Hollande, Suède, Norvège, Russie.
 1^m,05 (3' 5" 11/32), se rencontre occasionnellement en Syrie et en Algérie.
 1 mètre correspondant métrique de l'écartement de 3' 6".

Voies étroites. — Elles comprennent les lignes à écartements inférieurs à 1 mètre ; celles de 0^m,75 et 0^m,60 sont les plus répandues, mais on en rencontre de toutes dimensions, telles que :

- 0^m,95 (8' 1" 3/8), Italie.
 0^m,914 (3'), Suède, États-Unis, Guatémala, Mexique.
 0^m,891 } (2' 11" 3/32), Suède.
 0^m,890 }
 0^m,800 (2' 7" 7/16), se rencontre fréquemment sur les chemins de fer de montagne et rarement ailleurs (Suisse, Java, France, Angleterre).
 0^m,785 (2' 6" 7/8), Allemagne.
 0^m,762 (2' 6"), Indes anglaises, Chili, Bolivie.
 0^m,700 (2' 5" 15/16), Bosnie, Autriche, Brésil.
 0^m,750 (2' 5" 17/32), correspondant métrique de 2' 6" ; se rencontre au Congo Belge, en Egypte, Saxe, Wurtemberg, Russie.
 0^m,724 (2' 4" 1/2), occasionnel en Hongrie.
 0^m,610 (2), Venezuela, Union sud-africaine.
 0^m,60 (1' 11" 1/2), occasionnel en Angleterre, Galles, Brésil, Chili ; se trouve dans l'ancienne Afrique Sud-Ouest allemande, au Maroc, en Allemagne¹.
 0^m,559 (1' 10"), occasionnellement à Dublin.
 0^m,457 (1' 6"), occasionnellement à Crewe, Woolwich, Chatham.

Choix de la voie. — Pour déterminer la voie à employer, il faut faire une étude spéciale pour chaque type et mettre en balance, d'une part, les dépenses de construction et d'exploitation entraînées par chaque type et, d'autre part, les avantages et les inconvénients de chacun d'eux.

On estime que le chemin de fer monorail de Barmen-Elberfeld coûte moitié moins, par kilomètre, que le chemin de fer aérien de Berlin et dix fois moins que les voies suburbaines de Londres.

¹ C'est la voie des chemins de fer stratégiques français recommandée par le colonel Pechot : *Étude sur la stabilité des trains et les chemins de fer à voie de 0^m,60*. Édition Bernard : se trouve également dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1907.

Quant aux chemins de fer à deux rails, la voie de 1 mètre coûte un peu moins cher que la voie normale, parce que la plate-forme est plus étroite, que les traverses sont plus petites, que le cube de ballast est moindre; la différence est de 2.000 à 3.000 francs par kilomètre en général, elle permet de plus de réaliser des économies considérables sur le tracé, grâce à la réduction des rayons des courbes. C'est ainsi que, sur la ligne d'Anvin à Calais, on a pu, à la traversée d'une vallée, en réduisant de 150 mètres à 130 mètres le rayon d'une courbe, abaisser de 40.700 mètres cubes à 16.100 mètres cubes le cube des terrassements. Avec un rayon de 100 mètres, le cube serait descendu à 8.000 mètres cubes.

L'étude comparative de divers tracés de chemins de fer dans la région accidentée d'Anvin à Calais a montré que la dépense kilométrique d'infrastructure (terrassements et ouvrages d'art seulement) s'élève en moyenne, pour la voie étroite, à environ 10.000 francs tandis qu'elle atteindrait pour la voie normale plus de 100.000 francs¹.

Sur le chemin de fer de la Mure (Isère), l'emploi de la voie de 1 mètre avec courbes de faibles rayons a permis de placer la ligne à flanc de coteau dans des vallées très escarpées; on n'a dépensé que 330.000 francs par kilomètre, alors qu'avec la voie normale on eût atteint près de 1 million par kilomètre.

D'après M. Baum, la dépense moyenne de construction, par kilomètre de voie étroite à 0^m,75, y compris le matériel roulant, sera, si la voie est établie sur une plate-forme spéciale, d'environ 65.000 francs. Si la voie est posée sur l'accotement d'une route, la dépense sera de 47.000 francs². L'adoption de la voie normale nécessiterait, dans les terrains peu accidentés, une dépense kilométrique moyenne d'environ 100.000 francs; dans les pays accidentés, cette dépense s'élèverait au delà de 120.000 francs. Ces prix s'entendent de voies construites aussi simplement et aussi économiquement que possible.

Les frais d'exploitation sont à très peu près les mêmes pour la voie de 1 mètre que pour la voie normale; la Société des Chemins de fer économiques, dit M. Bricka, qui exploite des lignes à voie normale et d'autres à voie de 1 mètre, dans les mêmes conditions de trafic, arrive à la même dépense dans les deux cas. Certaines Compagnies accusent cependant des différences de 1/5 à 1/3 en faveur de la voie étroite.

En résumé, les économies de la voie étroite par rapport à la voie

¹ Note sur l'influence des rayons des courbes sur les dépenses d'exécution des terrassements, par M. G. Arnoult (*Revue des Chemins de fer*, avril 1883).

² Étude sur les chemins de fer d'intérêt local, par M. Baum (*Annales des Ponts et Chaussées*, novembre 1878).

normale doivent faire l'objet d'une étude approfondie dans chaque cas particulier ; on doit les mettre en parallèle avec les avantages de la voie normale : suppression du transbordement, possibilité du transit, échange du matériel, extensions futures au point de vue du trafic et des vitesses.

Pentes et courbes. — Les premiers chemins de fer construits en France suivaient généralement les vallées, les cours des fleuves et des rivières, et c'est seulement pour passer d'un bassin hydrographique dans un autre que l'on a admis un tracé présentant des pentes supérieures à 0,005 par mètre et des courbes d'un rayon inférieur à 800 ou 1.000 mètres.

Depuis, grâce aux perfectionnements apportés aux locomotives, on est devenu moins rigoureux et, quand le trafic de la ligne projetée n'est pas très important, on considère comme acceptable un tracé établi avec des pentes maxima de 15 millimètres et des courbes d'un rayon minimum de 500 mètres ; dans les pays difficiles, on ne recule pas devant l'établissement de chemins à pente de 30 à 35 millimètres avec courbes de 180 mètres et même de 150 mètres de rayon.

Pour les lignes à grand trafic, le P.-L.-M. admet pour ses études nouvelles 8 millimètres par mètre comme déclivité maximum et 700 mètres pour le rayon minimum.

Sur les chemins de fer allemands (B.O.), les déclivités en pleine voie ne doivent pas dépasser, en règle générale, 25 millimètres par mètre pour les lignes principales et 30 millimètres pour les lignes secondaires. L'adoption d'une déclivité de plus de 12,5 millimètres par mètre pour les lignes principales et plus de 40 millimètres pour les lignes secondaires est subordonnée à l'autorisation de l'Administration supérieure.

Pour les lignes à simple adhérence, il paraît avantageux, en règle générale, de ne pas dépasser une déclivité de 40 millimètres par mètre. On dépasse rarement 30 millimètres avec la traction à vapeur.

L'adoption de fortes pentes et de courbes d'un faible rayon exige des dispositions spéciales, telles que l'installation de contre-rails sur la file intérieure des rails, etc., et donne lieu, d'ailleurs, à une exploitation très onéreuse.

Lorsqu'il s'agit d'une ligne à faible trafic, dont toutes les marchandises pourraient être enlevées par les trois ou quatre trains mixtes dans chaque sens que nécessite le service journalier des voyageurs, l'adoption de fortes pentes et de courbes d'un petit rayon n'a pas d'inconvénients sérieux ; mais, dès que la ligne projetée a un trafic assez important, il faut réduire les pentes et augmenter le rayon des courbes. On doit donc peser, d'un côté, l'augmentation des charges d'exploitation causées par un profil accidenté et, de l'autre, l'augmen-

tation des dépenses de premier établissement à laquelle conduit une amélioration de tracé.

Sur les lignes internationales traversant des chaînes de montagnes on est souvent obligé d'adopter des rampes importantes. On se limite en général à 33 millimètres par mètre (Gothard 26 millimètres, Loetschberg 27 millimètres). Avec la traction électrique on peut aller plus loin. La ligne Pau-Saragosse qui franchit la frontière au tunnel du Souport présente à partir d'Urdoz une rampe moyenne de 43 milli mètres par mètre.

Quand une courbe est combinée avec une pente, il faut rechercher à quelle pente équivaut la courbe, et considérer que la pente nette est la somme de cette pente fictive et de la déclivité réelle.

La réduction de rampe à faire dans les courbes dépend de la formule admise pour la résistance des courbes.

Sur le P.-L.-M. on admet que la réduction est $\frac{1.125 \times 25n}{2R}$.

n étant le nombre des véhicules ;

R le rayon de la courbe.

Il faut en faire aussi une en souterrain, 28 0/0 en général.

Il résulte d'une étude de M. Amiot¹ que 1 kilomètre de ligne doit être compté pour

1.000 mètres	si la déclivité est de	0 à 5 millimètres par mètre	
1.200	—	5 à 10	—
1.400	—	10 à 15	—
1.600	—	15 à 20	—
1.800	—	20 à 25	—
2.000	—	25 à 30	—
2.200	—	> 30	—

Dans tous les cas, les courbes ne doivent pas descendre, en général, au-dessous de 300 mètres de rayon ; dans les gares et sur certaines parties de lignes où la circulation se fait à faible vitesse, les courbes peuvent descendre à 180 mètres et même à 150 mètres. Ces chiffres peuvent être adoptés couramment dans les lignes à voie de 1 mètre de largeur.

En Allemagne, d'après le B. O. 2, le rayon des courbes des lignes principales ne doit pas descendre au-dessous de 180 mètres, et l'adoption

¹ *Influence des pentes sur le prix de revient de marchandises en petite vitesse kilométrique d'une tonne (Annales des Mines, 1879).*

² On désigne par ces initiales le Betriebsordnung ou règlement pour la construction et l'exploitation des chemins de fer de l'Allemagne.

d'un rayon de moins de 300 mètres pour les courbes situées en pleine voie est subordonnée à l'approbation de l'Administration supérieure. Le minimum de 180 mètres peut être abaissé à 100 mètres pour les lignes secondaires qui ne sont pas destinées à être parcourues par des véhicules de grandes lignes.

Deux courbes en sens inverse ne se suivent jamais sans être séparées par un alignement droit qui évite les conséquences d'un brusque changement de sens dans la force centrifuge.

Il semble que la longueur minimum de l'alignement à conserver soit comprise entre 60 et 40 mètres pour les voies normales, cette longueur pouvant descendre à 20 mètres pour les voies de 1 mètre de largeur.

La longueur de cet alignement doit être au moins égale à celle du raccordement parabolique.

D'après le B.O. allemand, sur les voies principales directes des lignes principales, les changements de déclivités doivent être raccordés par un arc de cercle d'au moins 5.000 mètres de rayon ; ce chiffre peut être ramené à 2.000 mètres dans les stations et sur les sections précédant immédiatement une station, ainsi que sur les lignes secondaires.

En France, entre deux déclivités de sens contraire déversant leurs eaux au même point, le cahier des charges impose l'obligation d'interposer un palier d'au moins 100 mètres de longueur.

On devra en outre raccorder toutes les brisures du profil en long formées par la succession de deux déclivités variant entre elles de plus de 27 millimètres par une courbe de 2.000 mètres de rayon (raccordement cylindrique).

¹ *Bulletin du Congrès international des Chemins de fer*, rapport de M. du Bousquet, août 1892, p. 2570.

CHAPITRE II

FORMALITÉS ADMINISTRATIVES

Aux termes des lois des 7 juillet 1833, 3 mai 1844, 27 juin 1870 et 11 juin 1880, les chemins de fer ne peuvent être exécutés qu'en vertu d'une loi ou d'un décret rendu après enquête administrative. Il ne peut être procédé à aucune étude sur le terrain qu'en vertu d'une instruction ou avec l'adhésion préalable du Ministre des Travaux publics (cette prescription est aujourd'hui tombée en désuétude).

Demande en concession. — Toute demande de concession adressée soit au chef de l'État, soit au Ministre des Travaux publics, subit les épreuves suivantes, sans qu'aucune exception ait jamais lieu.

La demande est soumise à plusieurs degrés d'instruction, après la formalité préalable des enquêtes dans lesquelles les populations sont appelées à faire entendre leurs réclamations sur les questions de tracé :

1° Les ingénieurs de l'État et les inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées ont à prononcer, après des études approfondies, sur les questions d'art, de dépense et de produits ;

2° Le Conseil général des Ponts et Chaussées examine et discute les projets ;

3° Le Comité consultatif des chemins de fer et depuis 1925 le Conseil supérieur des chemins de fer les apprécient à leur tour principalement au point de vue des intérêts commerciaux et des conditions financières proposées par les compagnies soumissionnaires ;

4° Enfin, les projets et les demandes sont soumis au Conseil d'État, qui, d'abord en section, puis en Assemblée générale, les examine sous tous les aspects et donne son avis au Gouvernement sur les conditions des cahiers des charges et sur la valeur des Compagnies.

Ce n'est qu'après l'accomplissement de toutes ces formalités, destinées à sauvegarder en même temps l'intérêt des localités traversées, celui du commerce en général et celui du Trésor, que le chef de l'État, sur le rapport du Ministre des Travaux publics, et après avoir entendu les observations des autres Ministres, se prononce, et, s'il adopte le projet, signe le décret de concession.

Pour les chemins de fer de 20 kilomètres au moins de longueur et au-dessus, une loi de concession est nécessaire.

Enquête administrative. — S'il s'agit d'un chemin de fer d'intérêt général ou d'intérêt local dont l'assiette reste en dehors des voies publiques, les formes de l'enquête sont réglées par les ordonnances des 18 février 1834 et 15 février 1835 ; elle s'ouvre sur un avant-projet dressé en conformité du programme du 14 janvier 1850.

S'il s'agit d'un tramway ou d'un chemin de fer d'intérêt local devant emprunter le sol d'une voie publique, les formes de l'enquête sont déterminées par le règlement d'administration publique du 18 mai 1881. La loi du 11 juin 1880 sur les chemins de fer d'intérêt local et les tramways stipule que l'utilité publique est déclarée, et l'exécution autorisée, par décret délibéré en Conseil d'Etat, sur le rapport du Ministre des Travaux publics, après avis du Ministre de l'Intérieur¹.

Les projets qui intéressent plusieurs services dépendant de l'Administration des Ponts et Chaussées doivent faire l'objet d'une conférence entre ces services (voir circulaire du 12 juin 1850, du 21 février 1877, 1^{er} juin 1906).

L'Administration de la Guerre doit être consultée dans les formes prescrites par les décrets des 16 août 1853, 8 septembre 1878, 12 décembre 1884, par les lois des 7 avril 1851, 10 février 1890, par le décret du 2 avril 1875 (consulter à ce sujet les circulaires du 26 septembre 1887 et du 6 décembre 1887).

Formulaire. — Au moment où l'Etat a entrepris l'exécution d'un assez grand nombre de lignes de chemins de fer, M. de Freycinet, alors ministre des Travaux publics, a fait publier un *Recueil de formules pour l'étude et la construction des chemins de fer*² destiné à indiquer l'ordre et la forme à suivre pour la production des pièces qu'exigent les opérations à entreprendre, ainsi que les formalités à accomplir. Ce recueil est le meilleur guide que l'on puisse consulter sur le sujet. Il comprend autant de dossiers qu'il y a de phases dans la construction des chemins de fer.

Le premier dossier, concernant l'*avant-projet* du chemin de fer, comprend les pièces exigées par l'instruction ministérielle du 14 janvier 1850.

Le deuxième dossier, relatif à l'*enquête d'utilité publique*, comprend les documents établis pour se conformer aux dispositions de l'ordonnance du 18 février 1834.

Le troisième dossier est formé du *projet de tracé et de terrassements* qui est dressé aussitôt après l'achèvement des études définitives.

¹ La loi du 11 juin 1880 a été en partie abrogée par celle du 31 juillet 1913 qui fixe les conditions d'établissement et d'exploitation de toutes les voies ferrées d'intérêt local.

² Imprimerie IRIS LILLIAD - Université Lille 1 (1879).

Le quatrième dossier a pour objet la *désignation des territoires traversés* sur lesquels les travaux seront exécutés (art. 2 de la loi du 3 mai 1841).

Le cinquième dossier — *nombre et emplacement des stations* — renferme les pièces prescrites par les circulaires des 25 janvier 1854 et 9 août 1859, qui ont déterminé les formalités à remplir dans l'enquête sur l'emplacement des stations, enquête à laquelle il y a lieu de procéder immédiatement après l'approbation du projet de tracé et de terrassements.

Le sixième dossier concerne les *enquêtes parcellaires* et se compose des pièces dont on doit faire usage pour l'application du titre II de la loi du 3 mai 1841.

Le septième dossier — *projet d'exécution* — est composé des pièces exigées pour l'instruction et pour la présentation des projets définitifs.

Le huitième dossier — *arrêté de cessibilité; expropriation* — a pour objet la procédure établie par la loi du 3 mai 1841 (arrêté de cessibilité, art. 11; requête du procureur de la République, art. 14; jugement d'expropriation, art. 15)¹.

Le neuvième dossier — *prise de possession d'urgence des terrains non bâtis* — est établi s'il y a lieu d'appliquer (ce qui est tout à fait exceptionnel) les dispositions insérées dans le chapitre 1^{er} du titre VII de la loi du 3 mai 1841.

Le dixième dossier — *estimations, cessions amiables* — est formé des documents établis dans le cas où on réalise des cessions amiables avant de provoquer le jugement d'expropriation.

Le onzième dossier — *offres légales, constitution et opérations du jury* — correspond aux articles ci-après de la loi de 1841 et contient les formules nécessaires à leur application : art. 21 à 24, notification des offres légales; refus ou acceptation; art. 30, 34, 36, nomination et constitution du jury; art. 48 à 50, opérations du jury.

Le douzième dossier a pour objet l'exécution des articles 53, 54, 55 pour le *paiement des indemnités*; pour le constituer, il y a lieu de se reporter au *Règlement sur la comptabilité du Ministère des Travaux publics* du 16 septembre 1843.

Le treizième dossier concerne les formalités relatives aux *occupations temporaires de terrains* (dépôts ou extractions de matériaux, etc.), conformément aux prescriptions du décret du 8 février 1868.

Enfin, le quatorzième dossier contient les pièces relatives au *récolement*, à la *réception* et à la *remise des ouvrages* aux services intéressés.

¹ On consultera avec fruit, sur cette question, l'ouvrage suivant: *Instructions et formules relatives à la procédure d'expropriation et à la liquidation des indemnités*, par M. Lefort, inspecteur général des Ponts et Chaussées (Jousse-IRIS-ILLIAD - Université Lille 1

sés, conformément aux principes de la circulaire du 21 février 1877 et qui doivent être appliqués aux chemins de fer construits par l'État.

Le recueil qui vient d'être analysé a été envoyé aux préfets par circulaires ministérielles du 26 juin 1879¹.

¹ Consulter également : Circulaire du 28 décembre 1878 et du 9 janvier 1882 sur les règles à suivre pour la transmission des dossiers ; Circulaire du 28 juin 1879 et du 30 juillet 1879 contenant les recueils de formules, de types, de tableaux et de procédés graphiques.



CHAPITRE III

ÉTUDES DÉFINITIVES

Conditions générales du tracé. — Le problème à résoudre dans le tracé d'une ligne, consiste à desservir entre les deux points extrêmes, par la voie la plus directe et la plus économique, autant de centres de population qu'il est possible.

Dans quelques circonstances, par suite des accidents du sol, des exigences militaires, etc., on admet des rebroussements, comme il en existe à Tours, à Orléans, à Lille, à Boulogne, à Huy en Belgique, etc.; mais cette disposition doit être évitée autant que possible, en raison des gênes qu'elle cause au service de l'exploitation.

Les rebroussements ont été employés aussi pour gravir, sans employer de trop fortes déclivités, les pentes de certaines vallées. Il en existe un exemple sur le chemin de Neuchâtel à la Chaux-de-Fonds. Mais ces exceptions sont heureusement très rares.

L'espacement des stations dépend de la densité de la population de la contrée traversée; il est de 2 kilomètres environ pour la banlieue des grandes villes, de 4 à 5 kilomètres dans les pays peuplés, de 8 à 10 dans les pays moins riches et dans les montagnes.

Les stations doivent être, autant que possible, établies en palier et en ligne droite.

Entre les stations, le tracé de la ligne doit, en général, suivre les cours d'eau, parce que les vallées sont plus peuplées; les lignes qui traversent des plateaux ont toujours un trafic propre moins important.

Lorsqu'il s'agit de passer d'une vallée dans une autre, en traversant une chaîne de montagnes, on doit éviter les nœuds où viennent aboutir plusieurs chaînes et rechercher le point le plus bas et le col le moins long; si les vallées sont sillonnées par des cours d'eau coulant en sens inverse presque parallèlement, on obtient, sur la carte, le point en question par l'intersection des lignes droites qui joignent en croix les points où les thalwegs dévient pour faire un coude.

Tracé sur la carte. — On fait une première étude du tracé sur une carte au 1/80.000, ou mieux sur une carte au 1/40.000, avec courbes de niveau espacées de 10 mètres en 10 mètres. En France, on trouve ces cartes au dépôt des cartes et plans du Ministère de la Guerre. Cette étude fait généralement reconnaître qu'il est possible d'admettre plusieurs tracés différents pour joindre un point à un autre.

Étude sur le terrain. — Chacun de ces tracés doit faire l'objet d'une étude spéciale sur le terrain, afin que l'on puisse désigner celui qui doit être préféré.

Levé du terrain. — Lorsque le tracé est déterminé avec ses variantes, on lève le plan coté du terrain dans la zone occupée par le tracé, et on le reporte sur le papier, à l'échelle de 1/2.000, avec des courbes de niveau espacées de 2 mètres en 2 mètres. Ce plan doit indiquer les constructions, les clôtures, les chemins, les cours d'eau traversés par la ligne. Les plans cadastraux sont utilement consultés pour l'exécution de ce travail.

Étude dans le bureau. — A l'aide du plan au 1/2.000, on fait dans le bureau une étude détaillée du tracé, en déterminant par tâtonnements les variantes qui donnent la meilleure répartition de pentes et des rampes, la meilleure position des ouvrages d'art, le moindre cube de terrassements, on cherche à éviter les profils en dents de scie ; descendre pour remonter ensuite équivalant à allonger le tracé et augmente les dépenses de traction, etc.

Méthode de M. Séjourné. — M. Séjourné, sous-directeur du P.-L.-M., directeur honoraire de la Construction, préconise la méthode suivante :

Le plan au $\frac{1}{2.000}$ est trop grand pour l'étude détaillée des diverses variantes qu'on ne peut sérieusement étudier sur la carte d'état-major ; il est trop petit pour l'étude définitive. On lèvera :

1° Un plan au $\frac{1}{5.000}$ assez large pour permettre l'étude des variantes ;

2° Un plan au $\frac{1}{1.000}$ de quelques centaines de mètres de largeur pour permettre l'étude définitive une fois l'axe arrêté ;

3° Des profils en travers pour préciser le plan ci-dessus quand on voudra faire le plan des travaux.

Avec cette méthode, on n'a pas dépensé 3.000 francs par kilomètre pour frais d'études alors que sur 1.177 kilomètres d'autres lignes étudiées autrement, la dépense a été de 15.000 francs par kilomètre (prix d'avant-guerre dans les deux cas).

Projet définitif. — Lorsque le tracé est ainsi déterminé, on reporte sur le terrain l'axe de la ligne et on lève les profils en long et les profils en travers nécessaires pour rédiger le projet définitif, établir le cube des terrassements, dresser les plans cotés en vue de l'étude des ouvrages d'art.

Importance des études préliminaires. — On s'affraie en général des dépenses nécessitées par les études préliminaires et on hésite à les engager.

Par rapport au montant total des dépenses, elles sont faibles pourtant et les économies qu'elles permettent de réaliser leur sont bien supérieures.

D'après M. Séjourné, elles ont permis de ramener les dépenses de 4.600.000 à 2.950.000 sur un lot de Mende à la Bastide et de 29^M,1 à 17^M,2 sur la ligne de Bort à Neussargues.

Observations générales. — C'est au moment de la rédaction du projet définitif qu'il convient de fixer le profil type de la voie et les dimensions de la plate-forme, puis de déterminer, d'après ce profil, les meilleures inclinaisons à donner aux talus, le mouvement des terres résultant des déblais et des remblais.

Cette étude définitive doit être menée parallèlement dans le bureau et sur le terrain, car de la nature de celui-ci dépend souvent telle ou telle solution.

On doit, à cet effet, ne pas négliger d'effectuer des sondages pour reconnaître la nature du terrain sur lequel on se propose d'établir la voie.

Les terrains argileux et les terrains vaseux doivent être évités, même au prix d'un changement de tracé qui peut paraître coûteux tout d'abord, mais qui sera économique en réalité, si on envisage les conséquences d'un mauvais établissement. On cite l'exemple de la ligne de Paris à Calais, qui traverse, près d'Amiens, une plaine tourbeuse où la ligne a été établie à fleur du sol, presque sans frais; mais le ballast s'est enfoui peu à peu sous le poids des trains, et il a fallu y employer 150.000 mètres cubes de remblais. On cite aussi la section d'Ambarès à Bordeaux, où il a fallu dépenser près de 1.350.000 francs par kilomètre pour consolider la voie dans une plaine vaseuse que traverse le chemin de fer.

Il est cependant nécessaire parfois de traverser de tels terrains. Sur la ligne de Frasnay à Valloire on a été obligé de traverser les marais de Sainte-Marie pour éviter un allongement du tracé qui aurait ôté son intérêt à la ligne.

Le remblai, qui aurait comporté normalement 115.000 mètres cubes, en a exigé 455.000.

CHAPITRE IV

TRAVAUX D'ART

Dans l'établissement d'un chemin de fer, les pentes et les courbes varient dans des limites assez restreintes. On est donc, le plus souvent conduit à entamer la surface du sol, à ouvrir des tranchées, à percer des tunnels, à jeter des ponts et à élever des remblais.

Tranchées. — L'inclinaison des talus d'une tranchée varie avec la nature des terrains traversés ; mais, en général, elle ne dépasse pas 3 de base pour 2 de hauteur ; dans les tranchées assainies et bien drainées, elle est ordinairement de 1 de base pour 1 de hauteur, soit 45° ; les talus sont même verticaux lorsque la roche traversée est suffisamment solide. Quant à la profondeur, elle peut atteindre 20 mètres et même davantage ; mais, au delà de cette cote, on préfère généralement percer un souterrain.

Souterrains. — Au Congrès des chemins de fer de Berne (1910), il a été fait les recommandations suivantes :

Construire à double voie les longs tunnels sous les montagnes, notamment à partir d'une longueur supérieure à 5 kilomètres.

On a longtemps admis sur le P.-L.-M. que sur ligne à voie unique les souterrains étaient construits à une voie lorsqu'ils avaient moins de 1 kilomètre de longueur, à deux voies lorsqu'ils avaient plus de 2 kilomètres. Entre les deux la solution dépendait des circonstances locales.

Dans la construction des tunnels, la traction mécanique doit être la règle ; mais les locomotives à vapeur doivent être exclues des chantiers de l'avancement.

Il faut assurer une bonne ventilation des chantiers ; dans les longs tunnels, l'introduction d'un volume d'air de 3 à 6 mètres cubes par minute est désirable.

Renseignements sur les plus grands tunnels.

NOM	PAYS	LONGUEUR	ALTITUDE maximum	ANNÉE de mise en exploitation
		mètres	mètres	
Simplon.....	Suisse	19.731	705	1906
Apennin.....	Italie	18.150		1929
St-Gothard.....	Suisse	14.984	1.555	1882
Loetschberg.....	Suisse	14.605	1.244	1913
Mont-Cenis.....	France-Italie	12.849	1.295	1867
Cascades(GN-Ry)(¹)..	États-Unis	12.500	877	1929
Arlberg.....	Autriche	10.250	1.311	1885
Moffat.....	Colorado	9.800	2.800	1923
Ricken.....	Suisse	8.590		1910
Granges.....	France	8.560	545	
Tauern.....	Autriche	8.526	1.225	
Ronca.....	Italie	8.297	324	
Tende.....	Italie	8.098		
Connaught.....	Canada	8.050	152	1916
Ceylan.....	Indes anglaises	8.000		
Rogers Pass.....	États-Unis	7.900		
Karawanken.....	Autriche	7.876	636	
Somport.....	France-Espagne	7.820	1.212	1928
Severn.....	Angleterre	7.250		
Hoosac.....	États-Unis	7.040		1876
Marianopoli.....	Italie	6.480		
Turchino.....	Italie	6.447	379	
Grechenburg.....	Suisse	6.430		
Wochein.....	Autriche	6.339	534	
Mont d'Or.....	France	6.104	895	1914
Sutro.....	États-Unis	6.000		
Col de Braus.....	France	5.939	418	1928
Albula.....	Suisse	5.870	1.870	1903
Puymorens.....	France	5.118	1.597	
Standbridge.....	Angleterre	4.970		
Woodhead.....	Angleterre	4.844		
Nerthe.....	France	4.620		
San Lorenzo.....	Canada	4.570		
Belbo.....	Italie	4.240		
Cochem.....	Allemagne	4.220		
Blaisy.....	France	4.100		
Argentera.....	Espagne	4.043		
Mersey.....	Angleterre	4.000		

On trouvera quelques renseignements sur le percement du Mont-Cenis, du St-Gothard et de l'Arlberg dans l'agenda 1929.

¹ *The Engineer*, 14 juin 1929.

Le souterrain du Col de Braus, sur la ligne à voie unique de Nice-Coni, est le plus long des tunnels à deux voies ayant leurs deux têtes en France.

Il est difficile de donner une évaluation moyenne de la dépense de percement d'un souterrain dans les conditions ordinaires. Suivant la difficulté et la nature des terrains, elle varie entre 700 et 2.600 francs par mètre courant.

Quant aux tunnels des lignes d'accès du Gothard; plusieurs d'entre eux atteignent également un chiffre assez élevé, à cause de la disposition en hélice qui leur a été donnée, en rampe de 0^m,025 et en courbe de 400 mètres, pour élever la ligne d'une hauteur verticale de 50 mètres. C'est la première application que l'on ait faite des tunnels *hélicoidaux*, si souvent employés depuis, en particulier sur le transpyrénéen, Pau-Saragosse qui franchit la frontière au tunnel du Somport.

Remblais. — La traversée des vallées se fait, en général, sur des remblais dont la hauteur peut atteindre 20 à 22 mètres; au delà de cette hauteur, il est préférable et plus économique de franchir les vallées avec des viaducs en maçonnerie ou métalliques.

Les talus des remblais ont, le plus souvent, 1 1/2 de base pour 1 de hauteur. On emploie, la plupart du temps, les déblais provenant des tranchées les plus voisines, et on les transporte au wagonnet jusqu'au point d'avancement, sur une ou plusieurs voies de décharge.

En mettant au point le tracé, on cherche à réaliser l'égalité de volume des remblais et des déblais foisonnés.

Lorsque les remblais sont établis sur des terrains tourbeux, leur tassement est inévitable et peut prendre de très grandes proportions. On est quelquefois obligé de les asseoir sur le niveau du sol résistant, au-dessous des couches compressibles.

Viaducs. — Ils sont construits tantôt en maçonnerie, tantôt en tôle pour le tablier et en maçonnerie pour les piles.

Leur prix de revient varie suivant la nature des matériaux et dépend surtout de l'importance et de la nature des fondations. On peut l'évaluer à 160 francs en moyenne (non compris les fondations) par mètre superficiel d'élévation, lorsqu'il s'agit de viaducs en maçonnerie à deux voies; la dépense peut être moins élevée pour les viaducs métalliques. On peut estimer le prix d'un viaduc en maçonnerie à une voie à 105 francs le mètre superficiel d'élévation.

On peut citer, parmi les viaducs les plus connus en France, ceux de Garabit, de Chaumont, de Comelle (entre Paris et Creil), de l'Aulne (Bretagne), de Morlaix, du Val d'Enfer (Vosges), de Bussaut-d'Ahun (Creuse), du Point-du-Jour (Paris), et des Fades (Puy-de-Dôme) qui a 132 mètres de hauteur.

Le viaduc d'IRIS - LILLIAD x Université Lille 1 le plus haut viaduc

en maçonnerie 65 mètres de hauteur et sur la ligne de Nice-Côni les grandes arches de Scaramoni 48 mètres, et l'arc surbaissé de 46 mètres de Saorge.

Ponts tournants. — Les ponts tournants sont réservés pour le passage des canaux ou rivières canalisées, quand il est impossible d'établir la voie à une hauteur suffisante pour qu'elle ne gêne pas la navigation. Le tablier du pont est porté, dans la plupart des cas, par un pivot logé dans une pile centrale et soulevé, au moment du tournage, par la pression hydraulique.

Parmi les ponts tournants de construction récente, on peut citer celui de l'étang de Caronte (ligne de l'Estaque à Miramas, C^o P.-L.-M.), construit en 1914.

Ponts basculants. — Il y a eu lieu de mentionner les ponts basculants et roulants, système Scherzer, employés en Amérique et en Allemagne.

Ponts à travée relevable. — Certains ponts possèdent une travée pouvant s'élever parallèlement à elle-même.

Le pont de Jersey-City, sur la rivière Hackensach, possède une travée portant trois voies de 62 mètres de longueur pouvant s'élever de sa position normale, 12 mètres au-dessus du fleuve, à 41 mètres. (*Ry Age*, 10 nov. 1928. — *R. G.*, mai 1929.)

Passages à niveau. — Les passages à niveau sont employés dans les cas où il eût été plus coûteux de jeter un pont pour le passage de la route ou de la voie.

Mais il y a lieu aussi de tenir compte de l'importance de la circulation des trains, surtout dans le voisinage des grandes villes, où un passage à niveau est toujours une sujétion et doit être évité.

Les rails sont posés, sans saillie ni dépression, à la surface de la route, qui est pavée ou empierrée jusqu'aux contre-rails destinés à former la rainure où passe le boudin des roues. En aucun cas, le croisement à niveau des routes et des chemins de fer ne doit s'effectuer sous un angle de moins de 45°.

Lorsqu'il s'agit de passages à niveau peu fréquentés, on peut, à la rigueur, ne pas installer de garde-barrière et faire manœuvrer à distance, par le garde du passage à niveau le plus voisin, une barrière mobile qui s'abaisse au moment voulu après avoir prévenu au moyen d'une cloche d'avertissement. Cette disposition, très répandue en Allemagne, en Autriche, en Italie, en Hollande, etc., l'est aussi fréquemment en France, notamment sur les lignes à trafic faible. Les passages à niveau peu fréquentés peuvent être établis sans barrière

et signalés par de simples poteaux indicateurs. Aux États-Unis on applique ce régime à des passages de toutes importances en installant des appareils d'annonce du passage des trains : signaux oscillants dits Wig-Wag, feux clignotants, etc.

En France, la réglementation des passages à niveau fait l'objet de l'article 4 de l'ordonnance de 1816, de l'article 31 du cahier des charges des chemins de fer, de divers arrêtés généraux qui les classent en catégories, enfin d'arrêtés spéciaux qui les répartissent dans ces catégories.

Clôtures. — A l'exception des lignes d'intérêt local établies sous le régime soit de la loi de 1880, soit de celle du 31 juillet 1913 ainsi que de certaines lignes d'intérêt général visées par la loi du 26 mars 1897, les voies doivent être fermées à l'accès du public par des clôtures formées de haies ou de simples barrières. Le prix d'une clôture sèche économique, formée d'échalas verticaux reliés par une latte et du fil de fer, est de 0 fr. 20 par mètre courant de voie.

La haie ou clôture vive, plantée à 0^m,50 en arrière de la limite exacte des terrains dépendant du chemin de fer, coûte par mètre courant de voie, 0 fr. 70, y compris l'entretien.

On compte, par suite, pour la clôture totale, 2 francs par mètre courant de voie ; la clôture sèche, posée dès le principe, permet d'attendre le développement complet de la haie.

Extérieurement aux clôtures, on ménage assez souvent un chemin latéral de 4 mètres de largeur, pour desservir les champs ; cette bande de terrain est comprise dans les achats de terrains que doit faire la Compagnie.

Gabarit. — Les ouvrages d'art doivent être construits de telle sorte que les voitures et wagons puissent y circuler en tout temps, c'est-à-dire lorsqu'ils sont chargés ou lorsqu'ils sont vides, lorsque leurs organes de roulement sont neufs ou lorsqu'ils sont en cours d'usure, ce qui fait varier nécessairement leurs dimensions.

Le profil-limite de construction des voitures et wagons et le profil-limite de chargement ne l'entament pas, en alignement droit comme en courbe.

Ces profils-limites, ou *gabarits*, ne sont pas uniformes pour toutes les Compagnies ; la commission internationale qui s'est réunie à Berne en 1911-1913 est arrivée à l'unification en vue du trafic international, et elle a adopté le gabarit « passe-partout ».

Les dimensions des ouvrages d'art sont cependant soumises à certaines règles fixées par les cahiers des charges et qui sont les suivantes :

Dans les souterrains et passages supérieurs, la distance verticale ménagée au-dessus du rail extérieur de chaque voie ne doit pas être

inférieure à 4^m,80; sur certaines parties de lignes, les anciens cahiers des charges ont admis une hauteur moindre, mais qui ne descend pas au-dessous de 4^m,200. La hauteur sous clef des voûtes est de 6 mètres, et l'ouverture du pont entre culées est de 8 mètres pour les lignes à double voie, de 4^m,50 pour les lignes à simple voie.

La largeur entre les parapets du pont est fixée par l'Administration, en tenant compte des circonstances locales; mais, dans aucun cas, cette ouverture ne peut être inférieure à 8 mètres pour une route nationale, à 7 mètres pour une route départementale, à 5 mètres pour un chemin vicinal de grande communication, et à 4 mètres pour un chemin vicinal ordinaire.

Dans les passages inférieurs, l'ouverture du viaduc est fixée, dans chaque cas, aux mêmes dimensions que la largeur entre parapets d'un passage supérieur; en outre, pour les viaducs de forme cintrée, la hauteur sous clef, à partir du sol de la route, est de 5 mètres au moins; et, pour ceux formés de poutres horizontales, la hauteur sous poutres est de 4^m,30 au minimum: le viaduc doit être muni de parapets dont la distance est la même que l'ouverture ménagée entre les culées d'un passage supérieur. La hauteur des parapets ne peut être inférieure à 0^m,80.

CHAPITRE V

VOIE

§ 1. — Matériel de la voie.

Différentes sortes de voies. — Les voies destinées à la circulation des voitures de chemins de fer sont formées le plus souvent de deux files de rails parallèles en acier, reliés les uns aux autres par des éclisses et supportés, soit par des traverses en bois, soit par des traverses métalliques ou en ciment armé.

Il existe, comme cela a été dit page 7, des chemins de fer mono-rails. Il existe aussi des chemins de fer à trois rails; dans ce cas, le troisième rail permet de faire circuler successivement sur une seule et même ligne des trains composés chacun de véhicules à écartements de roues différents. Ce cas se rencontre par exemple lorsqu'une ligne à voie normale et une ligne à voie métrique empruntant la même plate-forme.

Ce qui va suivre se rapporte aux voies ordinaires à deux rails.

Voies avec traverses en bois. — Elles forment la presque totalité des voies employées en France. La voie est formée de trois parties : les rails, les éclisses et les traverses.

Rails. — Les rails appartiennent à deux types principaux ; le *rail à double champignon* et le *rail à patin* ou *rail Vignole*.

Rail à double champignon. — Il repose sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte.

L'emploi de l'acier pour la fabrication des rails, tout en augmentant dans une forte proportion la durée de ceux-ci, a totalement changé leur mode d'usure. Les anciens rails en fer, par suite de leur système de fabrication, périssaient par l'écrasement et l'exfoliation du champignon à l'intérieur de la voie, par la dessoudure de cette partie et par l'altération profonde de la forme du champignon. De là la nécessité d'épauler le champignon et de donner au rail la forme *en poire* ; on donnait au rail la forme symétrique — double champignon — afin de pouvoir le retourner sens dessus dessous pour user successivement ses deux champignons.

Les rails en acier, au contraire, s'usent plutôt par tranches successives parallèles au plan de roulement.

L'épaulement sous le champignon avait donc moins de raison d'être : ses formes arrondies étaient moins utiles et le bombement excessif de la partie supérieure devenait un inconvénient.

De plus, avec un rail de très longue durée, la prolongation du temps de service par le retournement avait beaucoup moins d'importance, d'autant plus que, par suite de ce retournement, la surface du champignon, déjà attaquée par le coussinet, avait une surface rugueuse qui rendait le roulement désagréable.

De là, tout d'abord, l'abandon du retournement et la nécessité d'accumuler sur le champignon supérieur tout le métal à user, le champignon inférieur n'ayant plus d'autre raison d'être que d'assurer un bon encastrement dans le coussinet et de donner le profil de meilleure résistance quand le champignon supérieur approche de sa limite d'usure.

L'épaulement est déterminé uniquement par la considération de l'éclissage et on peut donner aux portées des éclisses, l'angle de $1/2$, qui est considéré comme suffisant par les Compagnies françaises, et généralement adopté en Angleterre.

Le champignon supérieur est presque rectangulaire, avec de très faibles congés aux angles : l'âme a, en général, une épaisseur de 0^m,016 à 0^m,018 ; afin d'augmenter la surface d'appui sur le coussinet on peut donner au champignon inférieur une largeur plus grande qu'au champignon supérieur.

Le rail devient alors dissymétrique et on a un profil auquel les Anglais, qui l'emploient depuis longtemps, ont donné le nom de *bullheaded*.

Le tableau suivant indique le poids et les dimensions principales de quelques types de rails à double champignon :

RAILS A DOUBLE CHAMPIGNON	P.-O.	ÉTAT		MIDI	LONDON AND N. W.	MIDLAND	G. W.
		Lignes du S.-O.	ancien réseau de l'Ouest				
Hauteur en millimètres...	145	145	142	134	140	143	141,3
Largeur du champignon en millimètres	60	sup ^r 60 inf 70	62	61	69,9	66,7	69,8
Épaisseur de l'âme en mil- limètres	18	16	16	16	12	20	17,4
Poids en kilogrammes ...	42,5	40	44	37,52	42,65	42,16	42,66

Rail à patin. — Le second type, le *rail à patin*, imaginé par *Stevens* en Amérique, vers 1830, ou *rail Vignole*, du nom de l'ingénieur anglais qui l'a introduit en Angleterre en 1836, repose sur la traverse soit directement soit avec interposition d'une semelle de feutre ou de peuplier ou bien encore par l'intermédiaire de *selles* en acier. Il est fixé au moyen de crampons, ou mieux de tire-fonds dont la tête élargie s'applique sur le rebord du patin et le serre sur la traverse; on emploie généralement deux tire-fonds dans les alignements droits; mais, dans les courbes, le nombre en est porté à trois et même à quatre, placés partie à l'intérieur de la voie et partie à l'extérieur, dans le but de résister au renversement du rail. Sur le P.-L.-M., on emploie actuellement des selles à quatre trous destinées à recevoir, suivant les circonstances, deux, trois ou quatre tire-fonds; les selles sont munies de talons ou saillies qui s'opposent au surécartement de la voie et empêchent le cisaillement des tire-fonds.

Les observations que nous avons faites à propos du rail en acier à double champignon s'appliquent également au rail Vignole en ce qui concerne le champignon supérieur et l'épaulement de ce dernier.

Dimensions et poids des rails. — Pour donner au rail Vignole une résistance convenable, il est nécessaire de conserver un certain rapport entre la hauteur du rail et la largeur de sa base ou de son patin. Plus ce rapport du poids de la tête à celui du patin se rapprochera de l'unité, plus le rail sera facile à laminier, plus la densité du métal sera uniforme et mieux le rail se comportera en service. Le tableau suivant indique ce rapport pour quelques types de rails :

RAILS A PATIN	H	L	$\frac{H}{L}$
Rail P.-L.-M. Type, 47 ^{kg} ,00.....	142	130	1,09
Nord Type, 43 ^{kg} ,215.....	142	134	1,06
Est. Type, 44 ^{kg} ,200.....	141	130	1,08
Etat belge. Type Goliath. Poids, 52 ^{kg} ,70.....	145	135	1,08
New-York et Hudson River R. R.....	152,2	133,3	1,14
Pensylvania R. R.....	140,0	127	1,10

Nous donnons, dans le tableau suivant, le poids et les dimensions principales des quelques types de rails Vignole déjà cités :

RAILS A PATIN	P. L. - M.	NORD	EST	ÉTAT BELGE GOLIATH	NEW-YORK ET HUDSON RIVER R. R.	PENNSYLVANIA R. R.
Hauteur en millimètres.....	142	142	141	145	152,2	140
Largeur du champignon en millimètres.....	66	60	60	72	76,2	70
Épaisseur de l'âme en millimètres.....	14	15	13,5	17	15	14,2
Largeur du patin en millimètres.....	130	134	130	135	133,3	127
Poids en kilogrammes.....	47	43,215	44,2	52,7	49,5	49,5

Enfin le tableau ci-après ¹ donne le poids et les dimensions principales de trois types de rails à patin acceptés par les Ingénieurs en chef de la Voie des divers réseaux français, puis par le Comité de Ceinture, et présentés au ministre comme types de rails courants unifiés. Le ministre a donné acte de cet accord puis a ratifié l'unification par dépêche en date du 19 mai 1919. (Le tableau donne en outre les dimensions d'un type spécial de rail renforcé pour les tunnels, accepté en même temps par les Ingénieurs en chef de la Voie des divers réseaux).

RAILS A PATIN unifiés	TYPE DE			
	36 kilogr. pour voies normales à faible circulation	46 kilogr. pour voies normales à grande circulation	26 kg. pour voies étroites	55 kg. pour souter- rains
	mm.	mm.	mm.	mm.
Hauteur totale.....	128	145	110	155
Largeur du champignon.....	58	62	50	62
Épaisseur de l'âme.....	15	17	12	19
	de) au milieu.....	13	15	10
de) en bas.....	17	19	14	19
Largeur du patin.....	115	134	100	134
Poids en kilogrammes au mètre courant.....	36 ^{kg}	46 ^{kg}	26 ^{kg}	55 ^{kg}

¹ Revue générale IRIS - LILLIAD - Université Lille 1910.

Longueur des rails. — Le joint est la partie faible de la voie. Il est évident, en effet, que, quel que soit le système d'assemblage adopté, il ne peut réaliser les conditions de résistance du rail lui-même.

Il y a donc intérêt à réduire le nombre des joints et, par suite, à donner aux rails la plus grande longueur possible.

Des essais de joints « soudés » effectués sur certains réseaux par analogie à ce qui est de pratique courante sur les tramways urbains, n'ont pas donné les résultats que l'on en attendait parce que les rails des voies de chemin de fer ne sont pas encastres, comme ceux de tramways, dans le pavage ou le macadam d'une chaussée.

Il a donc fallu se borner pour diminuer le nombre des joints à augmenter la longueur initiale des rails, et l'on a fait les nouvelles longueurs multiples exacts de la première, afin de rendre plus facile la substitution de rails longs aux rails courts.

C'est ainsi que, pour les voies à coussinets, la longueur du rail a été portée successivement :

De 5^m,50 à 11 mètres à 16^m,50, puis à 22 mètres ;
et, pour les rails Vignole : de 6 mètres à 12 mètres, 18 mètres et 24 mètres.

On n'est pas allé au delà, l'allongement du rail impliquant nécessairement un élargissement du joint, pour parer à la dilatation, et conduisant, en outre, à certaines difficultés d'entretien.

La tendance actuelle est même de ne pas dépasser 16^m,50 et 18 mètres.

Fabrication des rails. — Les rails en acier se fabriquent soit par le procédé Martin, soit par le procédé Bessemer acide ou basique. On peut obtenir avec ces deux procédés des rails de même qualité ; mais le four Martin, exigeant une opération de plus longue durée (dix heures environ), permet de suivre la fabrication et de modifier, suivant les besoins, la composition des lingots, afin d'obtenir un rail homogène.

La tendance actuelle est d'employer, pour la fabrication, des rails en *acier dur*.

On semble admettre que, pour le métal à rail, les teneurs en carbone et manganèse les plus convenables sont :

Carbone	0,4 à 0,5 0/0 .
Manganèse.....	0,8 à 1,0 —

Conditions de réception des rails. — Il existe trois nuances d'acier pour les rails : 65, 70 et 80 kilogrammes de résistance à la rupture.

Conditions de réception des rails (Voir agenda 1930, p. 30).

Usure des rails. — L'usure maximum des rails a lieu dans les tunnels, par suite de l'oxydation; sur les fortes pentes; aux entrées des gares, par suite de l'usage des freins, et sur la file extérieure des courbes de très faible rayon.

Sauf ces cas exceptionnels, la diminution de hauteur du champignon d'un rail d'acier, après le passage d'un grand nombre de trains, paraît proportionnelle, d'après M. Couïard : 1° au tonnage moyen des trains; 2° à leur vitesse moyenne; 3° à la flexion des rails entre leurs points d'appui; 4° à un coefficient variable suivant la provenance; 5° aux déclivités; elle est plus forte sur les pentes que sur les rampes.

M. Couïard représente cette loi par la formule suivante :

$$N = \frac{106}{TV} \times \frac{1}{L^3} \times \frac{1}{1 + aD^2} \times C;$$

N = nombre de trains qui répond à une diminution de 1 millimètre de hauteur du champignon;

T = tonnage moyen d'un train en tonnes;

V = vitesse moyenne, en kilomètres, à l'heure;

I = moment d'inertie de la section, en cm^4 ;

L = espacement des traverses, en mètres;

D = déclivité, en millimètres par mètre;

a = coefficient égal à 0,023 pour les pentes et 0,012 pour les rampes;

C = coefficient de fabrication variable avec la provenance; cette valeur est de 1,4 pour les rails d'acier P.-L.-M.

Cette formule donne l'usure régulière en voie courante, sans tenir compte des rails remplacés pour cause d'avaries, telles que cassures ou fissures longitudinales. Elle conduit, pour un rail en acier de composition normale, à une usure de 1 millimètre pour 150 ou 200.000 trains (soit 35.000.000 tonnes, en supposant un poids moyen de train de 200 tonnes), ce qui, pour une ligne à grande circulation ayant une capacité de 10.000 trains par an, conduirait à une durée de rails d'acier d'environ cent trente ans, en supposant une usure maximum de 15 millimètres; mais, en tenant compte des rails avariés, cette durée se réduit à environ soixante-quinze ans, soit une circulation totale de 750.000 trains.

Des relevés très exacts ont démontré que la durée des rails en fer correspondait à 80 ou 90.000 trains : les rails en acier ont donc une durée 8 à 9 fois plus grande que les rails en fer.

Dans une communication faite au Congrès de 1900, les chemins de fer de l'Ouest, de l'Est de France, et deux lignes autrichiennes, ont signalé que les rails s'usent de 1 millimètre par 100.000 trains lorsque les freins n'agissent pas; le Nord admet le chiffre de 1^{mm},86, et ajoute que, là où les freins agissent sur tous les trains, l'usure est 5 fois plus forte.

On cite un rail qui, ayant supporté le passage de 450.000 trains dans une gare où tous les trains s'arrêtent sous l'action des freins continus, a subi sans détérioration une diminution d'épaisseur de 27 millimètres au champignon¹.

Sous les tunnels et sur les pentes voisines des gares, l'usure est, généralement, 10 fois plus grande qu'en pleine voie, et l'expérience semble indiquer que, dans ce dernier cas, les rails en acier moins dur se détérioreraient moins rapidement. Au bord de la mer, comme dans les tunnels, on constate une usure rapide, due à l'influence des agents chimiques; l'usure n'affecte pas seulement le champignon, mais toute la section du rail.

Choix du type de rail. — Le rail à double champignon à coussinets est-il préférable au rail à patin ou rail Vignole? Cette question, est encore bien loin d'être résolue et, malgré une longue expérience, chaque système a ses partisans.

L'Angleterre, n'emploie que le rail à coussinets.

En Allemagne, en Autriche-Hongrie, en Russie, en Italie, en Espagne, on n'emploie que le rail Vignole.

Il en est de même en Amérique.

En fait, la voie Vignole résiste aussi bien que la voie à double champignon aux efforts verticaux; mais elle est inférieure à celle-ci au point de vue des efforts latéraux, à moins d'interposer entre le rail et la traversé une forte selle en acier (Compagnie de P.-L.-M.), qui font alors de la voie Vignole presque une voie à coussinets.

On s'accorde généralement à reconnaître que la voie Vignole est plus économique, comme dépenses de premier établissement, que la voie à coussinets; la différence peut atteindre 3.900 francs par kilomètre mais la vérité est que c'est une question d'espèce, et nous terminerons en citant, à ce sujet, les conclusions de la première section du Congrès international des chemins de fer tenu à Paris en 1889.

Voici ces conclusions :

« L'Assemblée estime que les voies à coussinets et les voies Vignole fortement constituées offrent toute garantie au point de vue de la sécurité de l'exploitation. Toutefois, la voie lourde à coussinets, à large base, semble devoir être plus spécialement la voie des lignes parcourues par des trains nombreux et lourds circulant à de très grandes vitesses.

« Elle serait avantageuse encore pour les lignes à sinuosités très accentuées.

« La voie Vignole, qui, débarrassée des compléments indispensables pour les lignes à grande vitesse, est plus économique de premier établissement que la voie à coussinets, peut être préférée pour les lignes à trafic moins lourd et surtout à trains moins rapides. »

¹ Bricka, *Comptes* de 1900.

En France jusqu'à ces dernières années chaque type de rail se trouvait appliqué à peu près également, mais depuis 1919 en conformité de l'accord intervenu entre les grands réseaux (Midi excepté) et sanctionné par le Ministre des travaux publics le rail à patin est seul employé.

Coussinets et éclisses. — Les rails à *double champignon* reposent sur les traverses par l'intermédiaire de pièces de fonte appelées coussinets, qui épousent la forme du champignon et sont calés, en général, du côté extérieur à la voie, à l'aide de coins en bois ou en métal; ces derniers sont formés d'une lame repliée formant ressort. Les coussinets sont fixés sur les traverses à l'aide de deux ou trois tire-fonds.

En Angleterre, on emploie souvent quatre attaches.

Le poids des coussinets va sans cesse en augmentant. Le dernier type d'Orléans pèse 18^{kg},5. En Angleterre, au L. et N. W., le poids du coussinet est de 20^{kg},95; au Midland, de 22^{kg},700, et au L. et Y., de 25^{kg},37. On augmente aussi la surface d'appui sur la traverse, de manière à ne pas dépasser une pression de 20 kilogrammes par centimètre carré.

Pour la voie à coussinets, comme pour la voie Vignole, le joint se fait généralement en porte-à-faux. Au cours de l'un des Congrès des Chemins de fer, il a été conclu, à ce sujet, que, tout en continuant les recherches en vue de perfectionner le joint en porte-à-faux, il est utile que les Administrations de chemins de fer entreprennent ou poursuivent des essais avec tout autre système de joint, et, notamment, avec le joint appuyé.

Les rails sont réunis au moyen de deux armatures en acier, appelées *éclisses*, interposées, de chaque côté du rail, entre les deux champignons, ou entre le champignon et le patin du rail lorsqu'il s'agit de la voie Vignole.

Chaque paire d'éclisses est fixée aux rails par quatre boulons, au moins et, dans le cas de la voie à coussinets, la longueur de l'éclisse est fixée par la longueur qui sépare aux joints les faces des deux coussinets; cette longueur est généralement de 0^m,45.

Dans le but d'augmenter la résistance de l'éclisse et, par conséquent, d'améliorer le joint, partie faible de la voie, on donne à cette éclisse la forme d'une cornière, ou plutôt on prolonge la partie inférieure de l'éclisse au-dessous du rail, en lui donnant une forme embrassant le champignon inférieur de manière à augmenter le moment d'inertie.

La paire d'éclisses pèse : à l'Orléans, 19 kilogrammes ; à l'Ouest, 16 kilogrammes ; à l'État, 19^{kg},50 ; au Midland, 18^{kg},16 ; et au L. et Y. 12^{kg},68.

La voie Vignole, par suite de la suppression du coussinet, permet d'allonger les éclisses ; aussi, au P.-L.-M., celles-ci, en forme de cornières, ont 0^m,80 de longueur et sont réunies au moyen de six boulons :

elles s'appuient ainsi sur les deux traverses contiguës auxquelles elles sont fixées au moyen de huit tire-fonds. Le poids de la paire d'éclisses est de 40 kilogrammes.

Au Nord et à l'Est, l'éclisse, tout en conservant sa forme cornière, n'est pas reliée par sa base aux traverses de joint. Au nord, la longueur de l'éclisse est de 0^m,65; il y a quatre boulons, et le poids de la paire d'éclisses est de 25^{kg},56. Ce poids est, pour l'Est, de 18 kilogrammes.

Au P.-L.-M., les éclisses doivent donner au moins 50 kilogrammes de résistance à la rupture avec 18 0/0 d'allongement.

Avec les rails unifiés adoptés par la commission de standardisation, on emploiera, à l'avenir, des éclisses également unifiées. Ainsi l'éclisse ordinaire pour rail de 46 kilogrammes aura une longueur uniforme de 0^m,580 et son poids sera de 11^{kg},210, ce qui donne 22^{kg},420 pour la paire d'éclisses.

Traverses. — Les traverses, destinées à supporter les rails, sont généralement en chêne, en hêtre ou en pin. On emploie aussi des traverses métalliques et, depuis quelques années, des traverses en ciment armé (voir ci-après : Voies métalliques).

Le chêne dépourvu d'aubier s'emploie sans préparation aucune; les traverses en hêtre ou en bois tendre subissent une préparation au moyen d'une injection de matière antiseptique, qui est généralement, en France et en Angleterre, la créosote. Cette préparation se fait en vase clos par vide et pression. Ailleurs, on se sert encore, sur certaines lignes, du chlorure de zinc; l'État français fait également usage de cet antiseptique, soit seul, soit mélangé avec la créosote.

La quantité de créosote injectée par traverse adoptée par les diverses Compagnies est :

Chêne...	5 à 7 kilogrammes.	|	Hêtre.....	24 kilogr.	Est
Hêtre....	13 kilogr.		Pin.....	12 —	Midi
—	15 à 16 —		—.....	14 —	P.-O.
—	18 à 20 —		—.....	16 —	P.-L.-M.

mais ces chiffres ne sont qu'approximatifs et varient avec l'état du bois à injecter.

On peut estimer aux prix suivants, d'après M. Euverte ¹, les frais d'injection des traverses.

¹ *Procédés employés pour l'injection des traverses (Revue générale des Chemins de fer, février 1895).*

	CHÈNE	HÊTRE ET PIN	
		16 kilogr.	24 kilogr.
Créosote.....	0,40	1,12	1,68
Autres frais.....	0,20	0,20	0,20
Transports.....	0,30	0,30	0,30
TOTAUX.....	0,90	1,62	2,18

D'après un travail de M. Coüard sur la durée des traverses en bois¹, cette durée, pour les six compagnies françaises, serait, pour le chêne et le hêtre créosotés, d'environ treize ans, et, pour le pin créosoté, de neuf ans. Mais ces durées se trouvent souvent doublées.

La longueur des traverses varie de 2^m,60 à 2^m,80 ; la largeur, de 0^m,20 à 0^m,24 ; et l'épaisseur, de 0^m,14 à 0^m,16. Douze traverses occupent un volume de 1 mètre cube. Le prix des traverses est très variable et dépend d'une foule de circonstances. Les prix que nous donnons ci-dessous ne sont donc que très approximatifs ; ces prix comprennent le créosotage et le sabotage ; cette dernière opération peut être estimée, en moyenne, à 0 fr. 15 par traverse.

Traverse en chêne avec aubier.....	5 ^f ,34
— en hêtre.....	5,49
— en pin.....	4,00

En Angleterre, pour des traverses en sapin de la Baltique, ce prix est d'environ 3 fr. 55.

Augmentation de la durée des traverses. — On augmente notablement la durée des traverses en les munissant de *trenails*, chevilles en bois dur dans lesquelles se vissent les tire-fonds qui attachent les rails ; ou bien en vissant les tire-fonds dans des garnitures métalliques fixées préalablement dans les traverses, telles sont la garniture Thiollier, formée d'une hélice métallique, et la garniture Lakhovsky composée de deux coquilles en métal.

Tous ces dispositifs peuvent être employés dans l'entretien pour permettre de conserver en service des traverses détériorées ou usées à l'endroit des tire-fonds.

Ballast. — Les traverses sont enterrées dans une couche de gravier

¹ *Revue générale des Chemins de fer*, numéro de décembre 1891.

qui recouvre la plate-forme du chemin de fer et que l'on nomme ballast. Les sables d'alluvions renfermant des silex taillés constituent le meilleur ballast ; ils offrent la perméabilité pour l'écoulement des eaux de pluie, la mobilité et l'élasticité pour le bourrage du ballast sous les traverses, la consistance nécessaire pour empêcher la pulvérisation, l'empatement et la congélation.

On emploie souvent des pierres ou des briques cassées, quand on ne peut se procurer économiquement le gravier naturel : parfois, dans le voisinage des usines, on utilise les laitiers et les scories.

§ 2. — Pose de la voie.

Profil de la plate-forme. — La largeur de la plate-forme, entre les bords extérieurs des fossés ou les arêtes des talus de remblais, est de 9^m,64 sur les lignes à double voie. Le profil du ballast doit avoir 7^m,14 de largeur entre arêtes supérieures pour les lignes à double voie, soit : 3^m,02 pour les deux voies, 2^m,06 d'entre-voie et 1^m,03 de part et d'autre extérieurement au rail. L'inclinaison du talus du ballast est de 3 de base pour 2 de hauteur, et on lui donne généralement 0^m,50 de hauteur et 0^m,75 de base de chaque côté, de telle sorte que la largeur du ballast à la base est d'environ 8^m,64 et qu'il reste de part et d'autre une banquette de 0^m,50. Sur les lignes à voie unique, la largeur de la plate-forme est de 6^m,07 ; la largeur du ballast est, entre arêtes supérieures, de 3^m,57 et de 5^m,07 à la base.

En Allemagne, le B. O. ¹ stipule que, sur les lignes principales, la largeur de la plate-forme sera telle que le point d'intersection de la droite passant par l'arête inférieure des rails avec le prolongement de la ligne du talus soit situé à 2 mètres au moins de l'axe de la voie la plus proche. En cas de constructions nouvelles, il faut, sauf sur les sections protégées par des digues, que l'arête inférieure du rail soit située à 600 millimètres au moins au-dessus du niveau le plus élevé des eaux.

Largeur de la voie. — La largeur de la voie normale, entre bords intérieurs des rails, varie de 1^m,435 à 1^m,45 ; le champignon ayant 0^m,06, on compte d'axe en axe des rails 1^m,51 environ. Cette largeur a été presque universellement adoptée.

En France, la largeur de 1 mètre paraît prévaloir pour les voies étroites. Quelques lignes, cependant, ont été construites à la voie de 0^m,60.

¹ On désigne, par ces initiales, le Betriebsordnung ou règlement pour la construction et l'exploitation des chemins de fer allemands.

Dans les courbes d'un rayon inférieur à 500 mètres on donne à la voie un surécartement variant avec le rayon de la courbe ; mais en aucun cas on ne doit dépasser l'écartement de 1^m,470 qui est la limite extrême fixée par la conférence de Berne.

Gares communes. — Il n'est pas inutile de signaler à ce propos que, dans les gares communes, on ne doit pas s'interdire la faculté de faire circuler les véhicules de la voie étroite sur les voies larges, afin de pouvoir profiter de toutes les installations nécessitées par le trafic de la ligne à voie large. Mais, au lieu de poser trois rails sur les voies et plaques communes, il est préférable d'en poser quatre et de centrer ainsi la voie étroite au milieu de la voie large, sans quoi on ne pourrait, à cause du défaut de symétrie, tourner sur plaque un wagon bout pour bout, et l'effort nécessaire pour effectuer cette rotation serait augmenté, par suite du porte-à-faux.

Inclinaison des rails. — Le plus souvent le rail ne repose pas verticalement sur la traverse ; il y a intérêt à ce qu'il présente une certaine inclinaison, le bandage des roues des véhicules étant non pas cylindrique mais conique afin de faciliter le passage dans les courbes et d'atténuer dans une certaine mesure les mouvements du lacet.

L'inclinaison est généralement de 1/20 et peut atteindre 1/10 sur certaines lignes avec courbes de faible rayon. Dans la voie à double champignon, elle est obtenue par la forme même du coussinet qui sert de support au rail.

Dans la voie à patin, où le rail repose directement sur la traverse, on entaille la traverse, de manière à donner au rail l'inclinaison voulue ; c'est ce qu'on appelle le *sabotage de la traverse*.

Sur certains réseaux des États-Unis les rails ne sont pas inclinés.

Surhaussement dans les courbes. — La pose de la voie dans les courbes nécessite plusieurs précautions, dont la principale est le surhaussement du rail extérieur de la courbe. Ce surhaussement est nécessaire par l'existence de la force centrifuge, qui, composée avec le poids des véhicules, donne une résultante s'écartant légèrement de la verticale vers l'extérieur, le rail extérieur sera plus chargé que le rail intérieur, en outre il supportera un effort horizontal qui tendra à le renverser ou à riper la voie. De même que dans les parties droites on pose la voie horizontalement, perpendiculairement à l'action de la pesanteur, dans les parties courbes on devra la poser normalement à la résultante de la pesanteur et de la force centrifuge mais celle-ci dépend de la vitesse du train et du rayon de la courbe.

Deux formules servent au calcul de ce surhaussement. L'une, *théorique*, et qui est employée par un certain nombre de Compagnies, peut

s'écrire sous la forme :

$$h = \frac{0,0118V^2}{R};$$

h = Surhaussement en mètres ;

V = Vitesse en kilomètres à l'heure ;

R = Rayon de la courbe en mètres.

L'autre, *empirique*, qui est aussi d'un usage répandu :

$$h = \frac{2V}{3R}.$$

Dans ces deux formules, on suppose que l'écartement d'axe en axe des rails est de 1^m,51.

Lorsqu'on se sert de la formule $\frac{2V}{3R}$, on a soin de classer d'abord les lignes du réseau en plusieurs catégories, suivant qu'elles sont parcourues par des trains express, directs ou omnibus.

La Compagnie de P.-L.-M. emploie les cinq catégories suivantes :

$$\frac{2 \times 40}{3R}, \quad \frac{2 \times 50}{3R}, \quad \frac{2 \times 60}{3R}, \quad \frac{2 \times 70}{3R}, \quad \frac{2 \times 80}{3R};$$

la Compagnie du Nord, les trois suivantes :

$$\frac{2 \times 40}{3R}, \quad \frac{2 \times 50}{3R}, \quad \frac{2 \times 75}{3R},$$

et l'État français :

$$\frac{2 \times 40}{3R}, \quad \frac{2 \times 50}{3R}, \quad \frac{2 \times 60}{3R}.$$

La Société des Chemins de fer économiques, pour son réseau à voie normale de 1^m,45, admet la formule :

$$\frac{2 \times 40}{3R}.$$

Pour les lignes à voie étroite (1 mètre et au-dessous), il semble avantageux de maintenir un excès de dévers qui, du reste, n'a pas le même inconvénient que pour les grandes lignes, étant donné le faible écart qui existe entre les vitesses extrêmes des trains.

La Société des Chemins de fer économiques et la Compagnie de Bône-Guelma emploient la formule :

$$h = \frac{V^2}{122R} \left(1 + \frac{1}{10} \right).$$

La vitesse V , en kilomètres à l'heure, qui figure dans ces formules, doit être la **IRIS LILLIAD** Université Lille 4 *marche des trains*,

et il n'y a pas lieu de tenir compte des augmentations de vitesse permises en cas de retard.

Le maximum de surhaussement doit être fixé, pour tous les cas, à 160 millimètres.

En Angleterre, quelques Compagnies adoptent, pour le calcul du surhaussement, une formule semblable à la formule théorique que nous avons donnée ci-dessus et qui porte le nom de formule de *Molesworth*. Le North Eastern diminue dans une forte proportion les résultats obtenus avec cette formule ; les autres Compagnies, quoique à un degré moindre, agissent de même.

D'autres Compagnies, enfin (le Great Western, le North British, par exemple), n'ont pas de formules pour le calcul du surhaussement et laissent aux poseurs le soin de rechercher celui qui convient le mieux dans chaque cas particulier.

Quant à la question de vitesse et au maximum de surhaussement, on semble admettre les mêmes conditions que celles dont nous venons de parler précédemment.

Pour les lignes à double voie en pente, il semblerait utile de modifier le surhaussement, suivant qu'il s'agit de la voie en pente ou de la voie en rampe, la vitesse des trains n'étant pas généralement la même sur les deux voies. Toutefois, on ne paraît tenir compte de cette différence que lorsque la pente dépasse 6 millimètres par mètre.

Les chemins de fer autrichiens estiment que, dès que la vitesse dépasse 90 kilomètres à l'heure, la valeur-limite des rayons de courbe doit être fixée à 500 mètres. Ast est d'avis que les courbes de plus de 400 mètres de rayon peuvent être franchies sans danger à la vitesse d'environ 100 kilomètres à l'heure, même si elles n'ont pas de surhaussement.

Le B. O. allemand ne prévoit que la *longueur* et non la *hauteur* du surhaussement, parce que les principes servant de base au calcul du surhaussement de la file extérieure varient avec l'importance de la fatigue de la voie, et qu'en certains points, dans les courbes des branchements et dans les voies de formation, par exemple, on peut et on doit complètement renoncer au surhaussement.

Le surhaussement de la file extérieure du rail des voies en courbes doit se continuer en diminuant sur une longueur aussi grande que possible, égale *au moins* à 300 fois la valeur du surhaussement.

Surécartement de la voie. — Si le surhaussement dans les courbes est admis en principe par tous les ingénieurs de chemins de fer, il n'en est pas de même du *surécartement*, c'est-à-dire de la différence de largeur de la voie en courbe et en alignement droit.

Le tableau ci-dessous donne les largeurs entre les bords intérieurs des rails usités sur les différents réseaux français pour les courbes de différents rayons.

Écartement entre bords intérieurs des rails pour des rayons de courbe de :

ALIGNE- MENT	1 200	800	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	180	150 m.		
RESEAUX																	
droit																	
Est.....	1,435	×	1,440	×		1,445	×		1,455	×		1,465	×		1,465		
Mut.....	1,440		1,440	×			×			1,450	×		×		1,465		
Nord....	1,435	×	1,440	×		1,450	×			1,460	×				1,465		
Idi.....	1,445		×						1,455								
L.-M.	1,435	1	1,435			×		1,440	×	1,445	×	1,450	×		1,455		
	1,444	2	1,444 2	}			×										
	1,445	3	1,445 3														
P.-O....	1,450		1,450									1,450					
A.-L....	1,435	×	1,438	×	1,441	×	1,444	×	1,447	×	1,450	×	1,453	×	1,456	×	1,459

1 Écartement de l'avenir. — 2 Rail L. P. — 3 Rail Standard.

En Allemagne, pour la voie normale, on donne aux courbes de différents rayons les surécartements indiqués ci-dessous :

Rayon de la courbe R = 800 700 600 500 400 325 250 200 150 100 mètres.
Surécartement.... $l =$ 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 mm.

Pour les chemins de fer à voie étroite.

Voie de 1 mètre.....	R = 80 à 250 mètres	$l = \frac{240}{\sqrt{R}}$;
Voie de 0 ^m ,75.....	R = 50 à 100 mètres	$l = \frac{140}{\sqrt{R}}$;
Voie de 0 ^m ,60.....	R = 30 à 100 mètres	$l = \frac{100}{\sqrt{R}}$.

Raccordements. — Dans une courbe, le surhaussement devrait, *théoriquement*, exister sur toute la longueur de la courbe, à partir du point de tangence. Mais, *pratiquement*, on ne peut obtenir subitement à ce point le surhaussement; il faut le gagner peu à peu par une surface gauche déterminée par le rail intérieur qui est horizontal et le rail extérieur qui est incliné à 1 ou 2 ^m/_m par mètre. Mais cette surface gauche doit-elle commencer avant le point de tangence, ou ne doit-elle commencer, au contraire, qu'au point de tangence, ou bien doit-elle être à cheval sur celui-ci en ne donnant alors au point de tangence que la moitié du surhaussement?

Tous ces systèmes présentent des inconvénients et on a cherché à placer le rail incliné sur une courbe de raccordement dont les rayons de courbure successifs varient depuis l'infini jusqu'au rayon de la courbe : chaque point de cette courbe correspond ainsi au surhaussement graduel, et les réactions des véhicules se trouvent annulées. Cette courbe de raccordement est généralement une parabole cubique².

Il est de toute nécessité d'établir un alignement droit entre deux courbes de sens contraire; malheureusement, sur certaines lignes

¹ *Bulletin du Congrès international des Chemins de fer*, août 1892.

² Cette question des raccordements a fait l'objet de nombreuses études; voir notamment: Chavès (*Société des Ingénieurs civils*, 3^e cah., 1865); Nordling (*Annales des Ponts et Chaussées*, 3^e cah., 1867); Combier (*Annales des Ponts et Chaussées*, 3^e cah., 1869), dont la méthode a été adoptée par différentes Compagnies, notamment par la Compagnie de l'Est et l'État belge; du Bousquet (*Bulletin du Congrès international*, août 1892); Max. de Leber (*Revue des Chemins de fer*, janvier 1893).

construites au début, on n'a pas tenu compte de cette condition essentielle, et il en résulte de très grandes difficultés pour répartir le surhaussement d'une manière convenable. Quelle doit être la longueur de cet alignement? Certaines Compagnies admettent une longueur de 100 mètres, mais il semble résulter de la pratique que la longueur minimum peut être comprise entre 60 et 40 mètres pour les voies normales et se réduire à 20 mètres pour les voies de 1 mètre.

Rails longs et rails courts dans une courbe. — Dans les courbes, le développement du rail extérieur est plus grand que celui du rail intérieur. Il est donc indispensable d'employer un certain nombre de rails courts pour la file intérieure. On obtient cette quantité N par la formule suivante :

$$N = \frac{D}{l} \left(1 - \frac{R - \frac{1}{2}e}{R + \frac{1}{2}e} \right).$$

D = Développement total de la courbe extérieure ;

l = Quantité dont le petit rail est plus court que le grand ;

R = Rayon de la courbe ;

e = Largeur de la voie.

Espacement des traverses. — Les joints des rails sont, en général, en porte-à-faux ; ils sont tantôt correspondants, tantôt alternés, mais plus souvent correspondants.

L'espacement des traverses dépend nécessairement de la charge que doit supporter la plate-forme sur laquelle est posée la voie.

Le calcul du travail du métal dans le rail, sous l'influence des charges mobiles, est une question très difficile. Lorsqu'une voie est soumise à l'action d'une charge roulante, les rails qui constituent cette voie ne se comportent nullement comme une poutre continue reposant sur des points fixes. Les traverses de support s'enfoncent dans le ballast, matière plus ou moins élastique, et la courbe de déformation suit d'une manière plus ou moins approchée ces enfoncements des traverses. Cette dernière considération rend le calcul extrêmement compliqué ¹.

Dans les voies actuelles, le travail du métal atteint généralement, au milieu du rail, 12 kilogrammes par millimètre carré, et, au joint,

¹ Cette question a été étudiée par M. Zimmermann, dans son ouvrage très complet sur la matière et qui a pour titre : *Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues*, et par M. Couard, dans ses *Recherches expérimentales des conditions de stabilité des voies en acier*, publiées dans la *Revue générale des Chemins de fer* en 1889.

21 kilogrammes, c'est-à-dire à peu près la moitié de la limite d'élasticité du métal généralement employé pour les rails. Ci-dessous quelques chiffres sur l'espacement des traverses tel qu'il était adopté avec les anciens rails :

<i>France.</i>					
Est.....	Rails de 12 ^m ,00 ;	16 traverses :	espacement	{	moyen 0,77
				{	joint 0,60
Nord....	—	14	—	{	moyen 0,87
				{	joint 0,70
Etat.....	—	15	—	{	moyen 0,83
				{	joint 0,60
P.-L.-M..	—	18	—	{	moyen 0,72
				{	joint 0,54
Midi.....	Rails de 11 ^m ,00 ;	14	—	{	moyen 0,82
				{	joint 0,50
P.-O.....	—	14	—	{	moyen 0,837
				{	joint 0,40

Dans ces dernières années, par suite de l'augmentation de poids des nouvelles machines, on a augmenté le nombre de traverses en même temps que l'on renforçait le rail lui-même. Au Congrès des chemins de fer de Berne, (1910), M. Blum a indiqué 0^m,40 à 0^m,60 comme distance moyenne entre traverses de joints en Alsace-Lorraine; en Bavière, on descend à 0^m,34. M. Müntz, de l'Est français, a signalé les excellents résultats du joint entre traverses espacées de 0^m,42 d'axe en axe, employé depuis vingt ans sur son réseau. Les traverses sont ainsi à 0^m,17 environ entre faces intérieures.

Les traverses sont enfoncées dans le ballast, qui n'est « bourré » qu'à l'aplomb du rail et sur 0^m,25 de part et d'autre. En son milieu la traverse est seulement « garnie » de ballast, on y ménage même un léger creux, de manière qu'elle ne « porte » que par ses extrémités. Le ballast était autrefois réglé au niveau du rail du côté extérieur; à l'intérieur, il était nivelé un peu au-dessus de la traverse, on l'arase aujourd'hui au niveau du dessus de la traverse tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de la voie.

Écartement des voies. — D'après le B. O. allemand, l'écartement d'axe en axe de deux voies ne doit pas être inférieur à 3,50 mètres. L'écartement entre deux paires de voies ou entre une paire de voies et une troisième voie doit être de 4 mètres au moins d'axe en axe.

Dans les gares, à l'exception des voies de transbordement, les voies doivent être écartées au moins de 4,5 mètres d'axe en axe; des dérogations pourront être autorisées.

Les voies destinées à être séparées par un quai doivent être espacées d'au moins 6 mètres d'axe en axe.

Ces cotes sont à peu près les mêmes sur le réseau français.

Réglementation sur la construction et les épreuves des ponts métalliques. — En France, une circulaire ministérielle du 29 août 1891 avait déterminé les épreuves à faire subir aux ponts métalliques supportant les voies de chemins de fer ainsi qu'à ceux établis pour le passage des voies de terre.

L'art des constructions métalliques ayant subi de notables changements, une circulaire du 8 janvier 1915 a fixé le règlement à suivre pour le calcul et les épreuves des ponts métalliques, tandis qu'une circulaire du 20 octobre 1906 visait la construction en béton armé.

Un règlement du 10 mai 1927 a fixé les nouvelles règles à suivre pour le calcul et les épreuves des ponts métalliques, et modifié les instructions du 28 octobre 1905 relatives à l'emploi du béton armé.

Nous avons donné *in extenso* ce document avec les commentaires explicatifs dans l'agenda 1929.

Le train-type est composé de deux machines avec tenders placées en tête et suivies de wagons chargés.

Les dimensions et les poids des machines, des tenders et des wagons du train-type sont indiqués dans le tableau ci-après.

DÉSIGNATION	MACHINE	TENDER	WAGON chargé 2 bogies
Longueur totale.....	10 mètres	10 mètres	11 mètres
Nombre d'essieux.....	5	3	4
Écartement de deux essieux consécutifs.	1 ^m ,50	3 mètres	1 ^m ,50
			5 mètres
Distance d'un tampon à l'essieu voisin.	2 mètres	2 —	1 ^m ,50
Charge par essieu.....	20 tonnes	20 tonnes	20 tonnes
Poids total.....	100 —	60 —	80 —
Poids moyen par mètre de longueur...	10 —	6 —	7,270

Voies métalliques. — Depuis quelques années, l'emploi des traverses métalliques a pris un certain développement. En Europe, sur un réseau d'une longueur d'environ 213.000 kilomètres, on pouvait compter, en 1891, 16.457 kilomètres avec voie métallique, soit environ 7,70 0/0. La plus forte proportion est en Allemagne, où, pour un réseau d'une longueur de 40.480 kilomètres, on trouve 14.137 kilomètres sur traverses métalliques, soit 34,8 0/0. Dans ce pays, cependant, la progression semble un peu se ralentir. En 1929 la proportion est de 42,0/0.

En Afrique, la proportion est de 24,80 0/0; en Asie, de 48,75 0/0; en Australie, de 1,75 0/0; et en Amérique de 1,94 0/0.

Dans le monde entier, pour un réseau d'une longueur totale d'environ 582.275 kilomètres, on compte 39.908 kilomètres sur traverses métalliques, soit 6,85 0/0.

On emploie plusieurs systèmes de voies métalliques :

1° La voie sur *plateaux métalliques*, caractérisée par les systèmes de Livesey, de Mac-Lellan, de Denham, employés dans les pays tropicaux et principalement aux Indes anglaises ; de Muller, appliqué sur le chemin de fer militaire de Berlin ;

2° La voie sur *traverses métalliques* : c'est le système le plus répandu et les types de traverses sont très nombreux. Nous citerons parmi eux les traverses Vautherin, Berg et Marche, Hilf, Heindl, employées sur les chemins de fer autrichiens ; Post, à profil constant ou variable.

L'Angleterre, qui se propose de développer l'emploi des traverses métalliques pour donner un débouché à son industrie métallurgique, propose le type Sandberg pour le rail à double champignon, le type Bengough pour le rail Vignole. (*R. G.*, juin 1929) ;

3° La voie sur *longrines métalliques*, caractérisée principalement par les voies Bils et Harmann, employée en Allemagne.

Les rails sont fixés sur les traverses ou sur les longrines soit au moyen de crapauds et de cales ou clavettes, soit au moyen de crapauds et de boulons ; c'est ce dernier système qui domine actuellement ; mais, il faut bien le dire, c'est là le point faible de la voie métallique.

Afin d'obtenir une voie stable, il est nécessaire d'employer des traverses d'un poids d'au moins 60 à 70 kilogrammes pour les voies très fatiguées, et le métal doit être en acier doux.

La voie posée sur traverses métalliques coûte-t-elle moins cher d'entretien que la voie sur traverses en bois ? Cette question dépend de bien des circonstances, et surtout du ballast employé : les dépenses d'entretien paraissent également diminuer au bout des deux ou trois premières années de service. En fait, les ingénieurs ne paraissent pas encore fixés sur cette comparaison des dépenses d'entretien, et le Congrès de Saint-Petersbourg a conclu à ce sujet : qu'il ressortait des renseignements présentés que la traverse métallique, quand elle est placée dans des conditions d'emploi rationnelles, peut produire une économie dans la dépense de main-d'œuvre d'entretien. Mais il conclut aussi à la continuation des expériences.

Jusqu'à présent, la pose de voie sur traverses métalliques ne s'est pas beaucoup développée. Il n'est pas certain qu'elle se développe dans l'avenir étant incompatible pour des raisons d'isolement avec l'emploi du block-system automatique qui paraît devoir se développer¹.

¹ B. A. I., mai 1929.

Aiguilles. — Les aiguilles ou changements de voies sont destinées à donner passage d'une voie sur une autre. Elles se composent d'une paire de lames mises en mouvement par un levier de manœuvre, à l'aide d'une tringle de connexion, et venant, suivant la position du levier, s'appliquer contre l'un ou l'autre des rails de la voie. Les rails extérieurs sont toujours fixes et continus; l'une des lames constitue le rail extérieur de la voie déviée, et l'autre, le rail intérieur de la voie normale.

Quand la manœuvre de l'aiguille se fait à distance, à l'aide de transmissions rigides ou à l'aide de transmissions par fils, on fait usage, surtout quand l'aiguille est prise en pointe, d'un appareil de calage ou de verrouillage pourvu d'une pédale qui assure la position de l'aiguille et empêche qu'on puisse la manœuvrer avant qu'elle soit entièrement dégagée par les véhicules qui l'ont abordée; on la munit souvent d'un contrôleur électrique, disposé de telle manière qu'un tintement de sonnerie prévient l'aiguilleur dans le cas où l'aiguille est entre-bâillée. Tant que les lames s'appliquent exactement, aucune sonnerie ne se fait entendre.

Lorsque la manœuvre ne se fait pas à distance, les leviers des aiguilles sont munis de contrepoids, en forme de lentille, qui forcent les lames à rester appliquées contre les rails; quand les aiguilles doivent donner normalement une direction déterminée, on fixe leur contrepoids à l'aide de chevilles passées au travers du levier, dans l'axe de rotation du contrepoids. Quelquefois, pour plus de sûreté, on passe une chaîne qui rattache le contrepoids à un point fixe, et l'on cadenasse cette chaîne; mais il faut alors que l'aiguille ne soit jamais abordée en talon par des véhicules venant de la direction qu'elle ne donne pas, sans quoi, le contrepoids ne pouvant se soulever quand le levier oscille automatiquement, les lames seraient forcées par les boudins des roues.

Les changements *triples* ou aiguilles *triples*, qu'on appelle *doubles* sur certains réseaux, sont destinés à réunir trois voies en un même tronçon commun; ils sont symétriques et formés de lames d'aiguilles pouvant s'appliquer deux à deux contre chaque rail. Les lames internes constituent les rails extérieurs des deux voies latérales; les lames intermédiaires forment les rails de la direction médiane, et les rails continus sont les rails intérieurs des deux voies latérales déviées. Deux leviers à contrepoids servent à manœuvrer sur place ces changements, qui ont l'avantage de nécessiter moins d'espace que deux aiguilles successives, mais qui sont moins favorables à la circulation à cause du surcroît d'écartement des rails; on évite même, autant que possible, de les employer sur les voies parcourues à grande vitesse.

Croisements, traversées obliques. — Les croisements sont des appareils spéciaux placés à l'intersection des rails pour permettre

le passage des boudins des roues. Ils se rapportent à un nombre restreint de types qui sont désignés par la tangente de l'angle sous lequel se fait le croisement : on emploie généralement les tangentes de 9, 11 et 13 centièmes.

Pour guider les roues lorsqu'elles passent sur les croisements, on dispose, de part et d'autre, des contre-rails, ou *patte-de-lièvre* en acier rivées ou fondues avec l'angle ou *cœur de croisement* qu'elles comprennent.

Tout changement de voie comporte un croisement situé à une distance de la pointe qui varie avec l'angle du croisement et avec la courbure de la voie déviée, l'autre voie étant droite ; exemple :

Angles	Distances	Rayons
0,09	27 ^m ,39	271 ^m ,00
0,11	23,66	176,00

Si les deux voies ont la même courbure, le branchement est dit symétrique, et l'on a, par exemple :

Angles	Distances	Rayons
0,13	19 ^m ,07	357 ^m ,00
0,16	15,85	157,00

Les *jonctions* ou *liaisons* sont formées de deux aiguilles réunies par une courbe de raccordement ; les *bretelles* se composent de deux liaisons en croix.

Les traversées obliques sont formées par la rencontre de deux voies se coupant obliquement à niveau : elles comportent quatre croisements, dont les pointes sont les quatre angles extérieurs opposés par le sommet aux angles du losange commun aux deux voies ; en face de chaque croisement, le long du rail opposé, est placé un contre-rail destiné à guider le boudin de l'autre roue dans le sens où la première tendrait à suivre la patte-de-lièvre du croisement ; il y a quatre contre-rails de ce genre. Enfin, dans les angles obtus intérieurs du losange sont placés, dans le même but, deux contre-rails en forme de V ouvert.

Traversées-jonctions. — Les traversées-jonctions sont des traversées obliques qui sont raccordées, au moyen de liaisons d'un rayon très réduit, avec les voies qu'elles traversent, et dans l'angle obtus que forme leur intersection. Elles sont doubles ou simples suivant que le raccordement s'effectue ou ne s'effectue pas de part et d'autre du point de croisement. Une traversée-jonction double comprend donc quatre aiguilles, qui sont manœuvrées d'un seul coup de levier.

Entre quatre voies parallèles, on est quelquefois amené à établir en bretelle deux grandes traversées-jonctions doubles qui donnent

toutes les communications possibles d'une voie à l'autre. Dans ce cas, il y a vingt aiguilles, dont quatre changements normaux aux extrémités et seize changements raccourcis aux quatre points de croisement des traversées avec les voies parallèles.

Traversées rectangulaires. — Les traversées rectangulaires ou voies transversales sont usitées dans l'intérieur des gares, pour relier des voies entre elles par l'intermédiaire de plaques tournantes; les voies transversales sont généralement sacrifiées aux voies dites principales, c'est-à-dire qu'on entaille les champignons des rails dont elles se composent, afin de laisser passage au boudin des roues des trains qui circulent dans un sens perpendiculaire, et qu'on surélève ces rails, afin de ne pas faire la même entaille aux rails des voies parcourues par les trains: une légère pente raccorde, de part et d'autre, les voies transversales au niveau ordinaire. Des contre-rails sont, en outre, placés le long des voies de circulation des trains.

Plaques tournantes. — Les plaques tournantes sont destinées à faire passer les véhicules d'une voie sur d'autres voies rayonnant comme elle au centre de la plaque; elles se composent d'un plateau mobile sur un pivot central et soutenu à la circonférence par des galets qui roulent sur un chemin circulaire en fonte, fer ou acier; l'ensemble repose dans une cuve cylindrique en fonte encastrée dans des fondations. Le plateau mobile est formé de quatre poutres reliées entre elles et supportant les rails; les intervalles sont remplis par un plancher en bois ou en tôle: le bois peut être brûlé pendant le stationnement des machines sur les plaques, mais le métal produit un bruit désagréable au passage des trains.

Lorsqu'il s'agit de voies convergentes aboutissant à une même plaque sous un angle quelconque, mais toujours de manière que leur axe passe par le centre de la plaque, on ne pose quelquefois qu'une voie sur la plaque; c'est le cas le plus simple, mais il est peu usité, car l'une des voies aboutissant à la plaque se trouve nécessairement condamnée.

Les plaques sont placées le plus généralement à l'intersection des voies et des traversées rectangulaires; elles portent, dans ce cas, deux voies à angle droit, de manière que ni la voie ni la traversée ne se trouvent jamais condamnées.

Toutefois, on fait des plaques à trois voies croisées à 60°, soit dans le cas où une voie en coupe une autre sous cet angle de 60°, soit pour relier par une plaque une voie à deux autres entre les plaques desquelles ne se trouve pas la place nécessaire pour poser une troisième plaque sur la même traversée rectangulaire.

Nous donnons ci-dessous les diamètres des plaques tournantes habituellement en usage sur les réseaux français:

	Wagons	Voitures
Nord.....	4 ^m ,20	4 ^m ,80
Est.....	4 ,50	4 ,50
Midi.....	4 ,20	5 ,60 6 ,20
État.....	4 ,50	4 ,50
Orléans.....	4 ,40	6 ,20
P.-L.-M.....	4 ,40	5 ,00

Pour diminuer les entre-voies, on peut jumeler les plaques voisines en réunissant leurs cuves et gagner ainsi 0^m,15 à 0^m,30.

On n'installe généralement pas de plaques sur les voies principales parcourues sans arrêt par des trains de vitesse, parce qu'il se produit toujours une certaine oscillation au passage des véhicules; on n'en place guère sur ces voies que dans les gares où tous les trains s'arrêtent.

Plaques tournantes et ponts tournants pour locomotives. —

Les appareils employés pour le tournage des locomotives sont des appareils beaucoup plus importants, dont le diamètre varie de 14 à 23 mètres et s'élève même jusqu'à 25 mètres.

Les plaques tournantes sont généralement installées au point de convergence des voies desservant une remise circulaire pour locomotives; leur plate-forme est établie pour recouvrir toute la cuve dans laquelle elles tournent. Les ponts tournants, au contraire, ne comportent que les poutres portant les rails et ils n'ont pas de plate-forme en dehors de ces poutres pour recouvrir la fosse, mais ce qui différencie, en principe, les deux genres d'appareils, c'est que sur les plaques tournantes la position à donner à la locomotive pour le tournage est indifférente, la charge étant supportée à la fois par le pivot, et par les galets des bouts; tandis que sur les ponts tournants la locomotive à tourner doit toujours être convenablement centrée, de manière que son centre de gravité tombe le mieux possible à l'aplomb du pivot: dans ces conditions, la charge porte entièrement sur le pivot et les galets des bouts ne servent qu'au maintien de l'équilibre de l'appareil. Il en résulte que les frottements sont bien plus importants dans les plaques tournantes que dans les ponts tournants; aussi peut-on généralement effectuer le tournage de ces derniers à bras d'homme, tandis que dans les plaques tournantes la manœuvre nécessite toujours l'emploi d'un moteur soit à vapeur, soit électrique.

La longueur et, par suite, le poids des locomotives tendant toujours à augmenter, les ponts tournants de grandes dimensions ne peuvent plus eux-mêmes être manœuvrés à bras; il faut leur ajouter un tracteur, généralement électrique, roulant sur le rail circulaire placé à la périphérie de la fosse et relativement lourd puisque son adhérence dépend uniquement de son propre poids; de sorte que l'économie ré-

sultant de l'emploi de ponts disparaît. Il y a même avantage, dans certains cas, à revenir au type des plaques avec poutres reposant sur trois points d'appui, parce que ce type permet :

D'avoir des poutres moins hautes au centre, ce qui, dans l'installation, exige une fosse moins profonde ;

De ne plus équilibrer la locomotive sur le pont, ce qui fait gagner du temps ;

Et enfin de placer directement le ou les moteurs sur les trucks qui supportent la plaque aux extrémités, de sorte que le poids adhérent de ces moteurs est fourni par la plaque elle-même.

On a construit dans cet ordre d'idées des ponts-plaques de 23, 25 et même 30 mètres de diamètre ¹.

Chariots roulants. — Les chariots roulants permettent de faire passer un véhicule d'une voie sur une voie parallèle : leur destination est la même que celle des plaques, mais ils ont l'avantage d'être d'un emploi plus économique : un seul chariot suffit là où il faudrait placer autant de plaques qu'il y a de voies à relier entre elles. Les chariots roulants avec fosse ont l'inconvénient d'interdire la simultanéité des manœuvres qui doivent être suspendues entre toutes les voies vis-à-vis desquelles le chariot ne se trouve pas. Aussi remplace-t-on les chariots avec fosse par des chariots sans fosse, qui permettent de ne pas interrompre la continuité des voies et qui suppriment même toute coupure des rails par l'emploi de chemins de roulement dont le plan est un peu supérieur à celui des voies.

Les chariots dits *transbordeurs* circulent sur des rails placés à côté de la traversée, et ils portent un cabestan et des poulies de renvoi permettant de remorquer les wagons, de les transporter d'une voie sur une autre et, au besoin, de les faire tourner sur les plaques.

On applique la vapeur et l'électricité à la manœuvre des chariots roulants comme à celle des ponts tournants et des plaques.

Ponts à bascule. — Les ponts à bascule sont employés au pesage des wagons ; la plaque qui porte les rails dans le prolongement de ceux de la voie est supportée par un mécanisme de bascule ordinaire reposant sur des fondations solides.

Gabarits. — Ces appareils, généralement situés à la sortie des halles à marchandises, sont destinés à indiquer si les wagons chargés sont dans les conditions requises pour circuler et passer sous les ouvrages d'art.

Le gabarit se compose d'une tringle ayant la forme du contour

¹ Les appareils de tournage pour locomotives à grand empatement employés sur le réseau P.-L.-M. Hubert, *B. G.* avril 1927.

adopté comme limite, forme qui est assez variable suivant les Compagnies; cette tringle est suspendue à un bâti en bois ou en fer, de manière à lui laisser la faculté d'osciller si elle est accrochée par le véhicule à contrôler. Sur certains réseaux, une sonnette est fixée à la tringle, et son tintement indique que le wagon examiné ne passe pas librement. Des gabarits portatifs ont été mis récemment en service sur le réseau du Nord (*R. G.* Avril 1929).

Taquets d'arrêt. — Les taquets d'arrêt sont destinés à empêcher les wagons garés de se mettre en mouvement sous l'influence du vent ou de la pente.

Le taquet d'arrêt le plus élémentaire est une cale en bois qui se rabat sur le rail; mais il a l'inconvénient de pouvoir être franchi par un wagon lancé avec une certaine vitesse et d'occasionner ainsi le déraillement de ce wagon. On a, dans quelques Compagnies, remplacé la cale en bois par des cales en tôle et cornières placées dans les mêmes conditions sur chacun des rails et maintenues dans leur position d'arrêt par une entretoise.

Le taquet le plus usité est formé d'un morceau de rail transversal qui arrête les boudins des roues lorsqu'il est relevé et épaulé contre des pièces de bois fixes. Il peut se rabattre dans la largeur de la voie, entre les rails, pour laisser le passage libre.

Il existe, en Angleterre, des buttoirs mobiles qui, lorsqu'ils sont heurtés par les roues d'un véhicule, dérotent une chaîne très lourde ou entraînent un contrepoids suffisant pour neutraliser assez rapidement la vitesse acquise du véhicule.

Heurtoirs. — Pour terminer les voies et empêcher les wagons de dépasser leur extrémité, on se contente souvent de recourber les rails à cette extrémité. Lorsque l'on dispose d'une place suffisante, on installe à l'extrémité une pyramide en terre, contre laquelle est épaulée une charpente destinée à arrêter les wagons; c'est ce que l'on appelle le *heurtoir économique*.

Lorsque la place manque, et aussi dans un but d'élégance, on compose le heurtoir avec une charpente solide, reliée par des tirants en fer à une charpente horizontale placée au-dessous du sol.

On construit aussi des heurtoirs hydrauliques.

Fosses à piquer. — Des fosses de 0^m,85 de profondeur et d'une longueur variable sont ménagées entre les rails de certaines voies, dans les gares, à proximité des prises d'eau, pour permettre aux mécaniciens de piquer le feu, de vider le cendrier de leur machine et de la visiter en dessous: un escalier permet de descendre au fond de ces fosses, qui sont pavées ou maçonnées et dont le sol est bombé pour faciliter l'écoulement de l'eau. Ces fosses sont éclairées pendant la nuit, afin d'éviter que les agents ne s'y laissent tomber.

CHAPITRE VI

STATIONS D'ALIMENTATION, GRUES HYDRAULIQUES ET CANALISATIONS

Alimentation d'eau. — Le choix des points d'eau est très important : pour la bonne conservation des chaudières des locomotives, il faut proscrire les eaux séléniteuses et éviter autant que possible les eaux calcaires ; il faut tenir compte aussi que, pour la bonne marche du service, les points d'eau doivent être assez rapprochés, surtout sur les lignes accidentées. Quoique les machines locomotives puissent parcourir des distances de 100 à 150 kilomètres et même davantage sans se réapprovisionner en eau, en pratique, on n'espace pas les prises d'eau de plus de 30 kilomètres pour parer à toutes les éventualités.

Toutes les fois qu'on le peut, on amène directement dans les réservoirs d'alimentation les eaux des sources naturelles des régions traversées ; sinon on établit des usines élévatoires placées généralement au bord des cours d'eau et dont la puissance correspond au débit nécessaire.

Les réservoirs dans lesquels les eaux sont recueillies sont de capacité très variable ; ils se font généralement en tôle. La meilleure disposition est un cylindre avec fond en forme de segment de sphère : l'épaisseur des viroles du corps cylindrique varie de 3 à 6 millimètres suivant la position de ces viroles et l'épaisseur du fond atteint souvent 8 millimètres. Les réservoirs montés sur une tour en maçonnerie de 0^m,40 à 0^m,50 d'épaisseur sont parfois couverts et même entourés d'une enveloppe destinée à les protéger contre la gelée. Les réservoirs se construisent de plus en plus en ciment armé.

Lorsque les réservoirs sont placés à proximité des quais où les machines s'arrêtent pour prendre de l'eau, ils portent eux-mêmes les manches de prise d'eau. Mais le plus souvent, pour ne pas gêner la vue et pour dégager les abords des voies, les réservoirs sont installés loin de ces voies : on les relie alors par des canalisations à des colonnes en fonte de 3 mètres à 3^m,50 de hauteur ayant la forme de potences et que l'on a dénommées grues hydrauliques.

Grues hydrauliques. — Ces grues placées à proximité des voies sont pivotantes et disposées de telle sorte que l'extrémité de la volée puisse être amenée au-dessus de l'ouverture de remplissage de la caisse

des tenders ; lorsque la volée est dans cette position, il suffit d'ouvrir le robinet ou la vanne de commande pour remplir le tender.

Les grues hydrauliques étant sujettes à geler en hiver, on a pris la précaution de placer le robinet ou la vanne de commande en terre, à 60 ou 80 centimètres de profondeur, et on a disposé cette vanne de manière que la colonne de la grue ne reste jamais pleine d'eau. Malgré cette précaution, on est parfois conduit à envelopper la colonne montante de paille et, dans certains pays froids, on entretient même un poêle en feu contre cette colonne.

Le débit des grues hydrauliques est très variable suivant le type des grues et suivant le diamètre des canalisations : sur les lignes fréquentées par les express il doit être de 10 à 12 mètres cubes par minute, afin de réduire le plus possible le temps de stationnement pour prise d'eau.

Canalisations. — (Voir agenda 1930.)

Alimentation en marche. — Afin de supprimer les stationnements pour prises d'eau, on a cherché à alimenter les tenders pendant la marche des trains. Dans ce but, on a placé sous le tender un tube recourbé en forme d'écope que l'on abaisse au passage de canaux établis entre les rails ; sous l'influence de la vitesse l'eau des canaux s'élève dans ce tube et vient remplir la caisse à eau du tender.

Cette disposition exige une grande attention de la part du personnel de la machine pour abaisser et relever l'écope exactement au moment opportun ; elle nécessite aussi des canaux de grande longueur entre rails. En outre, dans les pays froids, il faut réchauffer en hiver l'eau des canaux d'alimentation afin d'empêcher la formation de glace.

Aussi, dans bien des cas, préfère-t-on augmenter la capacité des tenders plutôt que d'installer un système de prise d'eau en marche.

D'ailleurs l'adoption de la surchauffe permet de réduire suffisamment la consommation d'eau des chaudières pour qu'on puisse s'en tenir à des tenders de capacités acceptables.

Le système de prise d'eau en marche, par l'emploi de l'écope sur le tender, est couramment employé en Angleterre et aux États-Unis : il a été introduit en France il y a quelque vingt ans, mais il n'en a guère été fait d'application que sur les chemins de fer de l'État.

Épuration des eaux. — Les eaux chargées en calcaires ou en sels alcalins doivent, autant que possible, être épurées avant leur emploi. Deux systèmes d'épuration sont en présence. Le premier consiste à épurer les eaux avant leur introduction dans la chaudière ; il est em-

ployé sur une grande échelle par les Compagnies du Nord et P.-L.-M. et tend à se généraliser sur les lignes de la plupart des autres Compagnies. Le second consiste à introduire dans la chaudière des matières empêchant l'adhérence des dépôts ou facilitant leur décomposition ou leur transformation en matières boueuses non adhérentes et faciles à enlever; on peut classer dans cette catégorie les désincrustants.

Enfin on cherche aussi, par des dispositifs spéciaux des tuyaux d'alimentation, à obtenir la précipitation des matières boueuses en des points déterminés où il est plus facile de les extraire, par exemple près de la plaque tubulaire de boîte à fumée.

DEUXIÈME PARTIE

TRACTION

CHAPITRE VII

RÉSISTANCE DES TRAINS

PUISSANCE DE LA LOCOMOTIVE. — CHARGES

§ 1. — Estimation des résistances.

Pour entretenir en mouvement uniforme un véhicule ou un train il faut vaincre un certain nombre de résistances : résistance de l'air et du vent, résistance due au frottement les unes sur les autres des diverses pièces du train (fusées sur coussinets), résistance due à l'élévation du train sur une rampe, résistance due au frottement des boudins sur les rails dans les courbes, résistance due aux obstacles accidentels (joints des rails, etc.).

On évalue ces résistances en kilogrammes par tonne de poids du train.

Seule la résistance due à la gravité peut s'évaluer théoriquement d'une façon simple et exacte. Sa valeur est égale à la pente i de la rampe exprimée en millimètres par mètre

$$r = i.$$

La résistance due aux courbes est d'autant plus grande, toutes choses égales, que le rayon de la courbe est plus petit ; il existe diverses formules. On emploie fréquemment la formule simple

$$r = \frac{750}{R},$$

cette formule s'applique à la vitesse de 100 km/h.

La résistance due aux courbes augmente avec la longueur du train et par conséquent le nombre des véhicules, elle diminue lorsque la vitesse s'approche de celle pour laquelle le devers a été calculé, on indique la formule

$$r = \frac{nV}{1,5R};$$

n étant le nombre des véhicules du train ;

V la vitesse en kilomètres-heures ;

R le rayon de la courbe en mètres.

En Allemagne on emploie les formules de Röckl :

$$r = \frac{650}{R - 55} \text{ pour } R \geq 300 \text{ mètres.}$$

$$r = \frac{650}{R - 30} \text{ pour } R < 300 \text{ —}$$

$$r = \frac{400}{R - 20} \text{ pour voie de 1 mètre.}$$

$$r = \frac{350}{R - 10} \text{ pour voie de 750 millimètres.}$$

$$r = \frac{200}{R - 5} \text{ pour voie de 600 —}$$

R étant le rayon de la courbe en mètres ¹.

Toutes les autres résistances sont estimées en bloc en fonction de la vitesse v par des formules expérimentales dont la forme générale est :

$$r = a + bv + cv^2$$

ou :

$$r = a + cv^2,$$

parfois mais plus rarement :

$$r = a + bv$$

Les valeurs des coefficients a , b , c , non seulement sont différentes suivant le matériel essayé, mais de plus elles varient sous l'influence d'un grand nombre de causes : température, direction et force du vent, nature de la plateforme, espacement des traverses, résistance du rail à la flexion (type du rail), fréquence des joints, longueur du rail, forme du champignon, forme des bandages des roues, nature des huiles de graissage.

¹ Voir dans les *Glaser's Annalen* du 15 décembre 1927 des formules de même forme à coefficients légèrement différents.

On voit que l'application des formules ne peut donner que des indications et qu'elles laissent une grande part d'incertitude. Elles sont néanmoins utiles pour un avant-projet.

Pour avoir une moins grande incertitude, on emploie des formules différentes pour la locomotive et pour le reste du train, et pour la locomotive les formules tiennent compte du nombre d'essieux.

L'agenda Dunod 1927 donne pour la résistance des locomotives les formules de *Barbier, Nadal, Sanzin*, et pour le matériel remorqué celles de *Harding, Vuillemin, Guebhard et Dieudonné, Fink, Barbier, Nadal*.

Nous y ajouterons, pour les locomotives, la formule de Strahl¹ :

$$r_{loc} = 2,5 + 0,067 \left(\frac{V}{10} \right)^2 + \left[a + 0,116 \frac{V}{D} \right] \frac{P_a}{P},$$

dans laquelle :

r est la résistance en kilogrammes par tonne de la locomotive et du tender en ligne droite, en palier, par temps calme;

V , la vitesse en kilomètres à l'heure;

D , le diamètre des roues motrices en mètres;

P_a , le poids adhérent de la locomotive en tonnes;

P , le poids total de la locomotive et du tender en tonnes;

$a = 2,5$ pour les locomotives à deux essieux couplés;

$a = 4,0$ — — — à trois — — — ;

$a = 5,5$ — — — à quatre — — — ;

$a = 7,0$ — — — à cinq — — — .

Strahl² a proposé par la suite les formules suivantes :

1^o Pour la locomotive en palier et ligne droite, temps calme :

$$R_{loc} = 2,5p + cP_a + 0,6 \cdot S \left(\frac{V}{10} \right)^2 + 0,04 \cdot Z_i,$$

R_{loc} , résistance de la locomotive (résistance totale en kg. et non plus résistance en kg. par tonne);

p , poids non adhérent en tonnes de la locomotive et du tender;

P_a , poids adhérent — — — — — ;

S , surface transversale en mètres carrés de la locomotive = environ 10 pour les locomotives modernes;

Z_i , effort de traction indiqué aux cylindres (en kilogrammes) = $\frac{270}{V} \times$ puissance indiquée en chevaux (diagrammes d'indicateur);

V , vitesse en kilomètres à l'heure;

¹ STRAHL, *Anstrengung der Dampflokomotiven*.

² STRAHL, *Einfluss der Steuerung auf Leistung der Heissdampf Lokomotiven*. Hannover-Linden, 1924.

$c = 5,8$	pour une locomotive	à deux essieux couplés,	deux cylindres ;
$c = 6$	—	à deux —	quatre — ;
$c = 7,3$	—	à trois —	deux — ;
$c = 7,5$	—	à trois —	quatre — ;
$c = 8,4$	—	à quatre —	deux — ;
$c = 8,6$	—	à quatre —	quatre — ;
$c = 9,3$	—	à cinq —	deux — ;
$c = 9,5$	—	à cinq —	quatre — ;

On voit immédiatement que les deux premiers termes se rapportent à la résistance propre du mécanisme et du roulement de la locomotive haut le pied.

Le troisième terme tient compte de la résistance de l'air ;

Le quatrième terme tient compte de la résistance supplémentaire de la locomotive chargée.

2° Pour le matériel *voiture et wagons* :

$$r = 2 + \frac{1}{d} \left(\frac{V}{10} \right)^2$$

dans laquelle :

$d = 40$ pour les trains rapides et express ainsi que pour les trains lourds de marchandises (trains de charbon) ;

$d = 30$ pour les trains omnibus ;

$d = 25$ pour les trains de messageries ;

$d = 20$ pour les trains de marchandises ordinaires de composition variée ;

$d = 10$ pour les trains de wagons vides à deux essieux.

Nous rappellerons (agenda 1927) que pour les *voitures à bogies* la formule de *M. Barbier* donne :

$$r = 1,6 + 0,456 V \frac{V + 10}{1.000}$$

pour les mêmes voitures les allemands ont adopté la formule :

$$r = 2,5 + \frac{V^2}{2.500}$$

cette formule donne des résistances plus fortes que la première jusqu'à 92 kilomètres et plus faible au delà.

M. Japiot (R. G., Décembre 1929) a adopté la formule :

$$r = 3 + 5 \frac{V}{100} \left(\frac{V - 30}{100} \right),$$

donnant des résultats se rapprochant de ceux des précédentes entre 90 et 100 kilomètres et des résultats intermédiaires entre les deux en dehors de cette zone.

Pour les locomotives électriques du type E 2 D 2.501 à attaque individuelle des essieux par engrenages et biellettes du type Buchli (Société Brown Boveri) Voir tableau des locomotives électriques, le P.-O. a trouvé (R. G., Mars 1927; — R. G., Décembre 1929), des résistances qu'on peut représenter par la formule :

$$r = 3,7 + v \frac{V - 20}{1.000}$$

Pour la voie étroite en palier et des vitesses inférieures à 30 kilomètres à l'heure (Voie Decauville), on compte la résistance par tonne à

$r = 12$ kilogrammes pour la locomotive ;

$r = 10$ kilogrammes pour les wagons.

Pour le matériel à voie de 60 centimètres, il résulte d'essais effectués dans les mines, qu'il faut compter sur

$r = 11^{\text{r}},5$ pour une voie bétonnée ;

$r = 15$ kilogrammes pour une voie de chantier.

Les allemands comptent en moyenne 10 à 15 kilogrammes et exceptionnellement 20 kilogrammes.

Accélération au départ. — Un corps de masse M soumis à une force F constante prend un mouvement uniformément accéléré, c'est-à-dire dans lequel la vitesse croît proportionnellement au temps. L'accroissement, par seconde, de la valeur de la vitesse est l'accélération.

On sait que différentes forces appliquées à un même corps produisent des accélérations qui leur sont proportionnelles, le rapport constant de la force à l'accélération étant précisément et par définition la masse M du corps.

Le poids p d'un corps, de masse m , communique à ce corps un mouvement d'accélération g , accélération due à la pesanteur et égale, à Paris, à $9^{\text{m}},81$ par sec^2 ; une force F appliquée au même corps lui communique une accélération γ telle que :

$$\frac{F}{\gamma} = \frac{p}{g} = M.$$

Dans les premières secondes du démarrage d'un train, l'effort produit par une locomotive à vapeur n'est pas constant, les résistances elles-mêmes varient, la force motrice F que nous considérons, qui est l'excès de l'effort de la locomotive sur les résistances, est donc variable elle-même, néanmoins on peut admettre que dans la première seconde elle varie peu. Par définition le train démarre d'autant plus rapidement

et se met d'autant plus vite en vitesse que l'accélération produite par la force F est plus grande.

La nécessité d'une grande accélération au départ est d'autant plus impérieuse que les arrêts sont plus fréquents.

L'accélération au départ doit être au moins pour un train :

A marchandises, de : 0,04 à 0,05 m : sec².

A voyageurs, de : 0,06 à 0,07 — .

De banlieue : 0,15 à 0,30 — .

Métropolitain : 0,50.

On en déduit la grandeur de l'effort au crochet de traction qui doit s'exercer sur le train.

Soit un train de voyageurs de 300 tonnes remorquées auquel on veut communiquer une accélération au départ de 0,30 m : sec².

On doit avoir :

$$\frac{F}{0,30} = \frac{300.000}{9,81}, \quad F = 9.150 \text{ kilogrammes ;}$$

l'effort à exercer au crochet de traction est égal à F augmenté de la résistance au démarrage des véhicules du train. Malheureusement cette dernière est toujours très mal connue, les formules indiquées plus haut même, en y faisant $V = 0$, ne peuvent s'appliquer ¹. En pratique on admet que la résistance au démarrage en palier est de 15 à 20 kilogrammes par tonne pour les trains de voyageurs dont les attelages sont serrés, de 13 kilogrammes par tonne pour les trains de marchandises. Ces chiffres peuvent varier du simple au double.

§ 2. — Puissance de la locomotive.

La puissance des locomotives à vapeur est en général exprimée en chevaux-vapeur, celle des locomotives électriques en kilowatts.

$$1 \text{ cheval} = 0,736 \text{ kw},$$

$$1 \text{ kilowatt} = \frac{1}{0,736} = 1,36 \text{ ch.}$$

On distingue : la *puissance indiquée* que l'on mesure à l'aide des diagrammes d'indicateur pris sur les cylindres ; la *puissance à la jante* ou puissance effective qui est une grandeur théorique, elle ne se

¹ Voir R. G., Décembre 1898. — DESDOUVTS, *Calcul de l'allocation du temps nécessaire pour les démarrages, les arrêts et les ralentissements des trains.*

mesure pas directement sur les locomotives ; elle correspond au travail nécessaire pour remorquer le train, machine et tender compris, elle est inférieure à la puissance indiquée de la puissance nécessaire pour vaincre les résistances du mécanisme, frottements des pistons, tiroirs, glissières, bielles motrices et d'accouplement, etc. : la *puissance au crochet de traction du tender* ou *puissance utile* que l'on mesure au wagon dynamomètre elle correspond au travail dépensé pour remorquer les véhicules du train situés derrière le crochet. L'excès de la puissance à la jante sur la puissance au crochet est absorbé pour la remorque de la locomotive et du tender.

Pour donner une idée des rapports entre les valeurs des différentes puissances : aux essais des locomotives Pacific compound à surchauffe du P.-L.-M. 6.200 (poids total locomotive et tender 135 tonnes), on a obtenu les résultats suivants :

1° A 105 kilomètres à l'heure. — Charge remorquée ¹ 278 tonnes sur rampe de 5 millimètres par mètre :

P_i , puissance indiquée, 2.089 chevaux ;

P_u , puissance utile au crochet de traction, 1.122 chevaux ;

$$\frac{P_u}{P_i} = 0,53 ;$$

2° A 78 kilomètres à l'heure. — Charge remorquée, 645 tonnes sur la même rampe :

P_i , 2.255 chevaux ;

P_u , 1.604 chevaux ;

$$\frac{P_u}{P_i} = 0,71.$$

(Ces puissances sont les puissances maxima que peut développer la locomotive à l'allure de combustion de 500 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure.)

Ce rapport $\frac{P_u}{P_i}$ ne caractérise pas une locomotive ; s'il varie en même temps que le rapport du poids de la locomotive au poids total du train, il varie également avec la rampe et la vitesse.

Poids par cheval. — Le poids d'une locomotive Pacific P.-L.-M. et de son tender avec approvisionnements à demi épuisés est de 135 tonnes. Si l'on admet 2.000 chevaux comme P_i moyenne et 1.360 chevaux comme P_u moyenne, le poids par cheval indiqué est de 67 kilogrammes et le poids par cheval utile de 97 kilogrammes.

¹ Dans la charge remorquée nous ne comprenons jamais le poids de la locomotive ni celui du tender, contrairement à la pratique de certains réseaux.

Formules donnant approximativement la puissance d'une locomotive. — Pour la statistique, on a besoin d'une formule donnant approximativement la puissance d'une locomotive. En France, on s'accorde à peu près à employer la formule suivante :

$$P = K \sqrt{GpCr},$$

dans laquelle :

P est la puissance en chevaux ; c'est la puissance à la jante qui peut être développée d'une façon soutenue ¹ ;

G, la surface de grille en mètres carrés ;

p, le timbre de la chaudière en kilogrammes par centimètre carré ;

C_r, la surface de chauffe du foyer + $\frac{1}{3}$ de la surface de chauffe des tubes + le cas échéant la surface de surchauffe, le tout exprimé en mètres carrés.

La surface des tubes est la surface intérieure des tubes comptée en dehors des plaques tubulaires.

Dans le cas des tubes à ailettes, on prend la moyenne entre la surface développée des ailettes et celle d'une tubulure lisse de même diamètre intérieur.

La surface de surchauffe est la moyenne des surfaces extérieures et intérieures des éléments surchauffeurs sans tenir compte du collecteur.

K est donné par le tableau suivant : D étant le diamètre des roues motrices.

LOCOMOTIVES		D ≥ 1 ^m ,500	D < 1 ^m ,500	
Sans surchauffe.	Simple expansion.	anciennes....	24	22
		modernes....	19	18
	Compound.....	21	20	
A surchauffe...	Simple expansion.	transformées.	25	23
		modernes....	21	20
	Compound.....	22	21	

On entend par locomotives modernes celles qui ont à la fois une grille de surface égale ou supérieure à 2 mètres carrés et un timbre égal ou supérieur à 12 kilogrammes par centimètre carré.

Cette formule donne des résultats suffisamment exacts.

REMARQUE. — Il faut signaler que l'accord n'est pas complet sur les

¹ Pour avoir la puissance indiquée il faudrait augmenter ce chiffre d'environ 10 0/0.

valeurs à donner au coefficient k suivant le type de la machine, ainsi que sur la fraction de la surface des tubes entrant dans le terme Cr . Le coefficient k peut varier d'une ou deux unités. Certains réseaux préconisent de prendre seulement le quart et non le tiers de la surface des tubes comme nous l'avons indiqué plus haut.

Appliquée à la locomotive Pacific P.-L.-M. compound, surchauffe du paragraphe précédent, elle donne 2.070 chevaux,

Appliquée à la locomotive Mountain de l'Est, elle donne 2.378 chevaux.

Appliquée à la locomotive Mountain du P.-L.-M., étudiée par l'O. C. E. M., elle donne 2.680 chevaux.

Il existe d'autres formules. Nous indiquerons plus loin ces formules de Swoboda et du P.-O.

Nomogramme pour calculer la puissance d'une locomotive. — Nous avons construit un nomogramme à points alignés permettant de résoudre graphiquement l'équation :

$$P = k \cdot \sqrt{G \cdot p} \cdot Cr.$$

Construction du nomogramme. — Il n'est pas question ici d'exposer les éléments, même les plus généraux, de la nomographie¹. Nous nous bornerons à indiquer les considérations très simples qui nous ont guidés dans le présent exemple.

Transformation de l'équation. — L'équation proposée :

$$(1) \quad P = k \cdot \sqrt{G \cdot p} \cdot Cr,$$

peut se mettre sous la forme suivante :

$$(2) \quad \log P = \log k + \frac{1}{2} \log G + \frac{1}{2} \log p + \frac{1}{2} \log Cr.$$

Posons alors :

$$\log P = A,$$

$$\log k = B,$$

$$\frac{1}{2} \log G = C,$$

$$\frac{1}{2} \log p = D,$$

$$\frac{1}{2} \log Cr = E,$$

¹ Consulter le *Traité de Nomographie*, de M^r M. d'OCAGNE, membre de l'Institut, professeur à l'École Polytechnique (Paris, éditeurs).

L'équation à résoudre s'écrit :

$$(3) \quad A = B + C + D + E.$$

Prenons comme nouvelles variables les quantités : A, B, C, D, E. Nous voyons, sous la forme (3) de l'équation, que la valeur de $A = \log P$ peut s'obtenir par addition des quatre termes contenus second membre.

Champ de variation des variables. Echelles adoptées. — Nous affecterons à chacune des variables un axe vertical orienté positivement de bas en haut. Nous allons définir pour chacune d'elles les limites pratiques de son champ de variation. Cela permettra de déterminer l'échelle la plus grande à laquelle on peut la représenter sur l'axe correspondant, étant donnée la hauteur de 500 millimètres que diverses considérations nous ont conduits à adopter pour le cadre du nomogramme.

Nous désignerons par λ la longueur de 250 millimètres qui est le module de la graduation inférieure des règles à calcul d'usage courant.

Il sera avantageux d'obtenir pour la puissance P une graduation de même sens que celles de la surface de grille G, de la surface de chauffe réduite Cr, et de la pression p.

En outre, cette graduation devra être à une échelle aussi grande que possible, afin de permettre une lecture facile et précise du résultat cherché. Pour ces deux raisons, nous employons un artifice de construction dont on apercevra plus loin l'utilité, et au lieu de conserver la puissance comme inconnue, nous allons la faire entrer au nombre des variables supposées connues, et prendre le coefficient k comme nouvelle inconnue.

Nous allons maintenant indiquer l'échelle adoptée pour chacune des variables ; en remarquant que si on les choisit au mieux dans chaque cas, les diverses échelles ne sont cependant pas pratiquement tout à fait indépendantes les unes des autres.

1° $C = \frac{1}{2} \log G$. — Il est nécessaire de faire varier la surface de grille G de 1 mètre carré à 8 ou 9 mètres carrés. La différence des valeurs extrêmes de $\log G$ est donc approximativement ; 1,00000, soit pour $C = \frac{1}{2} \log G = 0,50.000$.

On voit donc que l'échelle de valeur ronde la plus grande qu'on puisse prendre est $l_c = 4\lambda$. Dans ces conditions, la graduation a une longueur totale de 500 millimètres. En fait, la mise en place de la graduation nous a conduit à ne la commencer qu'à $1^m 2,20$, de sorte que nous avons pu la pousser jusqu'à 12 mètres carrés ;

2° $D = \frac{1}{2} \log p$. — La pression p de 6 à 30 Hpz,

ce qui correspond pour les logarithmes à une différence de 0,69897 ; soit pour $D = \frac{1}{2} \log p$, à : 0,34949. Nous prenons encore pour échelle $l_D = 4\lambda$, la graduation aura alors une longueur de 349^{mm},5 ;

3° $E = \frac{1}{2} \log Cr$. — Nous faisons varier Cr à partir de 50 mètres carrés ; le choix de l'échelle $l_E = 4\lambda$, nous conduit donc à poursuivre la graduation jusqu'à 500 mètres carrés, bien que cette dernière valeur soit très supérieure au maximum actuel de Cr ;

4° $A = \log P$. — Nous avons déterminé les valeurs extrêmes de P résultant de celles qui ont été adoptées pour les autres variables (en choisissant la valeur convenable du coefficient k). Nous en avons déduit que la graduation de P devait s'étendre approximativement de 600 à 6.000 CV. L'échelle la plus grande qu'on puisse prendre pour $A = \log P$ est donc $l_A = 2\lambda$, ce qui donne à la graduation une longueur totale de 500 millimètres.

On voit qu'en opérant ainsi, la lecture de la puissance cherchée se fera sur une graduation dont l'échelle est double de celle de la règle à calcul ordinaire, ce qui permettra une précision tout à fait satisfaisante.

5° $B = \log k$. — Le coefficient k varie par unités de 18 à 25. Il ne prend donc qu'un très petit nombre de valeurs. La variation totale correspondante pour $B \log k$ est : 0,14267.

Comme nous supposons, pour l'établissement du nomogramme, que k est l'inconnue, nous ne pouvons nous donner *a priori* son échelle qui est déterminée par le choix des autres, ainsi que nous le verrons plus loin.

Première construction. — Pour exprimer que le coefficient k est pris pour inconnue, écrivons l'équation ainsi :

$$A - D - (C + E) = B.$$

Posons alors :

$$A - D = X$$

$$C + E = Y$$

et effectuons d'abord l'opération partielle :

$$C + E = Y.$$

Rappelons que les variables C et E sont toutes deux représentées à l'échelle 4λ .

Figurons schématiquement les axes portant les graduations C et E ; soient O_1 et O_2 leurs origines. Traçons

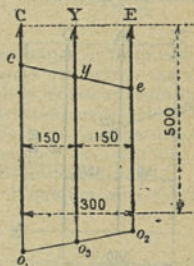


FIG. 1.

un axe Y parallèle au milieu de l'intervalle qui les sépare. Soit O_3 son intersection avec la droite O_1O_2 .

On voit que si on joint un point quelconque c de l'axe C à un point quelconque e de l'axe E et si on appelle y le point d'intersection de ce avec l'axe Y, on a l'égalité géométrique :

$$o_1c + o_2e = 2 o_3y.$$

Il suffit donc d'affecter à l'axe Y une échelle moitié des deux autres, soit 2λ , pour qu'on obtienne en O_3y , la somme :

$$Y = C + E.$$

Nous avons figuré les origines des axes pour plus de commodité dans le raisonnement. Mais pratiquement on dispose les échelles composantes au mieux dans le cadre, et à l'aide d'une opération simple, on fixe par alignement la position d'un point de l'échelle résultante. De plus, dans le cas présent, comme il est indifférent de connaître le résultat de cette opération partielle, nous n'avons pas gradué l'échelle Y.

Il nous reste à indiquer comment est déterminé l'intervalle séparant les deux graduations C et E. Il doit être assez grand pour qu'en joignant le haut d'une graduation au bas de l'autre, on obtienne une droite qui ne fasse pas un angle trop faible avec la verticale. Nous avons choisi 30° comme valeur limite ; et nous avons placé les deux graduations à 300 millimètres l'une de l'autre. Il est d'ailleurs à remarquer qu'en l'espèce cet intervalle est largement suffisant, car on n'aura jamais à faire l'opération indiquée plus haut, les variations de la surface de grille et de la surface de chauffe étant de même sens.

Deuxième construction. — Il faut maintenant effectuer la soustraction :

$$A - D = X.$$

Cette égalité peut s'écrire :

$$A = D + X.$$

Sous cette forme elle exprime que A est la somme de D et X. Or D est représenté à l'échelle 4λ ; tandis que A est représenté à l'échelle moitié 2λ . Par conséquent, d'après ce que nous venons de voir au paragraphe précédent, l'inconnue X est représentée à l'échelle 4λ ; de plus, la graduation A est au milieu de l'intervalle séparant D et X. Pour construire une différence X, on joindra un point d de la graduation D, à un point a de la graduation A.

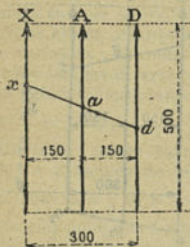


FIG. 2.

Comme dans le cas précédent, il est inutile de s'occuper des ori-

gines des différentes graduations. La mise en place de la graduation X peut être faite par un alignement. Il importe peu de connaître la valeur de X, et nous n'avons pas gradué son échelle. Enfin, nous avons placé les deux échelles X et D à 300 millimètres.

Troisième construction. — Il faut maintenant construire :

$$X - Y = B.$$

Nous pouvons écrire cette égalité de la façon suivante :

$$X - B = Y.$$

La grandeur X est mesurée à l'échelle 4λ ; la grandeur Y à l'échelle 2λ . Nous allons voir que si nous mesurons la grandeur B à l'échelle -4λ , c'est-à-dire si nous reportons les différentes valeurs de B à l'échelle 4λ sur un axe orienté en sens inverse de tous les autres, nous pouvons réaliser l'opération exprimée par la deuxième égalité. En effet, plaçons les échelles X et Y des deux derniers paragraphes, à un intervalle de 150 millimètres, et traçons un axe B symétrique de X par rapport à Y. Orientons-le de haut en bas. Si nous joignons un point x de X à un point b de B, nous obtenons à l'intersection de Y et de bx , un point y ; et étant données les échelles adoptées, nous avons bien :

$$X + (-B) = Y.$$

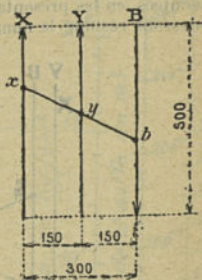


FIG. 3.

Il nous suffit pour situer en hauteur la graduation de B sur son axe, de faire un exemple avec des valeurs simples des autres variables, d'en déduire la valeur correspondante de B et d'inscrire cette valeur comme cote du point b , trouvé par la construction précédente. A partir de cette valeur, nous construisons à l'échelle 4λ la portion utile de la graduation de B, comme elle a été indiquée, en ayant bien soin de remarquer que le sens positif est la verticale descendante.

REMARQUE. — Si nous avons conservé l'équation sous sa forme primitive :

$$A = B + C + D + E,$$

il ne nous serait probablement pas venu, *a priori*, à l'idée d'employer pour une des variables du deuxième membre une échelle négative.

Ainsi qu'on l'a vu plus haut, chaque addition partielle diminue l'échelle (de moitié quand les deux échelles composantes sont égales). Le résultat final A, somme de deux additions partielles de deux

termes, aurait donc été obtenu, comme nous nous en sommes assurés, à une échelle trop petite pour avoir une précision satisfaisante. La façon dont nous avons opéré possède l'avantage de donner la puissance P à l'échelle la plus grande, compatible, dans le cadre choisi, avec ses limites de variation; et aussi, de conserver à la graduation P le sens des graduations relatives aux éléments principaux de la machine; ce qui est naturel, puisque les variations de la puissance P sont de même sens que celles du timbre p , de la surface de grille G , et de la surface de chauffe réduite Cr .

Tracés à exécuter pour obtenir la puissance. — Nous venons d'exposer les différentes constructions partielles que nous avons exécutées, en les présentant isolément pour plus de clarté. Le schéma ci-dessous résume le nomogramme ainsi obtenu en définitive.

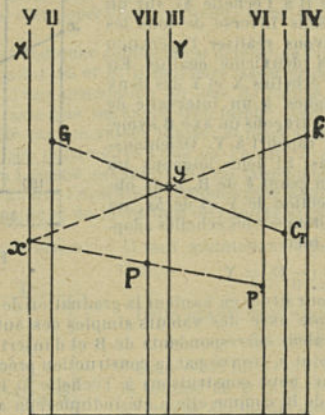


FIG. 4.

Voici de quelle façon on l'emploiera. On connaît pour la machine étudiée la pression p^1 , la surface de grille G , et on peut calculer à

¹ L'échelle des pressions peut donner la correspondance entre les kg/cm^2 et les hpz .

l'aide des données du diagramme la surface de chauffe réduite Cr .

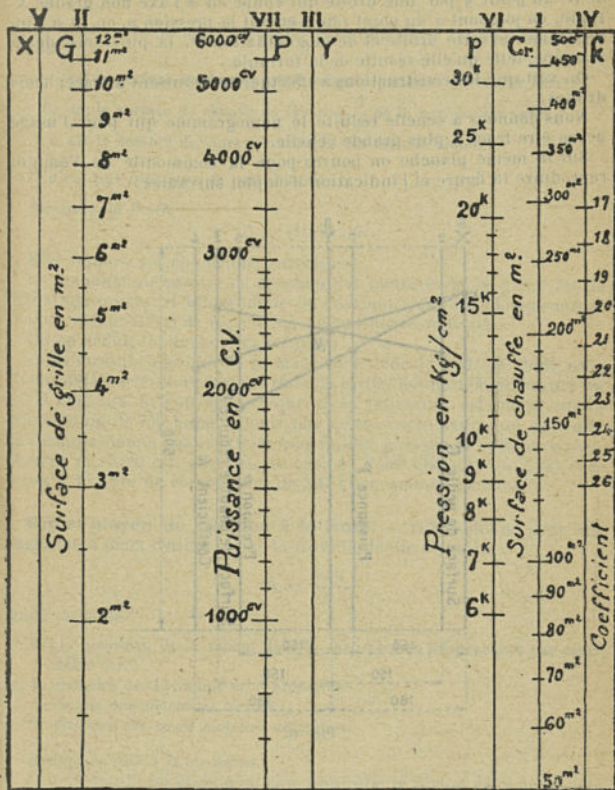


FIG. 5.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On joindra les points représentant les valeurs de G et Cr par une

droite qui coupe en y l'axe non gradué Y. On joindra le point figuratif de K, au point y par une droite qui coupe en x l'axe non gradué X. Enfin, en joignant x au point représentant la pression p , on lit à l'intersection de cette droite et de la graduation P, la puissance de la machine, telle qu'elle résulte de la formule.

On voit que les constructions à effectuer se réduisent à tracer trois droites.

Nous donnons à échelle réduite le nomogramme qui pour l'usage devra être tracé à plus grande échelle.

Sur la même planche on pourra pour la commodité de l'emploi reproduire la figure et l'indication d'emploi suivantes :

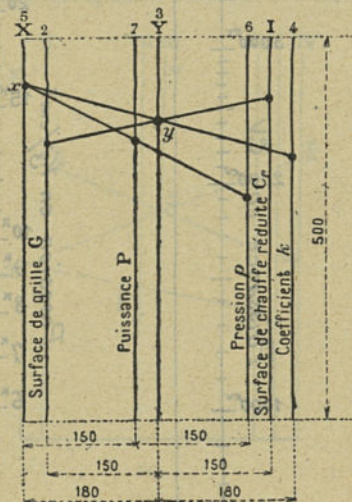


FIG. 6.

Usage. — Prendre le point d'intersection y de GCr avec l'axe 3 ; prendre le point d'intersection X de yk avec l'axe 5 ;

Lire la puissance P à l'intersection de xp avec l'axe 7 et sur cet axe.

Formule de Sivoboda. — Cette formule tient compte de la vitesse.

$$P = \left(7 + \frac{C - 10}{40} \right) \sqrt{CrG (n + 3)}.$$

Les lettres ont la même signification que dans la formule précédente ;

C est la surface de chauffe totale baignée par l'eau en mètres carrés ;

Cr est la surface de chauffe du foyer + $\frac{1}{3}$ de la surface des tubes ;

n est le nombre de tours par seconde des essieux moteurs.

Il n'est pas question de surchauffe.

Formule du P.-O.

$$P = 416,76 \cdot G.$$

Elle suppose les conditions suivantes :

La combustion horaire de charbon par mètre carré de grille est de 750 kilogrammes ; 1 kilogramme de charbon vaporise 6 kilogrammes d'eau : il faut 10^{kg},8 de vapeur par cheval-heure indiqué.

On en déduit facilement la formule.

Cette formule appliquée à la machine Pacific du P.-L.-M. dont nous avons déjà parlé, de 4^m,25 de surface de grille, donne une puissance de 1.771 chevaux. Si l'on observe que cette puissance est basée sur la combustion de 750 kilogrammes par mètre carré heure, on voit que la formule donne des résultats trop faibles puisque la puissance réellement mesurée est, suivant les cas, de 2.089 chevaux ou 2.255 chevaux à l'allure de combustion de 500 kilogrammes seulement.

Effort moyen de traction à la jante. — Il est donné pour une machine à deux cylindres par la formule facile à établir :

$$R = \frac{pd^2l}{D}$$

dans laquelle

p est la pression de la vapeur dans la chaudière en kilogrammes par centimètre carré ;

d, le diamètre des cylindres en centimètres ;

l, la course des pistons en mètres ;

D, le diamètre des roues motrices en mètres.

Réduction due à la pression.

Cette formule est établie en comptant que le piston est soumis à la pression p de la vapeur dans la chaudière et cela pendant toute la durée de sa course (admission 100 0/0). Or, la pression moyenne dans les

cylindres est évidemment inférieure à celle de la chaudière, celle-ci doit être frappée d'un coefficient de réduction a , d'où :

$$R = a \frac{pd^2l}{D}$$

Le coefficient a dépend de beaucoup de circonstances ; en particulier il varie avec le degré d'admission dans les cylindres.

En tenant compte de l'effet de l'espace nuisible pendant la détente et de l'augmentation que subit la contre-pression à mesure que l'admission diminue et que, par suite, la compression augmente, on peut admettre pour a les valeurs ci-dessous, suivant les différents crans d'admission :

Admission.	Coefficient a .
0,15	0,34
0,20	0,41
0,25	0,48
0,30	0,54
0,40	0,65
0,50	0,73
0,60	0,79

On admet généralement un coefficient de 0,65 pour a , ce qui, d'après le tableau précédent, suppose, à faible vitesse, une admission de 0,40.

Réduction due à la vitesse. — Ces coefficients, obtenus en supposant une vitesse faible, diminuent d'une manière très sensible par suite de l'accroissement de la vitesse. Il faut, dans ce cas, les multiplier par l'expression :

$$(1 - 0,0045V),$$

où V représente la vitesse en kilomètres à l'heure. Ce coefficient de réduction est le résultat de l'examen d'un grand nombre de diagrammes d'indicateurs relevés à diverses vitesses et au même cran.

Réduction due aux résistances du mécanisme. — Il y a enfin à tenir compte de la résistance des pièces du mécanisme entre le cylindre et le point de contact des roues motrices. On peut admettre que cette résistance est égale à environ 0,04 de l'effort réel sur les pistons.

En fin de compte :

$$R = \frac{0,96a(1 - 0,0045V)pd^2l}{D}$$

Il faut prendre garde que la simple indication dans les revues d'un effort de traction ne signifie pas grand-chose si l'on ne dit pas avec quelle formule il a été calculé, et dans quelles conditions de rampes, de vitesse il faut l'entendre.

Pour les locomotives compound à 4 cylindres l'effort se calcule par :

$$R = \frac{(p - p_1) d^2 l + p_1 d_1^2 l_1}{D}$$

à laquelle on applique les coefficients de réduction précédents :

p est la pression du timbre ;

p_1 , la pression dans le réservoir intermédiaire qu'on prend fréquemment égale à 6 kilogr. lorsque la chaudière est timbrée à 16 kilogr. ;

dl , s'appliquent aux cylindres HP ;

$d_1 l_1$, — BP.

REMARQUE. — Il ne s'agit là que d'une valeur moyenne, l'effort à la jante variant constamment pendant un tour de roue suivant les positions des manivelles motrices.

Adhérence. — La machine ne peut toutefois développer cet effort tangentiel à la jante que s'il est inférieur au frottement des roues motrices sur le rail qu'on nomme l'adhérence, sans quoi la locomotive patine.

Si P est le poids sur rail de l'ensemble des roues motrices ; f un coefficient de frottement qu'on appelle dans ce cas coefficient d'adhérence, l'adhérence est fP .

Des expériences nombreuses ont prouvé que le coefficient d'adhérence peut varier du simple au triple suivant l'état des rails, on admet généralement les valeurs suivantes :

VALEURS DE f .

Temps très sec.....	1/5 = 0,20
Beau temps.....	1/6 = 0,16
Forte pluie.....	1/7 = 0,14
Temps brumeux, humide.....	1/8 = 0,12
Brouillard ou neige.....	1/9 = 0,11
Rails gras (dans les souterrains).....	1/10 = 0,10
Rails recouverts par la chute des feuilles... ..	1/13 = 0,07

La vitesse influe aussi sur l'adhérence et tend à la diminuer d'une manière sensible.

En pratique et dans les circonstances ordinaires, on compte en moyenne sur une adhérence égale à 0,16 du poids total adhérent.

Valeur du poids adhérent. — Le coefficient d'adhérence réduisant à 160/0 environ du poids adhérent P , l'effort maximum de traction que peut développer la locomotive on cherche à faire P le plus élevé possible, tout en restant dans les limites compatibles avec la dimension des

organes et la résistance de la voie. Cette limite est actuellement en France de 18⁵,5 par essieu.

Lorsqu'il est nécessaire d'avoir un poids adhérent plus élevé que celui donné par une paire de roues, on accouple ensemble deux, trois et même un plus grand nombre de paires de roues. Le poids adhérent se trouve, par suite, doublé, triplé, etc.

Sablières. — Pour augmenter l'adhérence, lorsque les machines tendent à patiner, on projette du sable entre la roue et le rail. A cet effet, un réservoir contenant du sable *sec* et *fin* est installé sur la machine ; des conduits partent du réservoir et laissent écouler le sable sur le rail immédiatement en avant des roues motrices. On emploie aussi des sablières disposées pour laisser s'écouler sur le rail du sable mouillé formant boue ;

Enfin on emploie surtout, avec avantage, des sablières dans lesquelles le sable est projeté sous les roues par un jet de vapeur ou par l'air comprimé.

Grâce au sable, on arrive à porter l'adhérence à 0,25 et même 0,30.

§ 3. — Calcul des charges.

Détermination des charges que peuvent remorquer les machines dans différentes conditions de rampes et de vitesses. — La détermination rigoureuse de ces charges sur un parcours donné nécessaire pour la fixation des horaires ne peut se faire que par l'expérience, le profil de la voie est varié ; des rampes assez raides mais courtes peuvent être franchies, en utilisant la force vive du train, en un mot le problème est très complexe. Nous nous contenterons d'essayer de résoudre le problème suivant. Étant en présence d'une machine donnée déterminer très rapidement et approximativement la charge qu'elle peut remorquer à une vitesse donnée sur une rampe continue d'inclinaison donnée.

Pris par l'autre bout, ce problème peut servir dans la recherche d'un avant-projet de locomotive.

Les formules de résistance au roulement sont suffisamment exactes pour le problème qui nous occupe. Si l'on connaissait la puissance au crochet de traction de la locomotive, le problème serait résolu et cela rapidement, grâce à l'abaque que nous indiquons plus loin, pour calculer ces formules.

Malheureusement la puissance au crochet de la locomotive dépend des conditions d'emploi de celle-ci, rampe et vitesse.

Nous proposons la méthode suivante :

Déterminer la puissance à la jante de la machine. Calculer, à l'aide de formules de résistance de la locomotive, la puissance nécessaire à la remorque de la locomotive seule et du tender, (de poids supposés connus).

On a par différence la puissance au crochet. Tout revient à connaître la puissance à la jante.

Si l'on connaît outre le poids de la machine la surface de grille, la surface de chauffe du foyer et des tubes, la surface de surchauffe, le timbre, on peut se servir de la formule :

$$P = K \sqrt{GpCr}.$$

Toutefois, lorsqu'on se trouve en présence d'une locomotive, on ne connaît pas toujours les surfaces de chauffe du foyer, des tubes, non plus que la surface de surchauffe, mais il est facile de mesurer sa surface de grille. On peut donc opérer ainsi :

Si G est la surface de grille en mètres carrés et A l'allure de combustion, le poids de charbon brûlé par heure est G.A. (A étant en moyenne de 350 kilogrammes et pouvant s'élever facilement à 450 kilogrammes). Le poids de charbon, p, dépensé par cheval-heure indiqué étant un chiffre assez bien connu, la puissance indiquée de la locomotive est $\frac{GA}{p}$; p, varie de 1 kilogramme à 1^{kg},25 pour les locomotives compound à surchauffe, soit 1^{kg},13, en moyenne.

Cette moyenne est de 1^{kg},35 si la machine est simplement ou compound ou à surchauffe; elle est de 1^{kg},57 si la machine n'est à la fois ni compound ni à surchauffe.

On a ainsi la puissance indiquée; il faudrait lui faire subir une réduction pour avoir la puissance à la jante, mais la puissance prise par le mécanisme est assez faible, vraisemblablement inférieure à 10 0/0, les diverses formules de résistance indiquées diffèrent de plus de 10 0/0. Il paraît bien inutile de faire cette réduction, d'autant plus qu'un certain nombre de formules de résistance de la locomotive doivent comprendre la résistance du mécanisme.

En résumé, connaissant la surface de grille de la machine et son poids, calculer la puissance indiquée $\frac{GA}{p}$. Déterminer à l'aide de l'abaque ci-dessous la puissance nécessaire pour la remorque de la machine et du tender dans les conditions de rampe et de vitesse données, par différence on a la puissance au crochet; on détermine par le même abaque la charge qu'elle permet de remorquer.

Nomogramme pour déterminer rapidement la charge que peut remorquer une locomotive à une vitesse et sur une rampe données.

Nous indiquons ci-dessous un nomogramme dont l'idée est due à Myron Seiliger; nous en donnons de plus la théorie qu'il n'avait pas exposée, ce qui permet de construire les nomogrammes pour toutes les applications.

I. Appelons P_c la puissance en chevaux au crochet de traction de la locomotive (locomotive-tender) ou du tender, *par tonne de charge remorquée*.

Soit :

V la vitesse en km/h. ;

E_c l'effort de traction au crochet en kg. par tonne de charge remorquée.

On a entre ces quantités la relation :

$$P_c = \frac{E_c V}{270}$$

D'autre part, l'effort au crochet de traction est celui qui est nécessaire pour vaincre la résistance au roulement du train.

Cet effort à la vitesse V sur la rampe de I millimètres par mètre est donné par une formule de la forme générale :

$$E_c = A + BV^2 + I,$$

on a donc :

$$\frac{270 \cdot P_c}{V} = A + BV^2 + I,$$

relation qui permet de calculer la valeur à donner à P_c pour les conditions données de vitesse et de rampe.

Si P est la puissance au crochet de la locomotive-tender ou du tender, supposée connue, la charge en tonnes que peut remorquer la machine est :

$$T = \frac{P}{P_c}$$

Nomogramme. — Le nomogramme qui évite ces calculs est représenté schématiquement par la figure ci-dessous.

Dans ce qui suit, les lettres minuscules v , par exemple, représentent en millimètres les grandeurs correspondantes V .

Sur Ox , on porte les vitesses à l'échelle γ_1

sur os , les vitesses à l'échelle γ_3 :

$$v_s = \gamma_3 V,$$

sur ot les coefficients $\frac{1}{B}$ à l'échelle γ_4

$$b = \gamma_4 \frac{1}{B}$$

L'échelle $O\omega$ graduée comme nous le dirons plus tard, représente les efforts de traction, à l'échelle ϵ (ϵ est variable avec E_c).

$$e_s = \epsilon E_c.$$

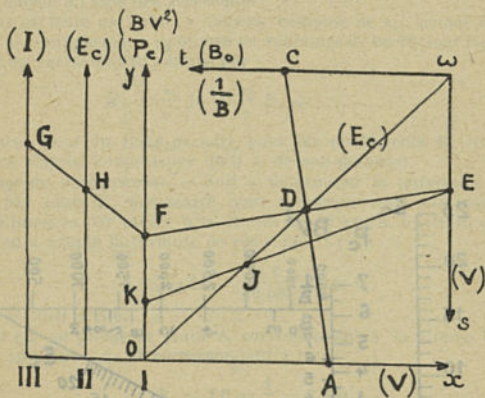


FIG. 7.

L'échelle Oy que nous appellerons échelle I, représente à l'échelle γ_2 les quantités BV^2 .

L'échelle III représente les rampes.

L'échelle II représente les efforts de traction E_c .

Le nomogramme dont ci-joint une réduction est établi pour la valeur de A égale à 2,5. Il faut en faire un pour chaque valeur adoptée pour A ; mais, ceci fait, le nomogramme sert pour toutes les ma-

chines, vitesses, rampes et tous les coefficients B de la formule de résistance au roulement.

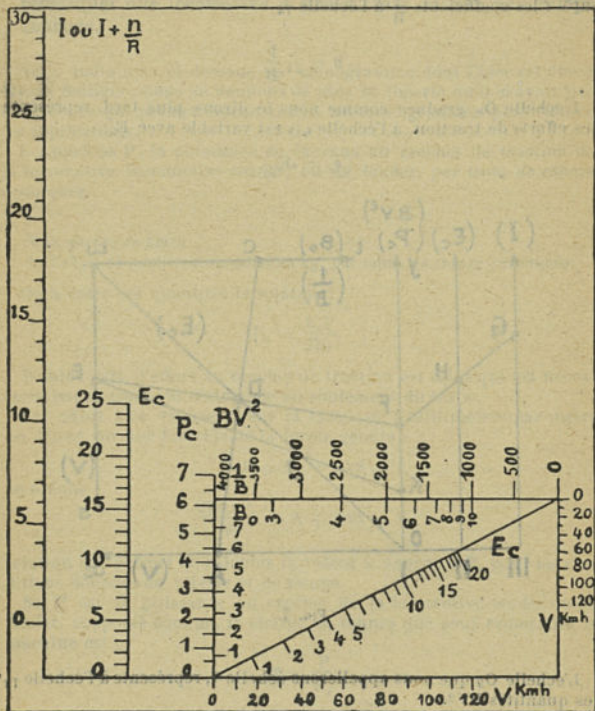


FIG. 8.

Coefficients usuels. — Le coefficient B de la formule de résis-

tance :

$$E_c = A + BV^2 + I,$$

dépend de la composition du train ; A est presque toujours pris égal à 2,5.

Le tableau ci-après donne les valeurs $B_0 = 10^4 \cdot B$.

Voitures de trains rapides et wagons à bogies chargés	$B_0 = 2,5$
Voitures à bogies.....	$= 3,0$
Voitures ou wagons, non à bogies, chargés.....	$= 4,0$
Wagons non à bogies, vides.....	$= 10,0$
Locomotives froides.....	$= 6,5$
Locomotives en action.....	$= 7,5$

Pour un train de composition panachée, on peut établir un coefficient moyen à l'aide des précédents :

Pour un train de poids π tonnes, composé de π_1 tonnes de véhicules de coefficient B_1 , π_2 tonnes de véhicules de coefficient B_2 , ..., on prend un coefficient B'_0 donné par :

$$B'_0 = \frac{\pi_1}{\pi} B_1 + \frac{\pi_2}{\pi} B_2 + \dots$$

Chacun peut du reste prendre pour les coefficients B, ceux qu'il préfère d'après l'expérience qu'il a de son matériel.

Usage du nomogramme. — Soit à déterminer la puissance au crochet par tonne P_c nécessaire pour remorquer sur une rampe de 10 millimètres par mètre à la vitesse de 60 km/h. un train pour lequel on a adopté la formule de résistance :

$$E_c = 2,5 + \frac{3,6}{10.000} V^2 + I.$$

$$B_0 = 10^4 B = 3,6.$$

Sur Ox on prend le point A correspondant à la vitesse V, on le joint au point C de ct correspondant à :

$$B_0 = 3,6 \text{ ou } \frac{1}{B} = 2.800.$$

AC coupe O_∞ en D.

Sur os on prend E correspondant à la vitesse V.

DE rencontre Oy en un point F qui donne la valeur de BV^2 , mais on n'a pas besoin de la connaître explicitement.

On joint F au point G de l'échelle III correspondant à la rampe indiquée I. Au point de rencontre H, de FG avec l'échelle II on lit la valeur de l'effort de traction E_c .

On prend sur O_∞ le point J correspondant à cette valeur. On joint EJ qui rencontre en K l'échelle Oy , donnant la puissance cherchée P_c .

L'échelle I porte en effet deux graduations : celle de BV^2 et celle de P_c .

En tout, quatre droites à tracer.

Construction des échelles et justification. — D'après les constructions déjà indiquées pour les échelles, on a :

$$x = \gamma_1 V$$

$$s = \gamma_3 V$$

$$t = \gamma_4 \frac{1}{B}$$

x , s , t , représentant des millimètres.

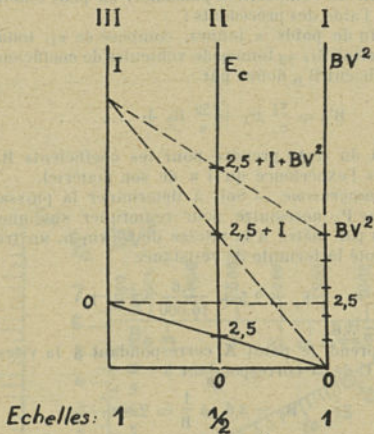


FIG. 9.

De triangles semblables, on tire :

$$\frac{DO}{D_m} = \frac{x}{t} = \frac{y}{s},$$

d'où :

$$y = \frac{sx}{t} = \frac{\gamma_1 \gamma_3}{\gamma_4} BV^2.$$

En appliquant sur Oy une graduation à l'échelle

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_1 \gamma_3}{\gamma_4},$$

elle représentera BV^2 .

Les échelles I, II, III sont équidistantes.

Les graduations de III, des valeurs de la pente sont à la même échelle γ_2 que celles de BV^2 sur Oy et commencent au niveau du point 2,5 de l'échelle des BV^2 sur Oy .

Les graduations des valeurs de E_c sur l'axe II sont à l'échelle moitié des précédentes et commencent au niveau de O.

On voit facilement sur la figure ci-contre qu'on lit sur la graduation de l'axe II les valeurs :

$$E_c = 2,5 + I + BV^2.$$

Graduation de l'échelle oblique des efforts O_ω . — On a à résoudre géométriquement l'équation :

$$\frac{P_c}{V} = \frac{E_c}{270},$$

rappelons qu'on prend sur O_ω le point J correspondant à E_c ; sur os le point E correspondant à V et qu'on doit lire en K sur Oy , la valeur de P_c .

Soit L millimètres la longueur de la diagonale O_ω , on a également en millimètres :

$$eE = v = \gamma_3 V.$$

On a choisi arbitrairement l'échelle γ_6 des puissances, et l'on a

$$OK = p_c = \gamma_6 P_c = \gamma_6 \frac{E_c \cdot V}{270}.$$

Soit ε l'échelle à déterminer de la graduation O_ω des efforts pour la valeur particulière E_c de l'effort au crochet

$$OJ = e_c = \varepsilon E_c = \varepsilon \cdot 270 \frac{P_c}{V}.$$

Dans les triangles semblables, on a :

$$\frac{p_c}{v} = \frac{e_c}{L - e_c} \quad \text{d'où} \quad e_c = L \frac{p_c}{v + p_c},$$

ce qui donne :

$$\varepsilon E_c = \frac{L}{270} \cdot \frac{\gamma_6 E_c \cdot V}{\frac{E_c V}{V}} = \frac{L}{270} \cdot \frac{\gamma_6 \cdot E_c}{1 + \frac{\gamma_6 E_c}{270}}$$

et enfin :

$$\varepsilon = \frac{L}{270} \cdot \frac{\gamma_6}{\gamma_3 + \frac{\gamma_6 \cdot E_c}{270}}$$

qui donne l'échelle à employer sur la diagonale pour reporter chaque valeur de l'effort de traction E_c .

On porte en millimètres sur O_m à partir de O les longueurs :

$$e_c = \varepsilon E_c = \frac{L}{270} \cdot \frac{\gamma_6 \cdot E_c}{\gamma_3 + \frac{\gamma_6 E_c}{270}}$$

et l'on y inscrit la cote E_c .

Ces divisions ne sont évidemment pas équidistantes.

On simplifie les calculs en prenant pour la longueur L , un nombre de millimètres multiple ou sous-multiple simple de 270.

Courbes. — Les formules de résistance au roulement tiennent parfois compte de la résistance due aux courbes,

Cette dernière résistance est exprimée en kilogrammes par tonne de train par une formule de la forme $\frac{C}{R}$ dans laquelle C est un nombre et R le rayon de la courbe en mètres.

Pour la voie normale on prend en général C égal à 750 la formule complète de résistance au roulement est :

$$A + BV^2 + I + \frac{750}{R}$$

L'abaque précédent donne la somme des trois premiers termes. Il serait facile de lui adjoindre à la gauche un abaque d'addition donnant la somme des quatre termes, mais il est plus facile encore de calculer directement $\frac{750}{R}$ et de prendre sur l'échelle III la valeur

$$I + \frac{750}{R}$$

REMARQUES. — 1° Les constructions que nous indiquons sont rigoureusement exactes, la seule difficulté est de trouver les coefficients qui conviennent à un matériel donné.

Si les coefficients que nous avons indiqués donnent des résultats qui ne cadrent pas avec l'expérience, l'application du nomogramme à ces résultats connus permettra facilement de déterminer les coefficients convenables pour le matériel en question.

2° Le nomogramme représenté résout la formule :

$$\frac{270 P_e}{V} = 2,5 + BV^2 + I + \frac{n}{R}$$

Il serait, comme nous l'avons dit, nécessaire d'en construire un pour toute valeur du terme constant A différente de 2,5.

Mais on peut construire un nomogramme valable pour toutes les valeurs de ce terme constant en plaçant le zéro de l'échelle III sur l'axe Ox des vitesses, à condition de prendre sur cette échelle III la valeur, calculée à l'avance $A + I + \frac{n}{R}$.

§ 4. — Types de locomotives.

Types de locomotive. — Ce qui caractérise principalement une locomotive c'est son poids adhérent, dont on a immédiatement une idée assez précise par le nombre des essieux accouplés ; c'est donc ce nombre qu'on choisira pour caractériser un type de locomotive, on le fera précéder d'un chiffre indiquant le nombre des essieux qui précèdent les essieux couplés : 1 pour un bissel, 2 pour un bogie et on le fera suivre d'un chiffre indiquant le nombre des essieux porteurs qui suivent les essieux couplés : (Voir le tableau page suivante). C'est ce système qui se généralise actuellement en France ainsi qu'à l'étranger. On peut imaginer des symboles plus compliqués qui donnent des renseignements complémentaires : vapeur saturée ou surchauffée, simple expansion ou compound, réchauffage de l'eau d'alimentation, etc. On peut se demander si l'inconvénient qui en résulte : celui de compliquer le symbole, ne compense pas l'avantage qu'on en attend. L'usage s'est répandu également de désigner un type de locomotive par un seul nom. Cette mode nous vient d'Amérique. C'est la classification de Whyte universellement comprise actuellement.

Le tableau suivant indique les deux systèmes de notation ¹.

¹ Voir G. A., 1^{er} septembre 1927, un exposé des différentes notations.

Désignation des types de locomotives.

Schémas de la disposition des essieux	Noms usuels (Classification de Whyte)	Symboles.
/ o o O o	Single Driver	2-1-1
/ _____ O O	Four Wheel Switcher	0-2-0
/ _____ O O o		0-2-1
/ _____ O O o o	Furney Four Coupled	0-2-2
/ _____ o O O		1-2-0
/ _____ o O O o	Columbia	1-2-1
/ _____ o O O o o		1-2-2
/ _____ o O O o o o		1-2-3
/ o o O O	American	2-2-0
/ o o O O o	Atlantic	2-2-1
/ o o O O o o	Reading	2-2-2
/ _____ O O O	Bourbonnais	0-3-0
/ _____ O O O o		0-3-1
/ _____ O O O o o	Furney Six Coupled	0-3-2
/ _____ o O O O	Mogul	1-3-0
/ _____ o O O O o	Prairie	1-3-1
/ _____ o O O O o o		1-3-2
/ o o O O O	Ten Wheel	2-3-0
/ o o O O O o	Pacific	2-3-1
/ o o O O O o o	Baltic ou Hudson	2-3-2
/ _____ O O O O	Eight Wheel Switcher	0-4-0
/ _____ O O O O o		0-4-1
/ _____ o O O O O	Consolidation	1-4-0
/ _____ o O O O O o	Mikado	1-4-1

Schémas de la disposition des essieux	Noms usuels (Classification de Whyte)	Symboles.
		1-4-2
	Twelve Wheel	2-4-0
	Mountain	2-4-1
		2-4-2
	Ten Wheel Switcher	0-5-0
	Decapode	1-5-0
	Santa Fé	1-5-1
	Mastodont	2-5-0
	Super Mountain	2-5-1
	Centipède	1-6-0
		2-6-1

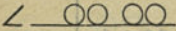
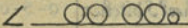
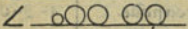
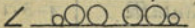
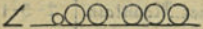
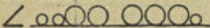
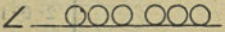
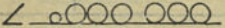
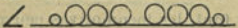
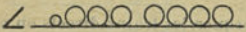
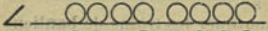
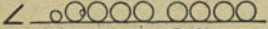
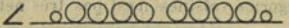
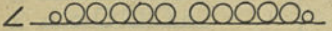

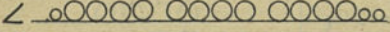
En ce qui concerne le service qu'elles font, les locomotives peuvent se diviser en grandes catégories :

- 1° Les locomotives à grande vitesse ;
- 2° Les locomotives destinées à remorquer les trains directs ou omnibus, ou les trains divers sur des sections de ligne à forte rampe ;
- 3° Les locomotives à marchandises ;
- 4° Les locomotives destinées à remorquer les trains de banlieue ;
- 5° Les locomotives de manœuvre.

La distinction entre deux catégories voisines n'est pas très nette.

Désignation des types de locomotives.

Locomotives articulées.

Schémas de la disposition des essieux.	Symboles français.
	0-2+2-0
	0-2+2-1
	1-2+2-0
	1-2+2-1
	1-2+3-0
	2-2+3-1
	0-3+3-0
	1-3+3-0
	1-3+3-1
	1-3+4-0
	0-4+4-0
	1-4+4-0
	1-4+4-1
	1-5+5-1
	1-4+4+4-1
	1-4+4+4-2

CHAPITRE VIII

LOCOMOTIVE A VAPEUR

§ 1. — Dimensions courantes principales d'une locomotive.

Diamètre des roues. — Ayant déterminé, pour l'effort moteur à développer, le nombre d'essieux accouplés nécessaires, on détermine le diamètre des roues motrices par la vitesse maxima pour laquelle la locomotive est établie. On admet, en général, un maximum de 5,5 tours par seconde afin de ne pas trop apporter de perturbation dans la distribution de la vapeur, et d'éviter de donner aux pièces du mécanisme de trop grandes vitesses. Cette condition s'applique aux machines à tiroirs à mouvement alternatif mues par des distributions à coulisses. Il est vraisemblable qu'on pourrait augmenter cette vitesse avec des distributions à soupapes. Bien qu'on ait été en Angleterre jusqu'à un diamètre de 2^m,50, on ne dépasse pas 2 mètres et on ne descend guère au-dessous de 1^m,400, sauf les cas spéciaux (machines de manœuvre).

Pression de la vapeur. — On a choisi *a priori* le timbre de la chaudière *p*. Peu de locomotives modernes sont timbrées au-dessous de 12 kilogrammes, les locomotives à simple expansion sont couramment timbrées à 14 kilogrammes, les locomotives compound à 16 kilogrammes. Avec les chaudières du type de construction courante on essaie des pressions de 20 kilogrammes et plus (Voir Chaudières à haute pression).

Le diamètre des roues et le timbre de la chaudière étant choisis, la formule qui donne l'effort de traction détermine le produit d^2l caractéristique des cylindres.

Course des pistons, *l*. — Théoriquement la seule considération qui limite la course du piston est la nécessité de ne pas faire rentrer la grosse tête de bielle dans le gabarit lorsque le bouton de manivelle est à sa position la plus basse, on aura donc de petites courses avec de petites roues. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1, à 0^m,72 (0^m,81 en Amérique).

Longueur des bielles. — On admet que la longueur de bielle doit être au moins cinq fois et demie la demi-course du piston.

Diamètre des cylindres, d . — Ayant choisi l , la valeur du produit d^2l donne le diamètre du cylindre d . Il est en général compris entre 0^m,35 et 0^m,60 pour les machines à simple expansion (0^m,77 en Amérique) ; il s'élève à 0^m,68 et 0^m,72 (1^m,04 en Amérique) pour les cylindres BP des machines compound. Les cylindres seront d'autant plus gros que la course du piston et les roues sont plus petites. On est limité par l'écartement des longerons pour les cylindres intérieurs, par le gabarit pour les cylindres extérieurs.

Chaudière. — Connaissant les dimensions des cylindres, le nombre de tours de roues par seconde, on peut calculer la dépense horaire de vapeur, en se fixant un degré d'admission qui soit économique. De cette dépense de vapeur on déduit la combustion horaire totale de charbon et par suite la surface de grille G en admettant une allure de combustion normale de 300-400 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure.

La connaissance de la surface de grille détermine à peu près les dimensions et le poids de la chaudière.

On obtient plus rapidement ce résultat en calculant la puissance indiquée, demandée à la locomotive, et sachant qu'il faut 1^{kg},3 à 1^{kg},4 de charbon à 6.500 calories par cheval-heure indiqué, on a ainsi la combustion totale horaire, d'où la surface de grille.

..

On se rend facilement compte qu'on ne peut établir un projet de locomotive d'une façon aussi simple. En pratique, on opère comme nous le montrerons plus loin sur un exemple.

§ 2. — Essais des locomotives.

Aucune théorie physique, quelque simple qu'elle soit, ne saurait se passer du contrôle de l'expérience. Il faudrait donc essayer et le plus minutieusement possible toute locomotive nouvelle.

Jusqu'à ces derniers temps on a uniquement essayé les locomotives en ligne en leur faisant remorquer soit des trains du service normal, soit, ce qui est mieux, des trains spéciaux à charge croissante et à vitesses données.

Un wagon-tender était tiré par le tender et le train remorqué.

Méthode d'essai Czczott ¹. — Un des grands inconvénients d'un tel essai en ligne est qu'on ne peut opérer à puissance constante en raison de la diversité du profil en long. Il est nécessaire, pour éliminer les erreurs de mesure du combustible au début et à la fin de l'essai de faire durer ce dernier pendant un temps assez long : une ou deux heures au minimum. Pour l'essai en ligne, il faudrait trouver une voie en ligne droite et en palier ou en rampe constante sur laquelle on puisse remorquer un train pendant deux heures, à vitesse constante. Une telle voie n'existe pas.

Pour éliminer l'influence du profil, le professeur polonais Czczott a employé la méthode suivante.

Le train d'essai est constitué de la façon suivante :

La locomotive à essayer, un wagon-dynamomètre, une rame de wagons, une seconde locomotive dite régulatrice.

On marche avec la locomotive à essayer à ouverture du régulateur constante, cran d'admission constant, réglage de l'échappement constant, c'est-à-dire à *puissance indiquée constante*. Le rôle de la locomotive régulatrice est de régler la vitesse à une valeur constante malgré les variations du profil. Sur les pentes on freine la régulatrice en même temps qu'un certain nombre de wagons, sur les rampes, la régulatrice ajoute son effort à celui de la machine d'essai ; elle fournit l'effort supplémentaire nécessaire pour l'élévation sur la rampe, de la locomotive d'essai et du train.

Méthode d'essai allemande. — Les chemins de fer allemands ont imaginé de supprimer la rame d'essai et de remplacer sa résistance par celle de la locomotive régulatrice marchant à contre-vapeur. En réalité, pour remédier à certains inconvénients présentés par la contre-vapeur, la locomotive régulatrice est freinée par un frein à contre-pression d'air.

Observations. — Ces méthodes polonaise et allemande ne sont pas exemptes de critique au point de vue pratique.

La manœuvre de la machine régulatrice est délicate et on peut compter qu'il faut faire au moins un train préliminaire d'éducation du personnel pour avoir un train d'essai utilisable, c'est-à-dire que le nombre de trains utilisables pour les relevés est seulement la moitié ou le tiers des trains effectués.

La locomotive d'essai ne fonctionne pas à *puissance utile constante* comme sur le banc d'essai mais à puissance indiquée constante. Les résultats obtenus ne sont donc pas directement utilisables mais doivent

¹ Cette méthode, appelée en France Méthode Czczott, aurait été employée par Lomonosoff qui aurait de 1908 à 1916 essayé la plupart des locomotives russes par ce procédé.

être rectifiés pour tenir compte de la puissance absorbée par la machine d'essai pour son élévation sur les rampes, d'où cause d'erreurs.

En France, actuellement, la méthode Czeczott est très employée par le réseau de l'Est. Le P.-L.-M. l'emploie également.

Banc d'essais de locomotives. — Les expériences faites jusqu'à ce jour sur les locomotives par les réseaux, les ont amenés à la conviction que seuls des essais effectués au point fixe dans un laboratoire peuvent permettre d'obtenir des résultats rigoureusement comparables et d'effectuer des mesures de précision suffisante.

En effet, en essayant la locomotive en tête d'un train, les résultats peuvent être faussés, malgré toutes les précautions prises, par des causes variables d'un jour à l'autre : variation de l'état atmosphérique, arrêts imprévus à des signaux fermés, difficulté due à l'irrégularité du profil, etc. L'influence de ces circonstances sur lesquelles on n'a que peu ou pas d'action est telle que, pratiquement, il est presque impossible de mettre en évidence, d'une façon sûre, des différences de consommation inférieures à 10 0/0 environ.

Il existe cependant un grand nombre de dispositifs qu'il serait intéressant d'employer si leur économie atteignait 4 à 5 0/0 seulement.

Dans un laboratoire on a cet avantage inappréciable de pouvoir, au cours des essais, ne faire varier qu'une seule des données à la fois et d'opérer toutes autres circonstances égales, c'est-à-dire dans les conditions nécessaires à l'application de la méthode scientifique expérimentale. En outre, certains essais concernant le mécanisme de la locomotive, les vibrations des pièces, en particulier, n'ont jamais pu être entrepris sur voies et seraient intéressants à exécuter aux vitesses normales et même à des vitesses élevées (140 à 150 km/h) que l'on ne peut réaliser sur la ligne.

De tous les moteurs, les locomotives sont actuellement les seules qui ne fassent pas l'objet d'essais au banc.

Les essais au banc seront moins coûteux que les essais sur voies, ils n'apporteront aucune gêne dans le trafic courant et pourront être poursuivis en toute saison, de jour ou de nuit, dans les mêmes conditions d'exactitude ; on accélérera singulièrement ainsi l'obtention des résultats.

En conséquence l'O. C. E. M. a proposé dès 1920 et étudié un projet d'établissement d'un banc d'essais et le fait actuellement construire.

Le principe du fonctionnement du banc d'essai est le suivant : la locomotive montée sur des rouleaux munis de freins exerce son effort de traction sur un dynamomètre attaché à un point fixe. La puissance développée par la locomotive est dissipée par les freins ; elle est, d'autre part, mesurée à chaque instant par le produit de l'effort sur le dynamomètre par la vitesse à la périphérie des roues. En fai-

sant varier le freinage des rouleaux, on peut essayer la locomotive à toutes les vitesses et toutes les puissances désirables.

Les rouleaux destinés à supporter la locomotive sont constitués comme de très robustes essieux de locomotive, dont les bandages auraient la forme de la partie supérieure du profil d'un rail; ils sont montés dans des paliers reposant sur un double banc rigide ancré dans la maçonnerie du radier; les paliers peuvent être disposés sur ce banc dans les positions correspondantes aux essieux de toutes locomotives à essayer.

Il y a huit rouleaux, chaque essieu de la locomotive repose sur l'un d'eux. Chaque rouleau supportant un essieu moteur est accouplé en bout d'arbre avec un frein hydraulique reposant également sur banc rigide.

On dispose la locomotive sur les rouleaux, (après avoir espacé convenablement ces derniers), à l'aide d'une plateforme élévatoire. Cette plateforme est constituée par deux poutres longitudinales présentant chacune une ornière dans laquelle viennent rouler les boudins des roues de la locomotive. Ces poutres sont solidement entretoisées entre elles. La plateforme, mobile verticalement d'environ 50 millimètres, repose sur des appareils de soulèvement qui reposent eux-mêmes sur les paliers des rouleaux ou sur des supports spéciaux.

Pour placer la locomotive en position d'essai, on monte la plateforme à la position supérieure, on refoule la locomotive sur la plateforme, les boudins de ses roues roulant dans les ornières et ses bandages passant au-dessus de la partie supérieure des rouleaux; lorsqu'elle est arrivée en position convenable on descend la plateforme, les bandages s'appuient sur les rouleaux et les boudins abandonnent les ornières. Les mouvements d'élévation de la plateforme, de déplacement des rouleaux et des freins ont lieu mécaniquement.

Le dynamomètre hydraulique est ancré à un poutrage solidement fixé dans les assises du banc d'essai. Ses indications sont transmises à une table dynamométrique analogue à celle des wagons-dynamomètres sur laquelle s'inscrivent; l'effort de traction, la vitesse virtuelle de la locomotive, le travail au crochet, la puissance instantanée, les temps, etc.

Divers dispositifs de sécurité sont prévus en cas de rupture d'une des pièces du dynamomètre. L'installation est complétée par une série d'appareils pour les mesures du charbon, de l'eau, des températures, etc.

Des ponts roulants desservent la salle du banc; au cours des essais, ils servent aux manutentions du charbon et des cendres.

Les fumées sont évacuées par une hotte mobile qu'on peut disposer au-dessus de la cheminée de la locomotive.

Dans un tel établissement on peut procéder à des mesures très précises dans des conditions toujours identiques à elles-mêmes et

qu'on peut faire durer autant qu'on le veut. Le point capital est qu'on peut opérer à puissance utile constante (puissance au crochet de traction).

De tels bancs d'essais existent aux États-Unis, il n'en existe pas encore en Europe.

§ 3. — Étude pratique d'un projet de locomotive.

Établissement du diagramme. — Maintenant que nous avons indiqué sommairement comment on peut établir *a priori* les dimensions principales d'une locomotive, en partant des seules conditions à remplir pour la traction, nous ferons remarquer qu'en pratique, on les établit toujours, en partant d'une locomotive existante.

Du reste toutes les règles et formules que l'on donne parfois pour déterminer les dimensions des différents éléments sont tirées de l'expérience; les appliquer revient donc, sous une forme détournée, à prendre comme modèle une machine hypothétique représentant la moyenne des machines existantes; mieux vaut encore partir d'une machine bien définie, bien établie et bien connue et par conséquent essayée soigneusement.

Réduit à son essence, le problème de l'étude d'une locomotive revient à faire la machine la plus puissante possible avec un poids de métal rigoureusement fixé à l'avance. Ceci n'est possible qu'en proportionnant de la façon la plus judicieuse les différents organes.

Le problème du poids domine toute l'étude, mais comme il se pose dès le début, avant que soient déterminées définitivement les différentes pièces, il faut apprécier à l'avance et d'une façon *très exacte* le poids d'une chaudière, d'un châssis, de dimensions principales données. Ceci ne peut se faire que si l'on connaît très exactement les poids détaillés de locomotives déjà construites, et de même mode de construction.

Nous allons montrer, sur un exemple très récent, comment on peut établir l'avant-projet d'une locomotive.

Le problème se présente de la façon suivante: une locomotive de rapides, Pacific par exemple, à roues de 2 mètres, grille de 4^m,25, la Pacific compound P.-L.-M. remorque sur les différentes rampes des charges, que l'on connaît par la pratique et par des essais méthodiques.

Cette locomotive pèse par essieu couplé, à l'état statique, le maximum de ce que tolère la voie, soit 18^t,5. Si l'on veut une locomotive plus puissante, il faudra lui donner plus d'adhérence et par conséquent passer de trois à quatre essieux couplés; si l'on veut une machine à voyageurs, à bogies, il faudra donc une Mountain type 241 à 18^t,500 par essieu couplé.

Si cette locomotive est spécialement destinée à remorquer des trains sur les *rampes* des grandes lignes, on lui donnera un diamètre de roues un peu plus faible que la Pacific, mais assez grand toutefois pour qu'à 120 kilomètres à l'heure, elle ne tourne pas à plus de 5,5 tours à la seconde, soit 1^m,800 ; si elle était destinée à ne faire que des trains de plaine, on lui laisserait des roues de 2 mètres (Mountain Est).

La longueur de la machine est dès lors à peu près fixée. En effet : on laisse entre les roues motrices le minimum d'espace nécessaire pour l'installation des sabots de frein 100 à 150 millimètres. On rapproche le plus possible le bogie du premier essieu couplé en le plaçant toutefois assez loin pour qu'on puisse descendre ce dernier essieu sans enlever le bogie ¹. Le bissel arrière doit être suffisamment reculé pour qu'on puisse le loger au-dessous de la grille ; ce qui le met en général à 3 mètres du dernier essieu couplé.

Surface de grille. — Ayant augmenté le poids adhérent d'un tiers, la puissance maxima que peut *utiliser* la locomotive est augmentée d'un tiers, il faudrait donc qu'elle puisse *produire* cette puissance, et pour cela augmenter la surface de grille de la Pacific d'un tiers. Celle-ci devrait par suite être de $4,25 \times 1,33 = 5^{\text{m}2,65}$, ceci est impossible. En effet, une machine ayant une surface de grille égale

aux $\frac{4}{3}$ de celle de la Pacific pèserait approximativement $\left(\frac{4}{3}\right)^{\frac{3}{2}}$ soit 1,54 fois le poids de cette dernière, soit plus d'un tiers en plus, or, le bogie et le bissel de la Mountain devront porter à peu de chose près les mêmes poids que le bogie et le bissel de la Pacific, l'augmentation de poids permise n'est donc même pas le tiers de celui de toute la machine mais le tiers du poids adhérent.

Par un calcul un peu plus exact on arrive au même résultat :


La chaudière de la locomotive Pacific pèse 29 tonnes ; ; la chaudière de la Mountain à grille de 5^m2,65 ; pèserait $29 \times 1,54 = 44,6$, soit 15^l,5 de plus.

Un essieu monté complet pèse environ 4 tonnes ;

Une tranche de châssis de 1^m,900 de longueur, 2 tonnes ;

La Mountain pèserait donc 21^l,5 de plus que la Pacific et nous ne disposons que de 18^l,5 pour un essieu supplémentaire.

On ne pourra donc pas faire une chaudière plus puissante d'un tiers que celle de la Pacific. Des calculs approximatifs du même genre ont montré qu'il fallait se limiter à une grille de 5 mètres car-

¹ C'est après coup seulement, et par suite de choix du premier essieu couplé comme essieu IRIS  LILLIAD - Université Lille 1 ¹érieurs, que l'on a été amené à écarter le bogie de ce premier essieu.

rés. On connaît la largeur maxima dont on peut pratiquement disposer on en déduit la longueur.

Les raisonnements que nous venons de faire appellent une observation.

La puissance de la chaudière est proportionnelle à la surface de grille, donc au carré des dimensions linéaires ; il en est de même de la puissance développée par les cylindres, puisque toutes les machines tournent à peu près à la même vitesse et que nous supposons que les chaudières ont le même timbre.

Le poids de la machine est proportionnel au cube des dimensions linéaires, ce poids augmentera donc plus rapidement que la puissance. Le poids de la machine par unité de puissance augmente donc avec cette dernière, d'où la difficulté d'augmenter la puissance des machines, tout au moins tant que l'on considère des machines comportant les mêmes organes travaillant de façon identique.

Chaudière. -- Lorsqu'il s'agit d'un type nouveau, cette étude est une des plus importantes de la locomotive, nous y reviendrons du reste plus longuement.

On sait par expérience que la section de passage qu'on doit offrir aux gaz chauds doit être aussi grande que possible, en tous cas au moins égale à $0,12 G$, on peut donc, connaissant la surface de grille G , faire un projet de tubulure, ce qui détermine le diamètre du corps cylindrique et par suite les épaisseurs des tôles, le timbre ayant été choisi *a priori*. Comme on a, d'après le châssis, la longueur de la chaudière, on peut en déterminer le poids en ordre de marche et le centre de gravité.

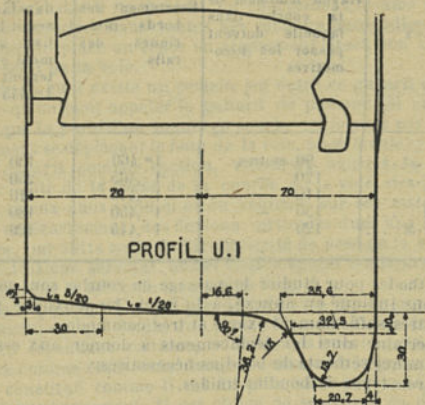
Avec les tubes à fumée des diamètres couramment employés, on ne dépasse pas une longueur de tubes de 6 mètres. Si l'on est conduit par la longueur du châssis à une longueur de corps cylindrique supérieure à cette cote, on remplace la partie postérieure des tubes par une chambre de combustion ; elle permet un brassage plus complet des gaz et ménage la plaque tubulaire du foyer, de plus elle ne change pas sensiblement le poids de la chaudière en service.

Passage en courbe. — Il faut dès à présent, les positions des essieux étant déterminées, étudier le passage de la locomotive en courbe.

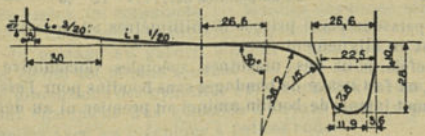
Les conditions que s'imposent les réseaux français diffèrent d'un réseau à l'autre, mais pour les comparer il faut bien remarquer qu'il ne suffit pas de fixer le rayon de la courbe dans laquelle on veut que passe la locomotive, il faut aussi fixer l'écartement des bords intérieurs des rails dans cette courbe, sans quoi la condition, incomplète, ne signifie plus rien.

Ces conditions sont les suivantes :

PROFILS DE BANDAGES



PROFIL U.2



PROFIL U.3

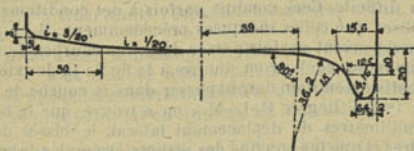


FIG. 10.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

RÉSEAUX	Rayon minimum de la courbe dans laquelle doivent passer les locomotives	Écartement des bords intérieurs des rails	Rayon approximatif de la courbe dans laquelle passerait la locomotive si l'écartement était l'écartement normal de 1 ^m ,445
Est.....	90 mètres	1 ^m ,460	130 mètres
Etat.....	120 —	1 ^m ,465	250 —
Nord.....	110 —	1 ^m ,445	110 —
P.-L.-M.....	150 —	1 ^m ,450	180 —
O.-E.-M.....	120 —	1 ^m ,445	120 —

Les méthodes pour étudier le passage en courbe sont nombreuses. Nous avons indiqué en annexe, à la fin de la deuxième partie, une méthode très suffisamment exacte et très commode.

On détermine ainsi les déplacements à donner aux essieux ainsi que les amincissements de boudins nécessaires.

Il y a trois types de boudins unifiés.

Le boudin normal de	32 ^{mm} ,5 d'épaisseur U ₁
— aminci de 10 millimètres de.....	22 ^{mm} ,5 — U ₂
— — 20 millimètres de.....	12 ^{mm} ,5 — U ₃

Cette épaisseur étant prise à 10 millimètres au-dessous du plan de roulement en alignement.

Quelquefois pour des machines spéciales (locomotive 5.000 Est, type 151), on fait usage de bandages sans boudins pour l'essieu milieu.

On ne met jamais de boudin aminci au premier ni au dernier essieu moteur.

On examine également le passage de la locomotive dans les appareils de voie reconnus comme étant ceux dans lesquels l'inscription est le plus difficile. Ceci conduit parfois à des conditions plus difficiles à réaliser que celles indiquées précédemment; il en résulte que les machines peuvent parfois passer dans des courbes de rayon inférieur à ceux indiqués (Voir en annexe à la fin de la deuxième partie).

La locomotive Mountain devant passer dans la courbe de 150 mètres en voie de 1^m,450 (Règles P.-L.-M.), on a trouvé que le bogie devait avoir 60 millimètres de déplacement latéral, le bissel devait avoir 95 millimètres et que les boudins des essieux accouplés intermédiaires, 2^e et 3^e, devaient avoir des boudins amincis de 18 millimètres en usage à cette époque au P.-L.-M.

Passage au gabarit. — L'épure de passage en courbe permet d'étudier en même temps le passage au gabarit.

Pendant longtemps et jusqu'à l'apparition des longs véhicules à bogies, on a considéré le gabarit de chargement comme une limite que pouvait atteindre dans toutes ses sections perpendiculaires à la voie un véhicule placé au repos en alignement droit, son axe coïncidant avec celui de la voie.

Ceci suppose qu'il existe un certain jeu entre ce gabarit de chargement et ce qu'on peut appeler le gabarit de passage. Si en effet on admettait que la paroi d'un tunnel en courbe est formée par le gabarit de chargement se déplaçant le long de la voie, un véhicule cylindrique, ayant ce gabarit comme section, viendrait heurter la paroi du tunnel par suite de la flèche de la courbe de la voie, des jeux latéraux des essieux dans celle-ci et du véhicule sur ses essieux, voire même du surécartement; des flexions verticales dues aux ressorts et aux usures, par suite enfin de l'irrégularité de pose de la voie.

Les pénétrations seraient, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus grandes que le véhicule serait plus long.

Par suite cependant du manque de précision en ce qui concerne ce jeu, l'ingénieur qui étudie une locomotive est obligé de la construire (avec cependant certaines atténuations que la pratique a fait reconnaître comme étant sans danger) comme si le gabarit de passage était constitué comme il est dit plus haut par le déplacement du gabarit de chargement. Il est obligé de se placer en outre dans les conditions les plus défavorables en ce qui concerne la position du véhicule, les usures, les jeux, les oscillations. On suppose en particulier que les fusées, les coussinets, les boudins des roues sont usés, on prévoit même une légère erreur dans la pose du rail.

L'étude du passage au gabarit conduit à amincir le véhicule aux extrémités, ce qui est le plus souvent une gêne et limite malheureusement les dimensions des cylindres extérieurs. Les parties basses du gabarit sont également très gênantes à l'avant pour le passage des têtes de bielles avec les machines à petites roues.

Par suite de sa forme, l'épure qui résulte de cette étude s'appelle couramment l'épure « en bateau ».

L'ingénieur a ainsi limité l'espace, toujours trop réduit, duquel il ne devra pas sortir.

Si par suite d'une unification imposée au matériel alors qu'elle devrait l'être tout d'abord à la superstructure, la locomotive doit passer dans plusieurs gabarits différents, c'est évidemment et *malheureusement* le plus petit qui en limitera les dimensions.

Dimensions des cylindres. — Les cylindres doivent être aussi grands que possible, pour développer l'effort moteur maximum, ce qui permet des démarrages et des reprises de vitesses plus rapides. Leur diamètre est limité

- 1° Par l'espace disponible : gabarit ;
- 2° Par l'adhérence qui intervient aux démarrages et à faible vitesse ;
- 3° Par la production de la chaudière qui intervient aux grandes vitesses.

Ce qu'on nomme couramment la condition de l'adhérence conduit à considérer le rapport $\frac{P}{F}$ du poids adhérent à l'effort de traction F , ce dernier étant défini comme on l'a vu par :

$$F = \frac{pd^2l}{D},$$

pour une locomotive à deux cylindres simple expansion, et

$$F = \frac{(p - p_1)d^2l + p_1d_1^2l_1}{D},$$

pour une locomotive compound à quatre cylindres ; c'est l'effort moyen pendant un tour de roues, exercé à la jante en admettant la vapeur à la pression du timbre dans les cylindres HP, et à 6 kilogrammes dans les cylindres BP pendant toute la durée de la course du piston.

Cet effort de traction ne représente aucune grandeur réelle. La valeur de $\frac{P}{F}$ sert néanmoins à comparer utilement les locomotives entre elles.

Toutes autres choses égales, plus les cylindres sont grands, plus $\frac{P}{F}$ est petit.

Sur la Pacific Compound P.-L.-M. (cylindres H. P. 440 × 650 ; cylindres BP 650 × 650 ; timbre 16 kilogrammes ; Diamètre des roues avec bandages de 75 millimètres = 2^m,010 ; poids adhérent 55^t,500), on a $\frac{P}{F} = 3,83$.

Pour la Mountain, avec les dimensions de cylindres, que nous verrons plus loin, on a $\frac{P}{F} = 3,443$, l'expérience montra que ce rapport n'est pas trop petit.

Si f est le coefficient de frottement entre rail et bandage. F_{\max} la valeur du maximum de l'effort à la jante, la machine patinera si $F_{\max} > Pf$.

Pour qu'elle ne patine pas, il faudrait donc avoir :

$$\frac{P}{F_{\max}} \geq \frac{1}{f}$$

c'est-à-dire supérieur à 5 ou 6 dans les conditions les plus favorables ; à 13 dans des conditions défavorables.

On ne devrait donc pas pouvoir prendre pour $\frac{P}{F}$ des valeurs aussi faibles que celles que l'on prend d'habitude, qui vont de 4 à 3 et parfois moins. Cela tient à ce que la valeur de F définie plus haut est toute conventionnelle et n'est jamais atteinte en réalité.

Il faut s'assurer que les dimensions de cylindre choisies provisoirement ne sont pas trop grandes et que la chaudière peut alimenter ces cylindres dans des conditions convenables à différentes vitesses, en particulier à la vitesse maxima. On peut faire le calcul directement en partant du poids de vapeur produit en fonction de la surface de grille et de l'allure de combustion, en tenant compte de la densité de la vapeur saturée ou surchauffée, et en cherchant quel cran d'admission permet de débiter la vapeur produite. Le cran d'admission trouvé doit être compris dans les limites courantes.

Il vaut mieux comparer la locomotive à une locomotive bien proportionnée.

A cet effet on compara la future machine Mountain à des machines 230 à roues de 1^m,800 surface de grille 3^m2,08 dont les cylindres avaient pour dimensions :

HP	370 × 650,
BP	590 × 650.

Dans les mêmes conditions, de course de piston, cran de marche, vitesse de la machine, densité de la vapeur, diamètre des roues, les poids de vapeur P et P' introduite dans deux machines sont proportionnels aux carrés des diamètres des cylindres.

Si P est le poids de vapeur introduit dans une cylindrée sur la machine 230 de cylindre BP de diamètre d ; le poids P' introduit sur le Mountain de cylindres de diamètre d' est tel que :

$$\frac{P'}{P} = \frac{d'^2}{d^2},$$

or, pour une même allure de combustion, les poids de vapeur disponibles sont proportionnels aux surfaces de grille :

$$\frac{P'}{P} = \frac{5}{3,08},$$

$$d' = d \sqrt{\frac{P'}{P}} = 590 \sqrt{\frac{5}{3,08}} = \sim 750 \text{ millimètres.}$$

Ce diamètre paraît excessif en raison de l'emplacement réservé aux cylindres. On décida de porter la course à 700 au lieu de 650 et de réduire le diamètre trouvé dans une proportion telle que le volume des cylindres BP ne soit pas changé, ce qui porta le diamètre à 720 millimètres. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cylindres BP ainsi déterminés 720×700 ont pour dimensions ceux des locomotives Mikado P.-L.-M., on décida donc d'adopter les mêmes dimensions de cylindre HP que sur ces machines.

En fin de compte, les locomotives Mountain ont des cylindres des dimensions ci-dessous.

HP	540 \times 650,
BP	720 \times 700,

Les diamètres des cylindres fixent leur emplacement: extérieur ou intérieur. Avec un écartement des bandages rigoureusement fixé à $1^m,360$, l'écartement intérieur des longerons ne diffère guère de $1^m,234$, il eut donc fallu recourir à des artifices pour placer entre les longerons les cylindres BP, on les plaça à l'extérieur et dans l'axe du bogie.

Une étude rapide des dimensions à donner aux bielles, aux boutons de manivelle des essieux, et la comparaison avec l'espace laissé libre par le gabarit détermine la distance d'axe en axe des cylindres BP extérieurs.

On a maintenant tous les éléments pour calculer les poids des différentes pièces, et pour chercher la répartition du poids total sur les essieu qui est le *problème capital* de cette partie de l'étude.

Bien qu'on dispose à volonté de quelques éléments dont on peut faire varier après coup l'emplacement: cylindre à frein, pompe à air, etc., si la répartition a été mal calculée et que l'on ne s'en aperçoive qu'en fin d'étude, le mal est en général irréparable.

On ne saurait donc trop insister sur la nécessité de calculer le poids probable avec la plus grande exactitude.

Ayant le poids total (en ordre de marche), il faut le répartir sur les points d'appui de façon à obtenir un poids maximum de $18,500$ sur chaque essieu couplé et des poids acceptables sur les essieux porteurs. De plus le poids par mètre courant d'empatement de la machine et par mètre courant de longueur totale hors tampon de la machine et du tender ne doivent pas dépasser respectivement 12 tonnes et 7 tonnes.

En général on a trop de poids à l'arrière, trop peu à l'avant, c'est pourquoi on pousse autant que possible la chaudière vers l'avant du châssis, mais on est gêné par les roues du dernier essieu accouplé qui viennent rencontrer la boîte à feu. On incline alors la plaque avant de cette dernière; parfois on fait rentrer à l'avant toute la boîte à feu entre les longerons en la rétrécissant (chaudière P.-O.).

Comme les essieux accouplés sont en général reliés par des balanciers qui répartissent correctement la charge, tout revient à trouver un équilibre convenable entre les charges sur le bogie et sur le bissel.

Pour cette raison ou pour d'autres, on est parfois conduit à faire varier légèrement l'emplacement du bogie ou du bissel. Dans ce cas,

Locomotive 241-A. — OCEM.

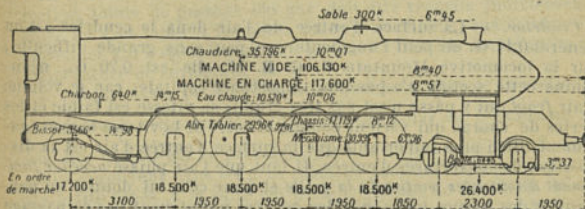
Détermination du centre de gravité.

TITRES	POIDS P	MOMENTS par rapport au plan passant par le front des tampons $P \times D$	DISTANCE au front des tampons avant D
Chaudière	35 796 ^{kg}	357 606 ^{kgm}	10 ^m ,07
Châssis	17 179	139 402	8,12
Bogie	6 445	19 795	3,37
Biviel	3 566	53 404	14,98
Mécanisme	30 995	212 739	6,96
Frein	2 200	13 956	6,44
Abri. Cablier	2 996	29 311	9,81
Petits mouvements	2 768	27 862	10,06
Garnitures	2 435	21 353	8,80
Équipement et appareils du frein	1 377	12 239	8,90
Peinture	264	2 639	10,00
	<u>106.021^{kg}</u>	<u>890.306^{kgm}</u>	
Approvisionnements			
Eau chaude dans la chaudière	10 520	105 955	10,06
Charbon sur la grille	640	9 056	14,15
Sable dans le bac	300	1 935	6,45
Enregistreur de vitesse et lantecnes	110	1 100	10,00
	<u>11 570</u>	<u>117.996</u>	
	<u>117.591^{kg}</u>	<u>1008.302^{kgm}</u>	<u>8^m,57</u>
	π	M	$\frac{M}{\pi}$

Locomotive 241-A. — OCEM.

Détermination du centre de gravité.

Répartition des poids sur rails.



§ 4. — Étude des différentes parties de la locomotive.

La locomotive à vapeur comprend :

La chaudière qui produit la vapeur ;

Les cylindres et le mécanisme de distribution qui transforment en énergie mécanique l'énergie calorifique de la vapeur ;

Le roulement, qui utilise cette énergie mécanique pour la propulsion du train.

Nous supposons connue la construction courante¹ de la locomotive.

Chaudière. — Tout le problème de la locomotive consiste à produire la puissance maxima avec le poids minimum et le plus économiquement possible.

Comme les cylindres n'utiliseront que la vapeur produite par la chaudière, celle-ci doit produire le plus de vapeur possible par heure et le plus économiquement, elle sera donc caractérisée par une combustion très active qu'on obtient actuellement par le tirage artificiel dû à l'échappement de la vapeur.

Nous verrons, lorsque nous parlerons de l'échappement, les meilleures dispositions à lui donner pour obtenir l'effet utile avec le meilleur

¹ Nous renvoyons les lecteurs au Manuel pratique bien connu *La Machine Locomotive* d'Edouard SAUVAGE, ouvrage précis, d'une lecture attrayante et constamment maintenu à jour dans ses éditions successives (8^e édition, 1927).

leur rendement, mais pour un même échappement, il passera d'autant plus d'air à travers la grille et la combustion sera d'autant plus active que l'air et les gaz de la combustion rencontreront de moins grandes résistances; toutes les sections de passage devront donc être aussi grandes que possible.

On a l'habitude de rapporter ces sections à la surface de grille G.

Cendrier. — La surface d'entrée de l'air dans le cendrier est en général 0,44 G. on peut l'augmenter un peu sans grande difficulté; sur la locomotive Mountain O. C. E. M. elle est 0,20 G., néanmoins cette section n'a pas une importance capitale, car le volume d'air froid qui y passe n'est pas très grand; sa vitesse est faible et les pertes de charge qui varient comme le carré de la vitesse le sont également. Bien plus importante que la surface d'entrée d'air est la disposition des ouvertures d'entrée. Il faut que l'air puisse accéder facilement à toutes les parties de la grille et pour cela lui donner en particulier des formes telles que les cendres n'obstruent pas ce passage d'air, cela arrive fréquemment sur les côtés de la grille avec les foyers larges. Il faut prendre garde que lorsque le cendrier a des portes à l'avant et à l'arrière, ces dernières pour la marche arrière, les sections des deux portes ne s'ajoutent pas. Il ne doit y avoir qu'une seule porte ouverte à la fois.

Grille. — Les grilles sont de deux sortes: fixes ou à secousses.

Les grilles fixes sont composées de barreaux de 0^m,01, séparés par des vides de même largeur, la section de passage d'air est donc 0.5 G.

Les grilles à secousses sont composées de barreaux en fonte plus larges et présentant des vides plus larges, encore le passage d'air n'est que de 0,33 G., de plus, entre les barreaux plus écartés, les menus tombent plus facilement dans le cendrier sans être brûlés.

Les grilles fixes sont donc pour deux raisons plus économiques que les grilles à secousses. Ces dernières ont été imaginées pour faire de très longs parcours sans arrêt, elles ne s'imposent pas en général sur les réseaux français.

Section de passage des gaz dans les tubes. — La résistance au passage des gaz dans les tubes est d'autant plus petite que la section est plus grande et les tubes plus courts. Or, si dans les anciennes machines, courtes, les tubes pouvaient être courts, avec les machines actuelles, longues, on est plutôt gêné par la longueur qu'il est nécessaire de donner aux tubes. On cherche à ne pas dépasser 6 mètres, ce qui a conduit dans la locomotive Mountain de l'O. C. E. M. à adopter une chambre de combustion.

La section totale de passage des gaz est en général 0,12 G. il y a certainement intérêt à l'augmenter, mais on ne peut le faire, si l'on ne

veut pas augmenter le diamètre du corps cylindrique et par suite le poids de la chaudière, qu'en prenant des tubes de plus grand diamètre, par conséquent au détriment de la surface de chauffe.

On se trouve là en présence de deux exigences opposées. Des essais en cours à l'O. C. E. M. montreront peut-être quel est le rapport optimum à prendre entre le diamètre des tubes et leur longueur.

La question se complique avec les locomotives à surchauffe, car la section totale de passage des gaz doit être répartie judicieusement entre les gros tubes et les petits tubes pour obtenir, aux combustions moyennes 350 à 460 kilogrammes par mètre carré-heure de grille, une température de surchauffe de 350°.

Il semble dès à présent reconnu que le rapport de la section des gros tubes à celle des petits doit être *au moins* de $\frac{55}{45}$. Cela ne veut pas dire que les gaz se partagent dans ce rapport, car les résistances qu'ils éprouvent dans les gros tubes ne sont pas les mêmes que dans les petits tubes. A la suite des premiers essais de l'O. C. E. M. dont nous parlerons à propos de la surchauffe, la tubulure de la locomotive Mountain qui était composée d'origine comme suit :

$$40 \text{ gros tubes de } 125 \times 133, \text{ section } q_0 : \quad \frac{q_0}{G} = 0,0618,$$

$$145 \text{ tubes lisses de } 50 \times 55, \text{ section } q_1 : \quad \frac{q_1}{G} = 0,0569,$$

$$\text{Section totale de passage des gaz :} \quad \frac{q_0 + q_1}{G} = 0,1187,$$

$$40 \text{ éléments surchauffeurs de } 31 \times 38, \text{ section } q_2 : \quad \frac{q_2}{G} = 0,006.$$

A été remplacée avantageusement par la tubulure suivante :

$$33 \text{ gros tubes de } 135 \times 143, \text{ section } q_0 : \quad \frac{q_0}{G} = 0,0069,$$

$$143 \text{ petits tubes de } 51 \times 55, \text{ section } q_1 : \quad \frac{q_1}{G} = 0,0584,$$

$$\text{Section totale de passage des gaz :} \quad \frac{q_0 + q_1}{G} = 0,1274,$$

$$33 \text{ éléments surchauffeurs de } 28 \times 35, \text{ section } q_2 : \quad \frac{q_2}{G} = 0,004.$$

On voit que la section totale est passée de 0,1187 G à 0,127 G.

Que le rapport $\frac{q_0}{q_1}$ est passé de $\frac{52}{48}$ à $\frac{55}{45}$.

Que la section de vapeur dans les éléments surchauffeurs a été diminuée de 0,006 G à 0,004 G : il en résulte une perte de charge

un peu plus grande de la vapeur, mais un avantage au point de vue de la transmission de la chaleur. — Il semble toutefois que cette section de passage de vapeur, 0,004 G, soit un minimum.

Surfaces de chauffe directe et indirecte, surface de surchauffe. — On trouve dans beaucoup d'ouvrages les valeurs que doivent avoir les rapports de la surface de chauffe indirecte des tubes à la surface de chauffe directe du foyer ; de la surface de chauffe totale à la surface de grille ; de la surface de surchauffe à la surface de chauffe, etc.

La surface de chauffe totale est voisine de 60 fois la surface de grille dans les machines à vapeur saturée et de 50 fois la surface de grille dans les machines à vapeur surchauffée.

Ces valeurs n'ont rien d'absolu et sont simplement la constatation d'un état de choses existant. Lorsqu'on est amené à faire l'étude d'une chaudière nouvelle, il faudrait bien se garder de chercher à déterminer la surface de chauffe d'après les formules, et en particulier de croire que l'on améliorera soit la puissance, soit le rendement de la chaudière en augmentant sans discernement le rapport de la surface de chauffe à la surface de la grille, de croire qu'on augmentera la surchauffe en augmentant la surface de surchauffe.

De telles erreurs ont parfois été commises jusque dans ces dernières années sur lesquelles nous avons, les premiers, croyons-nous, attiré l'attention en 1924. On semblait avoir oublié les expériences effectuées sur le Nord, en 1860, par Nozo et Geoffroy, sous la direction de Petiet.

*Expériences de Nozo et Geoffroy*¹. — Ces expériences que nous avons rapportées dans l'agenda 1930 ont montré qu'en bouchant la moitié des tubes d'une chaudière on obtenait très sensiblement à égalité d'allure de combustion la même production de vapeur.

Bien entendu on n'obtient cette égalité d'allure de combustion que par un tirage plus énergique dans la chaudière à tubes bouchés que dans l'autre.

Elles montrent aussi qu'on obtiendra bien toujours une production supplémentaire en allongeant les tubes d'une chaudière, mais qu'à partir d'une certaine limite l'avantage qu'on en retire est tellement faible qu'il ne compense pas les inconvénients de l'augmentation de poids et de l'augmentation de résistance au passage des gaz qui en résultent.

La surface de chauffe n'est donc pas un élément caractéristique

¹ S. I. C., octobre 1861.

COUCHE, Dunod, 1876, t. III, p. 32 ; — GARBE, *Die Zeitgemässe Heissdampf Lokomotive*, Springer, Berlin, 1924 ; — BRÜCKMANN, *Die Eisenbahn technik der Gegenwart*, Kreidels, Berlin, 1920.

d'une chaudière. Il en est de même par suite du rapport de cette surface à la surface de grille et de la quantité de vapeur vaporisée par heure par mètre carré de surface de chauffe, foyer ou tubes.

Vaporisation horaire de la chaudière. — Lorsqu'on veut avoir la puissance de vaporisation horaire d'une chaudière on ne s'écarte pas sensiblement de la vérité en partant du poids de combustible brûlé par heure (en service courant 350 kilogrammes par mètre carré de grille, en service forcé 500 kilogrammes, très exceptionnellement aux essais 600 kilogrammes et en admettant que 1 kilogramme de charbon vaporise de 6^{kg},5 à 7^{kg},5 d'eau. Ce chiffre est d'autant plus élevé que l'allure de combustion est plus faible et la vapeur moins surchauffée.

On emploie parfois dans la formule de Marié :

$$V = 368 \sqrt{CG},$$

C étant en mètres carrés la surface de chauffe ;

G — — — — — de grille ;

V la vaporisation horaire en kilogrammes.

Mais on a vu que C est sensiblement proportionnel à G, il en est de même de V, d'après la formule précédente, de sorte que l'on peut aussi employer la formule plus simple.

$$V = 4.000 G.$$

Calorifuge. — Pour diminuer les pertes de chaleur par rayonnement, on entoure toute la chaudière d'une substance calorifuge, briquettes de magnésie ou amiante sous diverses formes. Le P.-L.-M. calorifuge la presque totalité de ses chaudières avec des matelas d'amiante composés de deux toiles épaisses d'amiante tissé comprenant entre elles de l'amiante naturel, leurs bords sont munis d'œillets métalliques qui permettent l'assemblage entre eux des divers matelas à l'aide d'une corde d'amiante. L'avantage de ce procédé est d'avoir un revêtement qui peut servir très longtemps malgré les démontages indispensables. L'économie de charbon réalisée est de l'ordre de 3 à 4 0/0.

Bilan thermique. — Un charbon demi-gras ne contenant que 10 0/0 de cendres donne environ 8.000 calories (Voir les chiffres plus précis donnés par le tableau ci-après).

Pour vaporiser à 15 kilogrammes de pression de l'eau ayant une température initiale de 10°, il faut 656 calories.

Théoriquement, 1 kilogramme de charbon devrait pouvoir vaporiser $\frac{8.000}{656} = 12^{kg},2$ d'eau. Mais toutes les calories développées par la combustion du charbon ne sont pas utilisées à vaporiser l'eau ; sur

100 calories qui pourraient être dégagées sur la grille, 10 environ, sont perdues par le charbon qui tombe à travers la grille sans brûler ou sont emportées par les cendres chaudes ;

8 par les escarbilles, et par la combustion incomplète du charbon en CO au lieu de CO² ;

20 par les gaz chauds ;

7 par rayonnement ;

55 seulement sont employées à vaporiser l'eau ; on ne peut donc compter en pratique que sur $12,2 \times 0,55 = 6,7$, soit de 6 à 7 kilogrammes d'eau vaporisée par kilogramme de charbon.

Si la locomotive est à surchauffe, le poids d'eau vaporisé par kilogramme de charbon est encore plus faible, puisqu'une partie de la chaleur dégagée doit être employée à surchauffer la vapeur. — Il n'en résulte aucun inconvénient, bien au contraire, car les calories ainsi utilisées sont mieux employées dans les cylindres de la machine à vapeur. Bien entendu les chiffres ci-dessus ne sont qu'approximatifs.

Le rendement dépend de l'allure de la combustion, il est d'autant moins élevé que la combustion est plus active. Des allures de combustion de 500 kilogrammes de charbon brûlé par mètre carré de grille et par heure peuvent facilement être obtenues sur les locomotives ; en Amérique on va jusqu'à 600 kilogrammes et plus.

Une combustion de 350 kilogrammes est normale.

A cette allure on obtient un rendement de 70 0/0, qui tombe à 50 0/0 pour 500 kilogrammes à l'heure.

On voit qu'à condition de ne pas être trop forcée, la chaudière locomotive a un très bon rendement.

Voir, à ce sujet, *l'Étude expérimentale de la chaudière locomotive*, par M. Paul Conte, ingénieur en chef de l'O. C. E. M., d'après les essais de Pennsylvania Railroad¹.

D'après le deuxième rapport de la commission d'utilisation des combustibles sur la production et l'utilisation de la vapeur dans l'industrie (*Journal officiel* du 21 février 1921) la moyenne des rendements obtenus dans les installations fixes est au maximum de 65 0/0. La supériorité de la chaudière-locomotive apparaît plus nettement si l'on considère que les locomotives moyennes arrivent à brûler 600 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure (900 kilogrammes pour les chaudières américaines), tandis que les chaudières fixes à gros tubes ne dépassent guère 200 kilogrammes et les chaudières à petits tubes (torpilleurs) 400 à 450 kilogrammes. Ce n'est qu'aux allures déjà assez poussées de 400 kilogrammes que la locomotive commence à avoir un rendement inférieur à celui des chaudières fixes, allures que ces chaudières seraient incapables de supporter.

¹ *Revue générale des chemins de fer*, janvier et février 1923.

Exemple de bilan thermique. — Nous donnons ci-dessous l'exemple d'un relevé fait sur une chaudière Pacific de locomotive P.-O. pour une combustion horaire de 334 kg/m²/h. On trouvera dans cet exemple un grand nombre de chiffres donnant l'ordre de grandeur de certaines quantités intéressantes : pertes diverses, masses des gaz, vitesses des gaz, partage des calories, etc.

ESSAIS DE SURCHAUFFE

Nature du faisceau tubulaire (diamètre intérieur des gros tubes et des éléments surchauffeurs) en millimètres.		135-28
Vitesse virtuelle de marche	km-h	90
Durée de l'essai	minutes	120

Consommations.

CHARBON

C Allure de combustion brute	kg-m ² -h	334
Pertes {	Escarbilles recueillies dans la boîte à fumée.	0/0 2,6
	Escarbilles évacuées par la cheminée (estimées).....	0/0 6
	Charbon entraîné dans les cendres.....	0/0 0
C' Allure de combustion nette.....	kg-m ² -h	305
C ₁ Charbon réellement brûlé à la seconde.....	kg	0,360

AIR

Poids d'air entrant par seconde	{	par le cendrier Ac.....	kg	3,750
		par la porte du foyer Ap.....	kg	0,355
		total : A = Ac + Ap.....	kg	4,105

EAU

E Eau vaporisée par kg de charbon brut.....	kg	6,770
E ₁ Eau vaporisée par seconde.....	kg	2,660

Vitesse des gaz.

Vitesse moyenne des gaz à la sortie des gros tubes	{	1 ^{re} rangée horizontale.	m.s	15,65
		2 ^e —	m.s	14,08
		3 ^e —	m.s	16,79
		4 ^e —	m.s	13,45
Vitesse moyenne des gaz à la sortie des petits tubes	{	milieu	m.s	21,99
		côté au droit 4 ^e rangée.	m.s	16,71
		entre les gros tubes..	m.s	12,87

Vitesse moyenne de l'air	}	à l'entrée du cendrier (porte du foyer fermée).....	m.s.	7,24
		à l'entrée du cendrier (porte du foyer ouverte).....	m.s.	4,47
		dans la porte du foyer ouverte...	m.s.	14,90

Dépressions

<i>de</i> Dépression dans le cendrier.....	m.m. d'eau	1,45
<i>df</i> Dépression dans le foyer.....	m.m. d'eau	44
<i>db</i> Dépression dans la boîte à fumée.....	m.m. d'eau	94
<i>rf</i> Résistance du faisceau $rf = db - df$	m.m. d'eau	50

Températures.

AIR

Température de l'air à l'entrée du cendrier.....	° C.	18
Température de l'air devant la porte du foyer.....	° C.	30

EAU

Température de l'eau d'alimentation.....	° C.	18
--	------	----

GAZ

Température des gaz à l'entrée du faisceau.....	° C.	1080
Température dans les petits tubes à 500 millimètres de la plaque tubulaire de foyer.....	° C.	750
Température moyenne des gaz à la sortie des gros tubes.....	° C.	353
Température moyenne des gaz à la sortie des petits tubes.....	° C.	372

VAPEUR

Température de la vapeur saturée (Timbre : 16 hpz)...	° C.	203,4
Température de la vapeur surchauffée.....	° C.	374

Répartition des gaz.

G_g Poids de gaz sortant par seconde des gros tubes....	kg	2,070
G_p Poids de gaz sortant par seconde des petits tubes....	kg	2,217
G Poids de gaz total $G = G_g + G_p$	kg	4,287
Pourcentage de gaz traversant les gros tubes $\frac{100G_g}{G}$	0/0	48,3
Pourcentage de gaz traversant les petits tubes $\frac{100G_p}{G}$	0/0	51,7

α Pourcentage du CO_2 contenu dans les gaz.....	0/0	15
β Pourcentage du CO contenu dans les gaz.....	0/0	3,2

Bilan thermique.

Nombre de calories par seconde :

Q_b correspondant au charbon brut consommé		3183	
Q_p {	correspondant aux escarilles recueillies dans la boîte à fumée	83	
	correspondant aux escarilles évacuées par la cheminée..	192	
Q_t correspondant au charbon réellement brûlé $Q_t = Q_b - Q_p$..		2908	
Q_{co} correspondant à la quantité de CO produite.....		306	
Q réellement produites : $Q = Q_t - Q_{co}$		2602	
Q_c entrant dans le faisceau tubulaire		1183	
Q_{eg} entrant dans les gros tubes		571	
Q_{rg} sortant des gros tubes.....		172	
Q_{ag} absorbées par les gros tubes	{	vaporisation Q_{vg}	145
		surchauffe Q_s	248
		total $Q_{ag} = Q_{vg} + Q_s$	393
Q_{cp} entrant dans les petits tubes.....		612	
Q_{rp} sortant des petits tubes		202	
Q_{vp} absorbées par les petits tubes (vaporisation) $Q_{vp} = Q_{cp} - Q_{rp}$..		410	
Q_v employées pour la vaporisation		1740	
Q_f absorbées par le foyer (vaporisation) $Q_f = Q_v - Q_{vg} - Q_{vp}$..		1185	
Q_u utilisées au total : $Q_u = Q_v + P_s$		1988	
Q_r correspondant à toutes les pertes évaluées :			
$Q_r = Q_p + Q_{co} + Q_{rg} + Q_{rp}$		961	
Q_{et} évaluées au total : $Q_{et} = Q_u + Q_r$		2949	

Rendements.

R_v Pourcentage des calories employées à la vaporisation $R_v = \frac{Q_v}{Q_b}$	0/0	54,8
R_s Pourcentage des calories employées à la surchauffe $R_s = \frac{Q_s}{Q_b}$	0/0	7,8
R Rendement global $R = R_v + R_s$	0/0	62,6

Résumé.

Température vapeur surchauffée	374°
Calories entraînées par les gaz de la combustion	12,8 0/0
Pertes par production de CO	10,4 0/0
Autres pertes (escarilles, rayonnement).....	14,2 0/0

Proportion des calories employées à la	vaporisation	Foyer.....	37,2 0/0
		Gros tubes.....	4,7 0/0
		Petits tubes.....	12,9 0/0
		Total.....	54,8 0/0
	surchauffe.....		7,8 0/0
<i>Rendement global</i>			62,6 0/0
Répartition des gaz entre		gros tubes.....	48,3 0/0
		petits tubes.....	51,7 0/0
Température des gaz		à l'entrée de la plaque.....	1080°
		au niveau des coudes.....	750°
		à la sortie gros tubes.....	353°
		à la sortie petits tubes.....	372°
Pertes de charge dans le faisceau surchauffeur kg/cm ²			0,600
Rendement calorifique des		gros tubes.....	68,8 0/0
		petits tubes.....	66,9 0/0

Pouvoir calorifique de divers combustibles.

DÉSIGNATION	POUVOIR calorifique	TENEUR	
		en cendres	en matières volatiles
Anthracite de Westphalie.....	7.975	4,0	9,7
Charbon du Pays de Galles.....	7.890	»	»
Briquettes de houille.....	7.750	7,2	15
Houilles de la Ruhr.....	7.650	6,5	22
Charbon de Newcastle.....	7.270	»	»
Charbon de la Sarre, de Silésie, de Saxe.	7.100	6,5	33
Coke de gaz.....	7.000	»	»
Charbons d'Ecosse.....	6.940	»	»
Molasses de Bavière.....	5.200	17	35
Briquettes de lignite.....	4.800	9	43
Bois.....	4.100	»	»
Tourbe.....	3.800	6	49
Lignite de Saxe.....	3.600	7	33
Pétrole.....	11.000	»	»
Mazout.....	10.500	»	»

Injecteurs. — Sur les premières locomotives l'eau était introduite dans la chaudière par une pompe. Dès 1850, Giffard décrivait l'injecteur de son invention, donnait sa théorie et les dimensions des diverses pièces. Son premier injecteur fut construit en 1858.

Le numéro qui désigne la taille des injecteurs exprime, en millimètres, le diamètre minimum du divergent. Cette règle adoptée même dans les pays de langue anglaise, est en quelque sorte un hommage rendu à la nationalité française de l'inventeur.

Nous ne donnerons pas la théorie détaillée de l'injecteur, renvoyant le lecteur aux ouvrages techniques : Sauvage : *La machine à vapeur, La machine locomotive* ; Boulvin : *Cours de mécanique appliqué aux machines*, etc...

Son principe est le suivant : La vapeur vive venant de la chaudière par une tuyère convergente rencontre, dans une autre tuyère convergente qui entoure la première, l'eau d'alimentation venant du tender, elle se condense au contact de l'eau et il sort de cette seconde tuyère, appelée parfois *chambre de mélange*, un jet d'eau chaude animé d'une vitesse très grande quoique bien inférieure à celle qu'aurait le jet de vapeur seul. Ce jet traverse librement un espace appelé *trop-plein* et pénètre dans un cône divergent où l'augmentation graduelle de section permet à l'eau de prendre des vitesses de plus en plus faibles et par suite des pressions de plus en plus fortes, qui arrivent à surmonter celle de la chaudière.

Le rendement de l'injecteur dépend au plus haut point des formes : conicité et longueur du cône de mélange, et de celles du cône divergent. L'angle d'ouverture de ce dernier peut faire varier dans de très grandes limites la pression que peut surmonter l'injecteur. Il faut en effet ralentir progressivement la très grande vitesse de la veine liquide en ne créant ni chocs ni remous, causes de perte de puissance qui se dissipe en chaleur.

On se rend compte dès maintenant qu'un injecteur est construit pour un régime donné et qu'on ne peut en faire varier le régime qu'au prix d'une baisse sensible du rendement. Ceci explique l'existence de toute une gamme d'injecteurs gradués de millimètre en millimètre, adaptés aux divers besoins. On construit des injecteurs de 2 à 20.

Envisagé comme machine motrice, l'injecteur a un très mauvais rendement. Le travail théoriquement nécessaire pour introduire par exemple 4 litres d'eau par seconde (débit des injecteurs 10 1/2), dans une chaudière à 15 kilogrammes est de 600 kilogrammètres ; mettons 700 pour tenir compte des frottements. La puissance d'un appareil qui produit ce travail doit être de $\frac{700}{75} = 9,35$ CV.

Or, la vapeur dépensée par l'injecteur est $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$ du poids d'eau introduit dans la chaudière, soit au minimum 0^{ks},400 à la seconde : 1.440 kilogrammes à l'heure. L'injecteur nécessite donc $\frac{1.440}{9,35} = 154$ ki-

logrammes de vapeur par cheval-heure alors que la locomotive compound à vapeur saturée ne dépense que 8 à 10 kilogrammes de vapeur par cheval-heure indiqué et la turbine (à condensation) 3^k,5 à 4^k,5 par cheval-heure effectif.

Ce mauvais rendement de l'injecteur ne présente toutefois nul inconvénient, étant données ses conditions d'emploi, car toutes les calories contenues dans la vapeur, à l'exception naturellement de celles qui ont été transformées en travail et de celles, en petit nombre, perdues par rayonnement retournent à la chaudière sous forme d'un échauffement de l'eau introduite.

L'injecteur est l'instrument idéal pour l'alimentation des chaudières. Ce n'est donc pas pour augmenter le rendement thermique de la chaudière, comme on l'a dit parfois, que l'on est revenu de nos jours et dans certains cas à l'alimentation de la chaudière par pompes, c'est parce qu'avec l'introduction des réchauffeurs d'eau d'alimentation qui introduisent de l'eau à près de 100°, dans la chaudière, l'injecteur ne peut plus fonctionner.

L'injecteur en effet, dont le fonctionnement est basé sur le vide produit par la condensation brusque de la vapeur par l'eau venant du tender, fonctionne d'autant mieux que cette eau est plus froide. A mesure que sa température s'élève, le débit diminue ; à partir d'une certaine température le fonctionnement s'arrête, on dit que l'injecteur « rate ». Les injecteurs usuels, particulièrement les injecteurs en charge, fonctionnent jusqu'à une température de l'eau d'environ 40°.

Si nous considérons un injecteur fonctionnant avec de l'eau à une température donnée et qu'on augmente progressivement la pression dans la chaudière, le débit augmente d'abord avec la pression, atteint un maximum, puis diminue brusquement jusqu'à ce que l'injecteur rate.

Si l'on est en général bien renseigné sur la théorie admise pour l'injecteur, on l'est assez mal sur les résultats pratiques. On ne calcule pas, *a priori*, le débit que doit donner un injecteur dans des conditions données de pression à la chaudière et de température de l'eau d'alimentation, on construit un injecteur, et par des essais successifs suivis de retouches, on détermine *expérimentalement* le débit maximum. On impose ensuite ce débit avec une certaine marge de tolérance pour les injecteurs à construire.

On trouvera des renseignements très intéressants sur les injecteurs dans l'ouvrage de Kneass : *Practice and Theory of the Injector*, New-York, John Wiley and Sons, London, Chapman and Hall.

Nous en extrayons, après l'avoir traduit en mesures françaises, le diagramme ci-après qui s'applique à un injecteur aspirant 10 l/2. Chaque courbe fermée correspond à une température de l'eau d'alimentation ; la portion d'ordonnée correspondant à une pression

Injecteurs Sellers. — N. 10.
 Débits maximum et minimum. — Aspiration 0^m,60.

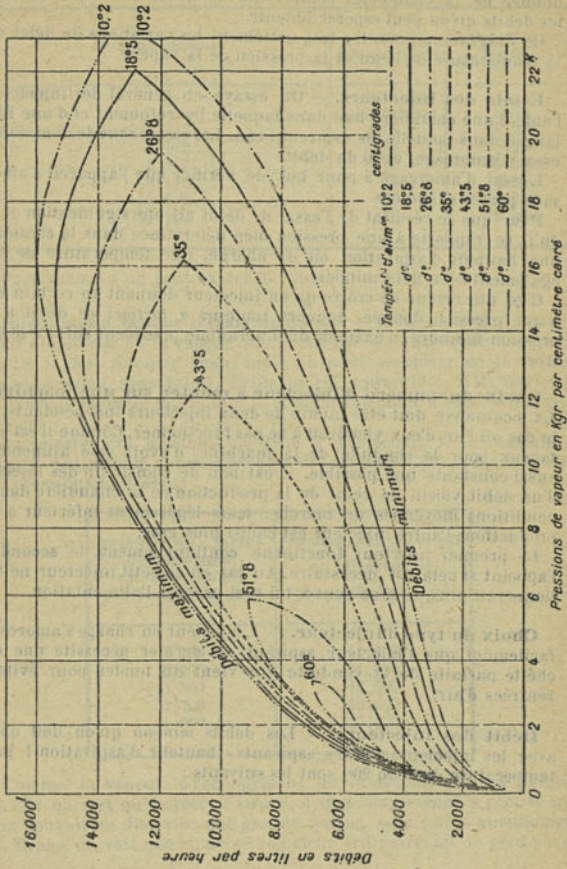


Fig. 11.

donnée de la chaudière, comprise à l'intérieur de la courbe, donne les débits qu'on peut espérer obtenir.

Ce diagramme montre très nettement les variations de débit avec la température de l'eau et la pression de la vapeur.

Essais des injecteurs. — On essaye en général les injecteurs à l'aide d'une chaudière fixe dans laquelle ils refoulent et d'une bêche jaugée dans laquelle ils aspirent l'eau. Les essais sont de deux sortes : essai d'amorçage, essai de débit.

L'essai d'amorçage a pour but de vérifier que l'appareil s'amorce sans pertes exagérées.

Pour que le résultat de l'essai de débit ait une signification, il faut qu'il se rapporte à une pression bien déterminée dans la chaudière, une hauteur d'aspiration ou de charge, une température de l'eau également bien déterminées.

C'est une erreur de croire qu'un injecteur donnant un certain débit à une pression donnée, donnera toujours *a fortiori* ce débit à une pression moindre ; l'examen du diagramme précédent suffit à le montrer.

Choix du numéro d'injecteur à monter sur une machine. —

La locomotive doit être munie de deux injecteurs indépendants pour le cas où l'un d'eux viendrait à ne pas fonctionner. Comme il est avantageux pour la conduite de la machine, d'avoir une alimentation aussi constante que possible, il est bon de choisir un des injecteurs d'un débit voisin de celui de la production de la chaudière dans les conditions moyennes de marche, mais légèrement inférieur à cette production ; l'autre injecteur est choisi plus gros.

Le premier injecteur fonctionne continuellement, le second fait l'appoint si cela est nécessaire. Au cas où le petit injecteur ne fonctionnerait plus, le gros peut à lui seul assurer l'alimentation.

Choix du type d'injecteur. — L'injecteur en charge s'amorce plus facilement que l'injecteur aspirant. Ce dernier nécessite une étanchéité parfaite de la conduite qui vient du tender pour éviter les rentrées d'air.

Débit des injecteurs. — Les débits *minima* qu'on doit obtenir avec les injecteurs Sellers aspirants : hauteur d'aspiration 1 mètre, température de l'eau 20°, sont les suivants :

TYPE D'INJECTEUR	PRESSION à la chaudière	DÉBIT HORAIRE MIDIWA
	kilogrammes	litres
Sellers F ; h ou N. 6 1/2	15	4.000
— 7 1/2	15	5.900
— 8 1/2	16	6.900
— 9 1/2	16	8.700
— 10 1/2	16	13.200
— 11 1/2	16	15.900

Pratiquement on peut exiger davantage.

Injecteurs à vapeur d'échappement. — En général on emploie dans l'injecteur de la vapeur à la même pression que celle contre laquelle il doit refouler l'eau, mais on peut employer de la vapeur à une pression plus faible. Utilisant cette propriété, MM. Davies et J. Metcalfe inventèrent en 1876 le premier injecteur à vapeur d'échappement.

Successivement amélioré, le type F d'injecteur J. C. Metcalfe¹, permet d'alimenter *uniquement avec de la vapeur d'échappement* contre les pressions ci-dessous :

PRESSION DE LA VAPEUR d'échappement en kilogrammes par centimètre carré	PRESSION DE LA CHAUDIÈRE en kilogrammes par centimètre carré
0,100	11,000
0,200	11,600
0,500	13,600
0,700	15,000
1,000	17,000

Comme la vapeur d'échappement de la locomotive est perdue, qu'elle ne sert qu'à créer le tirage et que l'expérience a prouvé que l'on pouvait en distraire une grande partie, sans nuire aucunement au tirage, on voit que si, avec l'injecteur ordinaire, on ne perd pas de

¹ *The Engineer*, 17 août 1928.

calories, avec l'injecteur à vapeur d'échappement ou en récupère.

Si l'on a besoin d'alimenter par exemple avec de la vapeur d'échappement à 0^{kg},500 contre une pression de 15 kilogrammes, on emploie un tout petit jet de vapeur vive supplémentaire.

Il est probable que la meilleure façon de faire fonctionner l'appareil sans vapeur vive est de le faire fonctionner à l'aide de vapeur prise dans le réservoir intermédiaire des machines compound, cela correspond, comme on le voit au paragraphe « Chaudières à haute pression », à une excellente utilisation de la chaleur de cette vapeur qui a déjà travaillé.

Le principe de l'injecteur à vapeur d'échappement est exactement le même que celui de l'injecteur ordinaire à vapeur vive. La seule différence provient de ce qu'une certaine quantité de mouvement de vapeur $m \cdot v$ étant nécessaire pour injecter un débit donné d'eau contre une pression donnée, ici la vapeur s'écoulant sous une différence de pression beaucoup plus faible, sa vitesse v est plus faible, il faut donc que la masse m employée soit plus grande ; comme d'autre part sa densité est plus faible, son volume sera beaucoup plus grand. Les dimensions des cônes d'arrivée de vapeur et de mélange seront donc beaucoup plus grandes que dans l'injecteur à vapeur vive.

En réalité, divers perfectionnements ont été appliqués aux derniers modèles. A la sortie du cône de mélange, le jet rencontre un nouvel appoint de vapeur d'échappement qui lui communique dans un second cône de mélange une nouvelle vitesse. On retrouve l'application d'un principe (qui est utilisé dans les échappements à petticoats) d'après lequel, lorsqu'on a à communiquer une grande vitesse à un fluide présentant une grande inertie à l'aide d'un fluide présentant une grande vitesse, il est avantageux d'agir progressivement sur le fluide à entraîner par l'intervention successive, en plusieurs points, du fluide entraînant.

Ce perfectionnement pourrait évidemment être appliqué aux injecteurs à vapeur vive, mais cela est bien inutile puisque toutes les calories non transformées en travail sont récupérées et qu'on peut disposer d'autant de vapeur qu'on le désire.

Dans l'injecteur à vapeur d'échappement, grâce à cet artifice, la masse de vapeur n'a plus besoin d'être aussi grande que dans l'injecteur primitif, ce qui a permis de réduire les sections des cônes.

Si l'on compare les sections de passage de vapeur d'un injecteur à vapeur vive à 12 kilogrammes et d'un injecteur à vapeur d'échappement, on voit qu'elles sont dans le rapport de 1 à 11 sensiblement dans le rapport inverse des densités.

Lorsque la machine est arrêtée, l'injecteur fonctionne avec de la vapeur vive prise à la chaudière, comme un injecteur ordinaire¹.

¹ Un nouvel injecteur type H rend automatique le passage d'un mode de fonctionnement à l'autre et supprime ainsi toutes les manœuvres. (*R. M. E.*, octobre 1928. — *Organ*, 1^{er} mai 1929.)

Les avantages économiques de l'injecteur à vapeur d'échappement sont indiqués dans le paragraphe: « Réchauffeurs d'eau d'alimentation ».

Il y a actuellement plus de 9.000 injecteurs à vapeur d'échappement en service, dont plus de 300 en France, principalement sur P.-O. et l'Est. Il est employé par plus de 100 compagnies différentes.

De même que l'injecteur à vapeur vive s'est imposé par sa simplicité et a remplacé les pompes d'alimentation, on peut prévoir que dans un avenir plus ou moins lointain, l'injecteur à vapeur d'échappement aura, pour la même raison, remplacé l'injecteur à vapeur vive et tous les réchauffeurs d'eau d'alimentation à pompes.

Explosions de chaudières.

Lorsqu'une chaudière a fait explosion, il est très difficile la plupart du temps d'en déterminer la cause sans une étude approfondie. L'explosion est toujours due, évidemment, à l'existence d'une pression supérieure à celle que peut supporter la chaudière *dans les conditions où elle se trouve à cet instant*. Est-ce à dire que cette pression est supérieure à celle pour laquelle la chaudière est normalement construite? Il se peut que les conditions de résistances soient devenues inférieures à ce qu'elles étaient de construction, la pression restant la pression normale.

On attribue trop facilement, à notre avis, une explosion au mauvais fonctionnement ou au calage des soupapes. Depuis l'adoption, presque généralisée actuellement, des soupapes à charge directe, les mécaniciens ne peuvent que difficilement surcharger leurs soupapes, nous croyons que pratiquement ils ne le font pas.

Les explosions de chaudières de locomotive ne sont pas dues non plus en général à un défaut de résistance d'origine, qu'il provienne de l'étude, des matériaux ou de l'exécution; ces conditions d'établissement des chaudières de locomotives présentent des garanties telles que seul un manque d'entretien ou une faute dans la conduite peut compromettre la résistance de la chaudière aux efforts qu'elle a à supporter normalement.

L'explosion présente des degrés divers de gravité allant depuis le simple coup de feu sans gravité jusqu'à la destruction complète de la chaudière et parfois du châssis.

Le coup de feu provient d'un manque d'eau momentané sur le ciel de foyer; la chaleur fournie par le foyer, ne pouvant se transmettre à l'eau, s'emmagasine dans la tôle qui est portée à haute température. sa résistance mécanique diminue suffisamment pour que les filets des tirants de foyer s'arrachent de la tôle sous la pression normale de la chaudière, il se forme une poche sur le ciel de foyer, mais bientôt: ou bien cette poche se déchire, l'eau s'échappe et la pression de la chaudière

tombe, ou bien la poche s'étend jusqu'aux tirants dont le filetage dans la tôle de foyer est encore baigné par l'eau. Ces filetages, bien que supportant alors des efforts pour lesquels ils n'ont pas été établis, peuvent résister et la formation de la poche s'arrête, ou bien ils cèdent de proche en proche et l'explosion peut prendre des proportions dangereuses.

Nous signalons aux lecteurs :

Les Explosions de locomotives, par M. Walckenaer, dans les *Annales des Mines*, nov.-déc. 1887, et les magistrales études de M. Robert Dubois, ingénieur en chef de l'Office central d'Études de matériel, dans le bulletin de juillet 1905 de la Société d'Encouragement, et dans les *Annales des Mines*, XII^e série, tome XI, 5^e et 6^e livraisons de 1927.

Du calcul des assemblages par rivures, par Kammerer, *Annales des Mines*, avril 1927 ; *Rivure et soudure des chaudières à vapeur*, par Hochn, Béranger, Paris, 1927.

Les *Annales des Mines* publient annuellement un relevé des explosions de chaudières.

Réglementation des appareils à vapeur.

La réglementation française sur les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux, par conséquent celle à laquelle sont soumises les locomotives, a été fixée successivement par les décrets des 29 octobre 1823 ; 12 mai 1834 ; 25 janvier 1865 ; 30 avril 1880 ; 9 octobre 1907 ; 2 avril 1926.

Ce dernier décret que nous avons donné dans l'*Agenda Dunod 1929* est commenté par la *Circulaire ministérielle du 3 décembre 1926*. Il a été modifié :

1^o Par le *Décret du 4 août 1928*. — Ce décret modifie l'article 11 et indique la forme et les dimensions que doit avoir l'ajutage disposé pour recevoir le manomètre vérificateur lorsque le timbre de la chaudière est inférieur ou égal à 30 hectopièzes. — L'*Arrêté ministériel du 11 juin 1929 (J. O., du 14 juin 1929)* détermine l'ajutage lorsque le timbre est supérieur à 30 Hpz.

2^o Par *décret du 25 août 1929 (J. O., 6 septembre 1929)*. — Ce décret fait rentrer les tuyauteries dans les parties soumises à la réglementation il fixe les règles pour l'emploi de la fonte et annonce qu'un arrêté ministériel fixera les règles pour l'emploi de la soudure. Cet arrêté a été rendu le 25 mars 1930 (*J. O., du 4 avril 1930*).

La *Circulaire ministérielle du 30 août 1929* concerne le poinçonnage des plaques de constructeur des appareils neufs (voir *B. P. A. V.*, octobre 1929).

La *Circulaire ministérielle du 20 janvier 1930 (J. O., du 26 janvier 1930)* a pour objet de compléter celles des instructions de la cir-

culaire du 30 décembre 1926 qui concernent les dispositions qui doivent être prises en vertu des articles 18 et 28 du décret du 2 avril 1926 pour empêcher, en cas d'avarie à l'une des parties de la surface de chauffe, les retours de flamme et les projections d'eau chaude et de vapeur sur le personnel.

Distribution.

Distribution par tiroirs. — La distribution de la vapeur dans les cylindres de la machine locomotive a généralement lieu par tiroirs.

Le mouvement est donné au tiroir par une coulisse circulaire oscillante, dans laquelle un coulisseau peut prendre diverses positions. La durée de l'admission de vapeur, ou « cran de marche », exprimée en centièmes de la course du piston, est d'autant plus longue que le coulisseau est plus près des extrémités de la coulisse.

Une des moitiés de la coulisse donne au tiroir le mouvement qui convient à la marche avant, l'autre moitié, celui qui convient à la marche arrière.

Le coulisseau peut être déplacé dans la coulisse et y prendre la position voulue pour un certain cran de marche, par l'action de l'*arbre de relevage* qui est commandé lui-même par le mécanicien à l'aide du *changement de marche*.

Les distributions à coulisses les plus employées sur les locomotives ont été : La coulisse de Stephenson à barres droites ou à barres croisées, la coulisse d'Alan, la coulisse de Gooch. Toutes ces distributions nécessitaient l'emploi de deux excentriques.

On emploie maintenant d'une façon presque générale la distribution Walschaerts qui ne nécessite qu'un excentrique.

Phases de la distribution. — Les différentes phases de la distribution sont pour la course directe du piston : l'admission, la détente, l'échappement anticipé ; elles sont pour la course rétrograde : l'échappement, la compression, l'admission anticipée.

On évalue la durée de ces phases en centièmes de la course du piston. Sur une machine donnée, à une durée d'admission donnée correspondent des durées bien déterminées de toutes les autres phases mais de plus, ces phases dépendent l'une de l'autre et l'on ne pourrait, même en modifiant les pièces du mouvement, obtenir tel rapport que l'on voudrait entre les différentes phases : ainsi, si l'on veut augmenter la détente, soit en la faisant commencer plus tôt, en augmentant le recouvrement du tiroir à l'admission, soit en la faisant terminer plus tard, en augmentant le recouvrement du tiroir à l'échappement, on augmente *ipsa facto* la durée de la compression ; dans le premier

cas parce qu'elle se termine plus tard ; dans le second cas, parce qu'elle commence plus tôt.

Étude d'une distribution. — On étudie l'avant-projet d'une distribution en se servant de l'épure de Zeuner qui néglige les obliquités des bielles (fig. 12) puis la distribution établie, on la vérifie à l'aide de l'épure elliptique.

ÉPURE DE ZEUNER (CRAN 4)

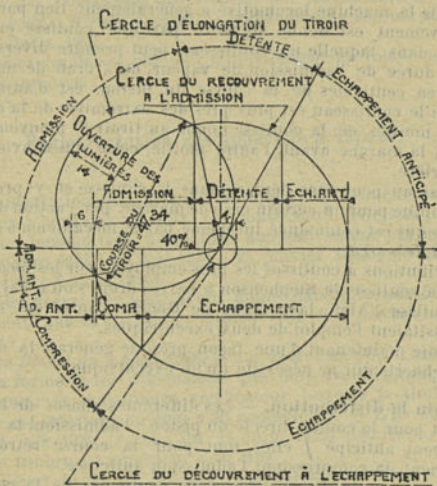


FIG. 12.

Si pour une position donnée du coulisseau dans la coulisse, on représente une position du tiroir en portant en abscisses la position du piston et en ordonnées l'élongation du tiroir à partir de sa position moyenne on a, en réunissant les points ainsi obtenus, une figure elliptique qui représente le mouvement du tiroir (fig. 13). En traçant des parallèles

virements à l'admission et à l'échappement du tiroir, on peut ainsi dé-

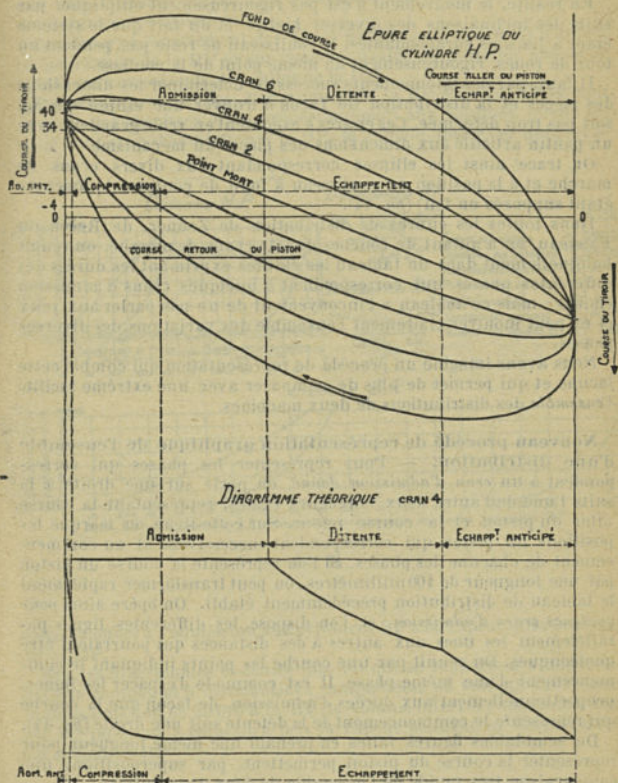


FIG. 13.

terminer toute l'ellipse correspondant à la posi-

tion donnée du coulisseau dans la coulisse qui a été choisie pour tracer l'épure.

En réalité, le mouvement n'est pas rigoureusement elliptique, par suite des inclinaisons des diverses bielles et du fait que le système étant à liaisons surabondantes, le coulisseau ne reste pas, pendant un tour de roues, rigoureusement au même point de la coulisse.

Il faut, par des tâtonnements successifs, déterminer les dimensions des pièces et la distribution de façon à trouver une ellipse qui ne soit pas trop déformée. Ces épures s'exécutent en vraie grandeur avec un pantin articulé aux dimensions des pièces du mécanisme.

On trace ainsi les ellipses correspondant aux divers crans de marche et à la position du coulisseau à fond de coulisse (la machine étant supposée en feu) (fig. 14).

Dans toutes les épures de distribution de Zeuner, de Reech ou Fauveau, on a autant de courbes que de crans de marche, on réunit habituellement dans un tableau les chiffres exprimant les durées des différentes phases qui correspondent à quelques crans d'admission choisis ; mais ce tableau a l'inconvénient de ne pas parler aux yeux et ne peut montrer clairement l'ensemble des variations des diverses phases.

Nous avons imaginé un procédé de représentation qui comble cette lacune et qui permet de plus de comparer avec une extrême facilité l'ensemble des distributions de deux machines.

Nouveau procédé de représentation graphique de l'ensemble d'une distribution. — Pour représenter les phases qui correspondent à un *cran d'admission donné*, on porte sur une droite à la suite l'une de l'autre deux longueurs égales, représentant la course aller du piston et la course retour. Sur cette ligne on marque les positions du piston qui correspondent successivement au commencement de chacune des phases. Si l'on représente la course du piston par une longueur de 100 millimètres, on peut transformer rapidement le tableau de distribution précédemment établi. On opère ainsi pour quelques crans d'admission, et l'on dispose les différentes lignes parallèlement les unes aux autres à des distances qui pourraient être quelconques. On réunit par une courbe les points indiquant le commencement d'une même phase. Il est commode d'espacer les lignes, proportionnellement aux durées d'admission, de façon que la courbe qui représente le commencement de la détente soit une droite (fig. 14).

De semblables figures faites en prenant une même longueur pour représenter la course du piston permettent, par superposition, une comparaison très rapide de l'ensemble de deux distributions.

Si l'on veut voir les rapports qui existent pour une *locomotive compound*, entre la distribution HP et la distribution BP, lorsque ces distributions sont conjuguées ; après avoir établi le diagramme

de la première comme il vient d'être dit, on établit celui de la seconde de la même façon mais en représentant la course du piston BP par une longueur égale à la précédente multipliée par le rapport des volumes des cylindres.

On conserve l'écartement des lignes parallèles qui a servi à tracer le diagramme de la HP et sur chacune d'elles on porte les phases de la BP qui correspondent à celles de la HP.

Par superposition des diagrammes de la HP et de la BP on voit de suite, les abscisses étant proportionnelles aux volumes, quelle est pour tout cran d'admission à la HP, la détente totale, et quel est le

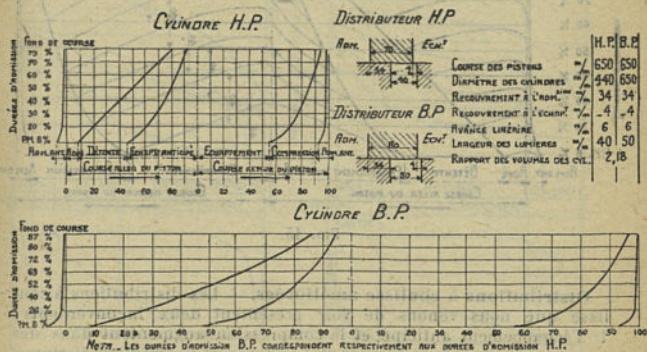


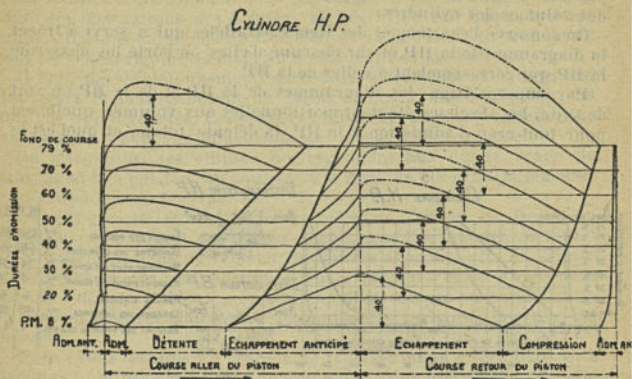
FIG. 14.

volume offert à l'admission aux cylindres BP à la vapeur qui s'échappe de la HP.

Sur les diagrammes ci-contre (fig. 14) qui se rapportent à une locomotive compound à distributions conjuguées, on voit qu'au-dessous d'une admission de 20 0/0 à la HP, le volume offert à l'admission à la BP est inférieur à celui qu'a pris la vapeur pendant sa détente dans les cylindres HP.

Ouverture des lumières. — Les diagrammes précédents ne renseignent pas sur la grandeur de l'ouverture des lumières. On peut les compléter pour chaque cran d'admission, en portant en ordonnées

cette grandeur sur chacune des lignes du diagramme. On obtient ainsi la figure ci-dessous (fig. 15).



Distributions à coulisse améliorées. — Les distributions à coulisse que nous venons de voir présentent deux inconvénients : 1° l'échappement anticipé et la compression augmentent dans des proportions gênantes à mesure que la durée de l'admission diminue ; 2° l'ouverture des lumières diminue avec l'admission.

Pour remédier à ces inconvénients qui sont surtout sensibles dans la marche à grande vitesse pendant laquelle l'effort à développer par tour de roues est réduit et par conséquent l'admission très faible, on a imaginé depuis longtemps et l'on imagine encore des distributions nouvelles.

Le but de ces distributions est de modifier le mouvement du tiroir de façon à le ralentir pendant la détente et l'échappement, ce qui a pour résultat d'augmenter la durée de ces périodes en réduisant celles de l'échappement anticipé, de la compression et de l'admission anticipée si on les compare à celles de la distribution Walschaerts pour une même durée d'admission.

Sur le diagramme dit elliptique le fait est rendu visible par une déformation de la courbe qui représente le mouvement du tiroir. Cette courbe dont la forme s'éloigne sensiblement de celle d'une

ellipse est moins inclinée sur l'axe des abscisses pendant les périodes de détente et d'échappement indiquant une vitesse moins grande du tiroir, et plus inclinée vers les extrémités ¹.

Parmi ces nombreuses tentatives nous citerons les distributions Michel et Bauthière.

Intéressantes au point de vue théorique elles ont néanmoins, outre l'inconvénient pratique de compliquer par l'introduction de pièces

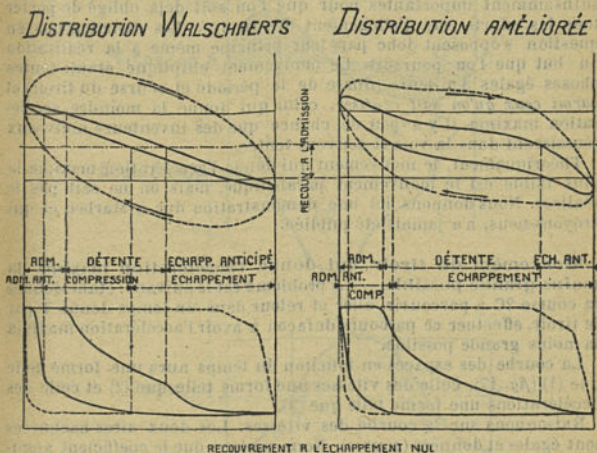


FIG. 16.

et d'articulations supplémentaires, la distribution si simple de Walschaerts, l'inconvénient théorique suivant. Dans le même temps,

¹ Il faut remarquer que le coefficient angulaire de la tangente à la courbe elliptique ne mesure pas rigoureusement la vitesse du tiroir, car les abscisses qui sont proportionnelles aux déplacements du piston ne sont pas proportionnelles au temps.

C'est ce qui explique qu'aux extrémités droite et gauche la tangente est verticale puisque la vitesse du piston est nulle alors que la vitesse du tiroir est finie et non nulle.

celui d'un tour de roues, on ralentit le mouvement du tiroir dans sa position moyenne, il est donc absolument nécessaire de l'augmenter dans ses positions extrêmes aux environs des points où le tiroir change de sens, ce qui augmente les forces d'inertie. Or, avec les distributions usuelles et les dimensions de plus en plus grandes des cylindres, qui conduisent à augmenter les dimensions et les poids des tiroirs, ces forces d'inertie sur le mécanisme sont déjà suffisamment importantes pour que l'on soit déjà obligé de porter tous les efforts sur l'allègement des tiroirs. Les distributions en question s'opposent donc par leur principe même à la réalisation du but que l'on poursuit. Le mouvement elliptique étant, toutes choses égales d'ailleurs (durée de la période et course du tiroir) et *parmi ceux qu'on sait réaliser*, celui qui donne la moindre accélération maxima, il y a peu de chance que des inventeurs nouveaux réussissent dans la voie si souvent tentée.

Théoriquement, le mouvement qui donne l'accélération maxima la plus faible est le mouvement parabolique, mais on ne sait pas le réaliser. Nous donnons ici une démonstration due à Marbec et qui croyons-nous, n'a jamais été publiée.

Mouvement du tiroir qui donne l'accélération maxima la moins grande possible. — Le problème est le suivant : étant donnée la course $2C$ à parcourir, aller et retour dans un temps donné T par le tiroir, effectuer ce parcours de façon à avoir l'accélération maxima la moins grande possible.

La courbe des espaces en fonction du temps aura une forme telle que (1) (*fig. 17*), celle des vitesses une forme telle que (2) et celle des accélérations une forme telle que (3).

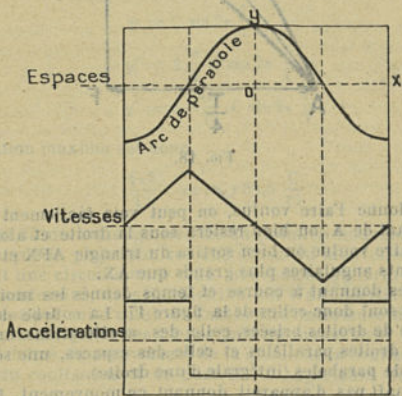
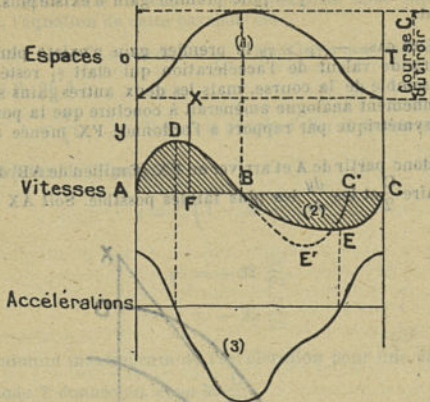
Raisonnons sur la courbe des vitesses. Les deux aires hachurées sont égales et données (course). Nous voulons que le coefficient angulaire $\frac{dy}{dx}$ maximum soit aussi petit que possible.

Il faut pour cela que B soit au milieu entre A et C . En effet soit γ_1 le plus grand coefficient angulaire entre A et B et γ_2 le plus grand entre B et C . Supposons B plus près de A que C .

PREMIER CAS $\gamma_1 < \gamma_2$. — On remplace BEC par $BE'C'$ égal à ADB et renversé. Dans $ADBE'C'$, la plus grande accélération est γ_1 , donc premier gain.

On dilate ensuite toute la courbe horizontalement pour amener C' en C , ce qui amène B au milieu de AC , les dx augmentent, donc deuxième gain.

Enfin, comme cette dernière opération a changé l'aire en l'agrandissant, on diminue toutes les ordonnées proportionnellement, les dy diminuent.



DEUXIÈME CAS. — Si $\gamma_1 = \gamma_2$ le premier gain n'existe plus, les autres subsistent.

TROISIÈME CAS. — $\gamma_1 > \gamma_2$ le premier gain n'existe plus puisque la plus grande valeur de l'accélération qui était γ_1 reste encore γ_1 pour l'ensemble de la course, mais les deux autres gains subsistent. Un raisonnement analogue amènerait à conclure que la portion ABD doit être symétrique par rapport à l'ordonnée FX menée au milieu de AB.

Il faut donc partir de A et arriver en FX (F milieu de AB) de manière à avoir l'aire $\frac{C}{2}$ et les $\frac{dy}{dx}$ les plus faibles possible. Soit AX (fig. 18) la

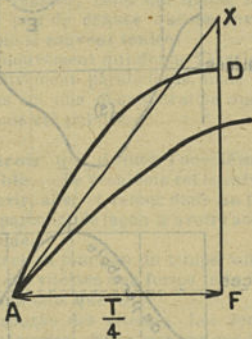


FIG. 18.

droite qui donne l'aire voulue, on peut voir facilement que toute courbe partant de A, ou bien restera sous la droite et alors ne donnera pas l'aire voulue ou bien sortira du triangle AFX et alors aura des coefficients angulaires plus grands que AX.

Les courbes donnant à course et temps donnés les moindres forces d'inertie sont donc celles de la figure 17. La courbe des vitesses est une série de droites brisées, celle des accélérations une série de tronçons de droites parallèles et celle des espaces, une série d'arcs de sommets de paraboles (intégrale d'une droite).

On ne connaît pas d'appareil donnant ce mouvement. Le bénéfice en serait très sensible. En effet, comparons-le au mouvement pendulaire de même période et même course

Soit $yo\ x$ deux axes de coordonnées auxquels nous rapportons la parabole, l'équation de cette parabole est :

$$x^2 = -2p(y - c), \quad c \text{ étant ici la demi-course ;}$$

pour $y = 0$, on a :

$$x = \frac{T}{4}, \quad T \text{ étant la période d'aller et de retour ;}$$

d'où l'équation de la parabole

$$y = C \left(1 - 16 \frac{x^2}{T^2} \right) ;$$

donc

$$y' = -32 \frac{Cx}{T^2},$$

$$y'' = -32 \frac{C}{T^2}.$$

La minimum maximorum de l'accélération pour une course $2C$ et une période T donnée est donc $32 \frac{C}{T^2}$.

Pour un mouvement pendulaire on a

$$y = C \sin 2\pi \frac{t}{T},$$

$$y' = 2 \frac{\pi}{T} C \cos 2\pi \frac{t}{T},$$

$$y'' = -\frac{4\pi^2}{T^2} C \sin 2\pi \frac{t}{T} ;$$

l'accélération maxima est donc

$$\frac{4\pi^2}{T^2} C = \sim 39,5 \frac{C}{T^2} ;$$

on voit par là un avantage sérieux du premier mouvement.

On sait que la projection sur une droite du mouvement d'un point qui décrit une circonférence d'un mouvement uniforme est un mouvement pendulaire ; dans une distribution Walschaerts, le mouvement du piston et par suite celui de l'extrémité inférieure du levier oscillant est aux obliquités des bielles près un mouvement pendulaire : il en est de même du mouvement de la queue de la coulisse et par suite de celui du coulisseau et de l'extrémité supérieure du levier oscillant.

Le mouvement du tiroir qui est une combinaison des mouvements des deux extrémités des bielles est aux obliquités

des bielles près, un mouvement pendulaire et son accélération sera au moins égale à $39,5 \frac{C}{T^2}$.

Quoi qu'il en soit les raisonnements généraux sur la symétrie de la courbe des vitesses nous amènent à cette conclusion : que le maximum d'accélération du tiroir sera le plus petit quand la courbe des vitesses et par suite celle des espaces sera une courbe symétrique.

APPLICATION DE LA THÉORIE DES CINÈMES DE MARBEC A LA DÉTERMINATION DES VITESSES ET DES ACCÉLÉRATIONS DES DIFFÉRENTES ARTICULATIONS D'UN MOUVEMENT DE DISTRIBUTION.

En général, on ne détermine pas les accélérations prises par les différentes pièces d'un mouvement de distribution. probablement parce qu'on ne possède pas de méthode commode pour les déterminer en grandeur et direction,

La détermination de ces accélérations pourrait cependant éviter de graves mécomptes ; c'est pourquoi nous exposons ici la méthode imaginée par Marbec et nous montrons en l'appliquant à un exemple concret qu'elle ne présente ni longueurs ni difficulté d'application.

Rappel de cinématique graphique ¹.

Le mouvement d'une figure plane, de forme invariable, dans son plan, est, géométriquement, entièrement défini lorsqu'on connaît les trajectoires de deux de ses points A et B. Quant à la loi cinématique du mouvement sur la trajectoire elle ne peut être arbitrairement choisie que pour un seul de ces points A par exemple, attendu que lorsque la position de A est fixée sur sa trajectoire, celle de B s'ensuit sur la sienne.

On voit donc que lorsqu'on se donne la trajectoire des points A et B, et la loi cinématique du mouvement de A (c'est-à-dire la connaissance à chaque instant de la vitesse et de l'accélération de A), on doit pouvoir en déduire à chaque instant la vitesse et l'accélération de B puis de tout point lié invariablement à A et B.

Détermination des vitesses :

soient données la figure invariable A. B. C.

la trajectoire de A et vitesse AA_1 (fig. 19).

la trajectoire de B et vitesse BB_1

¹ Cours de machines du Génie maritime.

M. d'OCAGNE, Cours de géométrie de l'École polytechnique.

Si par un point O quelconque du plan, on mène les vecteurs \vec{oa} et \vec{ob} respectivement équipollents à \vec{AA}_1 et \vec{BB}_1 \vec{ab} représente la vitesse relative de B par rapport à un système $[A]$ entraîné avec A dans un mouvement de translation. Mais le mouvement relatif de B par rapport à ce système, est une rotation autour de A puisque la longueur AB est constante; la vitesse relative \vec{ab} est donc perpendiculaire à AB , ce qui permet, quand on connaît AA_1 ou Oa et la direction BB_1 de Ob , d'en déduire \vec{Ob} en menant \vec{ab} perpendiculaire à AB .

On démontre que la figure abc formée par les extrémités des vecteurs équipollents aux vecteurs vitesses menés par un point quelconque O est semblable à la figure ABC ¹. C'est à cette figure abc que Marbec a donné le nom de *cinème du premier ordre* ou figure des vitesses de pôle O pour la position considérée de la figure ABC . On peut donc dire que le vecteur vitesse d'un point quelconque C de la figure mobile, à l'instant considéré, est donné, en grandeur et direction, par le vecteur qui joint le pôle O au point homologue du cinème correspondant.

En particulier on a la vitesse du milieu M de AB par le vecteur joignant le pôle O au milieu m de ab .

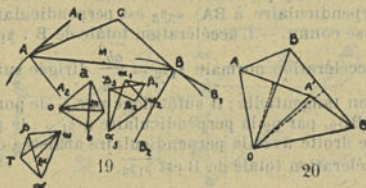


Fig. 19 et 20.

¹ Soit une figure F se déplaçant dans son plan.

Soient $AB, A'B'$ (fig. 20) deux positions infiniment voisines de la droite AB dont le mouvement définit celui de la figure F .

Les vecteurs AA', BB' sont proportionnels aux vitesses de A et de B .

On peut amener AB en $A'B'$ par une rotation autour de O .

Les triangles OAA', OBB' sont semblables, on en déduit que l'angle de AA' avec BB' est égal à l'angle AOB et que

$$\frac{AA'}{OA} = \frac{BB'}{OB}$$

Il s'ensuit que si d'un point quelconque on mène des vecteurs équipollents à AA' et BB' l'extrémité de ces vecteurs forme une figure directement semblable à la figure F .

On peut d'ailleurs remarquer que, puisque les figures ABC et *abc* sont semblables et que les droites homologues AB et *ab* sont rectangulaires tous les autres couples de droites homologues AC et *ac*; BC et *bc* sont aussi rectangulaires.

Détermination des accélérations. — Nous supposons connus, outre les vitesses et les trajectoires de A et B, et en particulier le rayon de courbure ρ_b de la trajectoire de B (fig. 19) l'accélération de A.

L'accélération relative de B par rapport au système [A] a, suivant BA,

une composante normale donnée par $\frac{ab^2}{AB}$. Une construction facile

permet d'obtenir la grandeur $\beta_1\alpha_1$ de cette composante que nous pouvons porter dans le sens de B vers A sur une parallèle à BA. — Le

système de comparaison [A] étant animé d'un simple mouvement de translation, l'accélération totale de B, $\beta_1\beta_3$ est la somme géométrique

de celle de A ($\alpha_1\alpha_3$) et de l'accélération relative de B par rapport au système A. La projection de $\beta_1\beta_3$ sur AB est donc la somme des projections

de l'accélération de A : $\alpha_1\alpha_3$ et de l'accélération relative de B ; cette dernière projection étant la composante normale suivant BA de

l'accélération relative $\beta_1\alpha_1$ (l'accélération tangentielle de B par rapport à [A] étant perpendiculaire à BA) $\alpha_3\beta_3$ est perpendiculaire à BA. —

$\alpha_1\alpha_3$ est supposé connu. — L'accélération totale de B : $\beta_1\beta_3$ se décompose

en une accélération normale $\beta_1\beta_2 = \frac{ob^2}{\rho_b}$ dirigée suivant $\overline{BB_2}$ et

une accélération tangentielle ; il suffit donc par β_1 de porter $\overline{\beta_1\beta_2}$, parallèlement à $\overline{BB_2}$, par β_2 la perpendiculaire à $\beta_1\beta_2$; le point de rencontre

de cette droite avec la perpendiculaire abaissée de α_3 sur AB donne β_3 ; l'accélération totale de B est $\overline{\beta_1\beta_3}$.

Cinème du deuxième ordre ou figures des accélérations. —

On démontre comme précédemment que si par un point quelconque ω on mène des vecteurs équipollents aux vecteurs accélération, la figure $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ formée par les extrémités de ces vecteurs est semblable à la figure a, b, c et par suite à la figure ABC, ...

Cette figure $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ constitue le cinème du deuxième ordre de pôle ω , pour la position considérée de la figure A, B, C, Or nous venons de voir comment du vecteur accélération $\overline{\alpha_1\alpha_3}$ du point A, on peut déduire celui $\overline{\beta_1\beta_3}$ du point B.

Il suffit de mener par ω des vecteurs équipollents $\overline{\omega\alpha}$ et $\overline{\omega\beta}$ à ces deux accélérations et de construire sur $\overline{\omega\beta}$ une figure semblable à la figure ABC pour avoir le cinème du deuxième ordre $\alpha\beta\gamma, \dots$

Ainsi, le vecteur accélération d'un point quelconque C de la figure mobile, à l'instant considéré, est donné, en grandeur et direction, par

le vecteur qui joint le pôle ω au point homologue γ du cinème du deuxième ordre correspondant.

En particulier, on a l'accélération du milieu M de AB, par le vecteur joignant le pôle ω au milieu μ de $\alpha\beta$.

Le cinème des accélérations n'est pas orthogonal au cinème des vitesses parce que celui-ci n'est pas de grandeur constante.

Autre construction pour la détermination des accélérations.

Soit une figure AB de grandeur constante qui glisse dans son plan, soient \vec{oa} et \vec{ob} les vitesses de A et de B ; ab est perpendiculaire à AB (fig. 21 et 22).

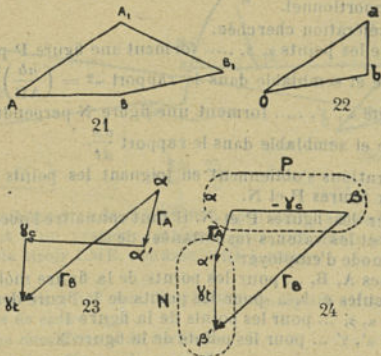


FIG. 21 à 24.

Pour construire les accélérations nous allons décomposer le mouvement en une translation d'entraînement égale au mouvement de A et une rotation instantanée ω . — $\omega = \frac{ab}{AB}$.

Le mouvement d'entraînement étant une translation, il n'y a pas d'accélération complémentaire et l'accélération de B est égale à la somme géométrique de l'accélération de A et de l'accélération relative de B dans le mouvement de rotation.

L'accélération relative de B peut être décomposée en une accélération normale ou centripète.

et une accélération tangentielle

$$\gamma_t = AB \frac{d\omega}{dt}$$

Si le vecteur $\overline{aa'}$ représente l'accélération du point A supposée connue, nous aurons celle du point B en lui ajoutant à partir de a' les vecteurs γ_c parallèle à AB de B vers A et γ_t perpendiculaire à AB (fig. 23).

Il revient au même de porter à partir de l'origine a du vecteur $\overline{aa'}$ le vecteur $-\gamma_c$, soit $\overline{a\beta_1}$, par conséquent parallèle et proportionnel à \overline{AB} et de même sens que lui (fig. 24); puis à partir de l'extrémité a' du vecteur $\overline{aa'}$ le vecteur γ_t , soit $\overline{a'\beta'}$; ce vecteur est perpendiculaire à AB et lui est proportionnel.

$\overline{a\beta}$ est l'accélération cherchée.

On voit que les points a, β, \dots forment une figure P parallèle à la figure mobile et semblable dans le rapport $\omega^2 = \left(\frac{ab}{AB}\right)^2$ et que les points tels que a', β', \dots forment une figure N perpendiculaire à la figure mobile et semblable dans le rapport $\frac{d\omega}{dt}$.

Les accélérations s'obtiennent en joignant les points homologues β, β' des deux figures P et N.

Pour tracer les figures P et N, il faut connaître l'accélération $\overline{aa'}$ d'un point A et les valeurs instantanées de ω .

Il est commode d'employer :

Les capitales A, B, ... pour les points de la figure mobile ;

Les minuscules a, b, ... pour les points de la figure des vitesses ;

Les lettres α, β, \dots pour les points de la figure P ;

Les lettres $\alpha', \beta' \dots$ pour les points de la figure N.

Systèmes articulés. — Un système articulé est composé de figures invariables ayant des points communs. Si l'on considère les figures des vitesses et des accélérations, relatives aux parties invariables de ces systèmes, elles forment des chaînes de figures qui se déforment en restant semblables individuellement à elles-mêmes. Le rapport de similitude varie en passant d'une figure à l'autre; la liaison imposant seulement des valeurs identiques, pour la vitesse et l'accélération des points d'articulation supposés appartenir à chacune des deux figures.

APPLICATION DE LA THÉORIE DES CINÈMES DE MARBEC A LA DÉTERMINATION DES ACCÉLÉRATIONS DES DIFFÉRENTES ARTICULATIONS D'UN MOUVEMENT DE DISTRIBUTION WALSCHAERTS.

Distribution extérieure de la locomotive 241-AOCEM (P.-L.-M.).

D'un même côté de la locomotive les distributions extérieure (BP) et intérieure (HP) sont conjuguées.

Le diagramme de la distribution extérieure est donné par la figure 25.

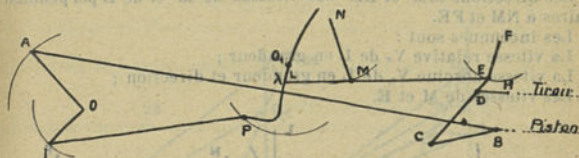


Fig. 25.

Il n'y aurait pas grande difficulté à appliquer la théorie de Marbec s'il s'agissait d'un système articulé ordinaire, mais ici la bielle de commande de tiroir LME, est assujettie à rester :

En

- L sur la coulisse O_1P dont l'extrémité P se déplace sur une circonférence de centre O_1 ;
- M sur une circonférence de centre N ;
- E sur une circonférence de centre F ;

le point L de cette bielle ne peut pas rester en coïncidence avec le point X de la coulisse ; il se déplace dans la coulisse.

Nous traiterons d'abord le cas de cette bielle en supposant connues la vitesse et l'accélération du point P, queue de la coulisse.

Vitesses et accélérations des points de la bielle de commande du tiroir (fig. 26). — La bielle LME est articulée en M et E à l'extrémité de deux bielles NM et FE ; N et F étant fixes. Son extrémité L (coulisseau) doit rester sur une coulisse O_1P de rayon $R = EL$.

On connaît la vitesse et l'accélération V_P et γ_P du point P. Par suite (par similitude, centre O_1) la vitesse et l'accélération V_X et γ_X du point X de la coulisse, qui coïncide avec le coulisseau L, à l'instant considéré.

Le mouvement du coulisseau peut se décomposer en :

1° Un mouvement d'entraînement : celui du point λ de la coulisse défini par V_λ et γ_λ ;

2° Un mouvement relatif sur la coulisse.

De ce dernier mouvement on ne connaît que la direction de la vitesse relative V_r ; tangente en λ à la coulisse ; sa grandeur ainsi que l'accélération relative γ_r sont inconnues.

Nous voulons déterminer les vitesses et les accélérations des points L, M, E.

Vitesses. — On connaît : V_λ de λ en grandeur et direction, perpendiculaire à $O_1\lambda$;

La direction LL' de la vitesse relative de L ;

Les directions MM' et EE' des vitesses de M et de E perpendiculaires à NM et FE .

Les inconnues sont :

La vitesse relative V_r de L en grandeur ;

La vitesse absolue V_L de L en grandeur et direction ;

Les vitesses de M et E.

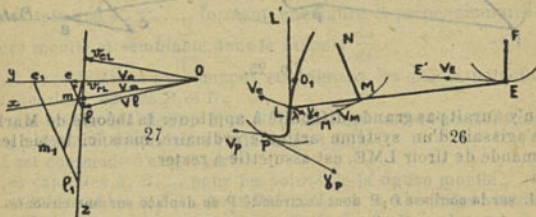


Fig. 26 et 27.

Si l'on connaissait les vitesses V_L , V_M , V_E de L, M, E ; en traçant la figure des vitesses ol , om , oe ; les points l , m , e seraient sur une ligne droite perpendiculaire à LME , et m diviserait le comme M divise LE .

En traçant OV_λ connu, on aurait en V_r la vitesse relative V_r du coulisseau dans la coulisse, du reste la direction en est connue ; c'est la tangente en λ à la coulisse.

D'où la construction suivante (fig. 27) :

du pôle o tracer ox parallèle à la vitesse de M ;

oy parallèle à la vitesse de E ;

ov_λ parallèle et égal à la vitesse d'entraînement de λ ; ve parallèle à la tangente en λ à la coulisse.

Il suffit de tracer une droite lme perpendiculaire à LME divisée dans le rapport $L.M.E.$ par les droites $V_c z - ox - oy$, construction facile représentée sur la figure.

On détermine ainsi :

$$\begin{aligned}\overline{ol} &= V_L & \overline{V_c l} &= V_r \\ \overline{om} &= V_M \\ \overline{oe} &= V_E\end{aligned}$$

Accélération. — *Accélération de M.* — Supposons connue l'accélération de L : Γ_L connaissant la trajectoire de M et en particulier son rayon de courbure ρ_M ainsi que la vitesse V_M on a vu dans les préliminaires par quelle construction on pouvait trouver Γ_M .

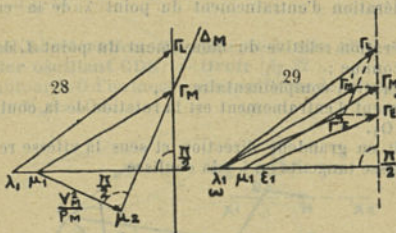


FIG. 28 et 29.

On porte (fig. 28) à partir de l'origine λ_1 de ce vecteur sur une parallèle à LM de M vers L la composante normale $\mu_1 \lambda_1 + = \frac{\overline{lm}^2}{LM}$ de l'accélération relative de M_1 .

On trace le vecteur $\lambda_1 \Gamma_L$, équipollent à Γ_L accélération de L supposée connue, la composante tangentielle de l'accélération relative de M est dirigée suivant une perpendiculaire abaissée de Γ_L sur $\lambda_1 \mu_1$. Pour en trouver l'extrémité, l'origine étant supposée en Γ_L , on mène à partir de μ_1 en $\mu_1 \mu_2$ la composante normale de Γ_M égale à $\frac{V_M^2}{\rho_M}$ parallèle à MN de M vers N ; à partir de μ_2 une perpendiculaire Δ_M à $\mu_1 \mu_2$ le point de rencontre de cette droite avec la perpendiculaire abaissée de Γ_L à LM donne l'extrémité Γ_M de l'accélération de $M = \mu_1 \Gamma_M$.

Accélération de E. — On trouverait de même l'accélération Γ_E en Γ_E du point E .

Si nous construisons la figure des accélérations (fig. 29) en prenant

comme pôle, le point λ_1 et en menant des vecteurs équipollents à Γ_M et Γ_E en Γ'_M et Γ'_E , on sait que les points Γ_L , Γ'_M , Γ'_E sont en ligne droite et que Γ'_M divise $\Gamma_L\Gamma'_E$ comme M divise LE, mais on voit par la construction même que Γ_M divise $\Gamma_L\Gamma_E$ comme Γ'_M divise $\Gamma'_L\Gamma'_E$.

C'est cette propriété qui nous permettra de déterminer à la fois Γ_L qui est encore inconnue, Γ_M et Γ_E .

Rappelons-nous que Γ_M doit être sur la droite Δ_M (fig. 28) connue et Γ_E sur la droite analogue Δ_E connue, que $\Gamma_L\Gamma_M\Gamma_E$ sont sur une droite perpendiculaire à LME et divisée dans le même rapport.

Détermination de l'accélération Γ_L du point L de la bielle. — Cette accélération est la somme géométrique de :

- 1° L'accélération d'entraînement du point λ de la coulisse : γ_c connue ;
- 2° L'accélération relative du mouvement du point L dans la coulisse : γ_r inconnue ;
- 3° L'accélération complémentaire : γ_c .

Le mouvement d'entraînement est la rotation de la coulisse autour de son axe, O_1 .

On connaît en grandeur direction et sens la vitesse relative de L dans la coulisse tangente en λ à la coulisse.

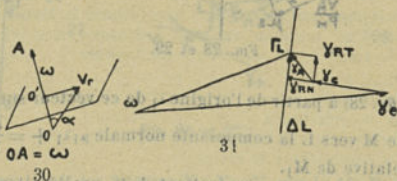


FIG. 30 et 31.

On sait d'après le théorème de Coriolis que si OA est le vecteur représentant la rotation instantanée du mouvement d'entraînement, ω étant la vitesse angulaire, OV_r un vecteur équipollent à la vitesse relative faisant dans le cas général un angle α avec le précédent, la vitesse du point V_r dans la rotation OA , est en grandeur, direction et sens la moitié de l'accélération complémentaire (fig. 30).

$$\gamma_c = 2\omega \cdot V_r \cdot \sin \alpha.$$

Dans le cas actuel $\alpha = \frac{\pi}{2}$ et l'accélération complémentaire est le

double de la vitesse de l'extrémité d'un vecteur équipollent au vecteur V_{rL} , transporté en O_1 dans le mouvement de rotation d'entraînement de la coulisse.

Construction de Γ_L (fig. 31). — Partant du pôle des accélérations ω on fera donc la somme géométrique de γ_e, γ_F ; on ne connaît pas l'accélération relative γ_r , mais on connaît sa composante normale γ_{rn} parallèle au rayon de la coulisse passant par λ et égale à $\frac{\overline{V_{rL}}^2}{R}$ on ajoute géométriquement ce vecteur aux deux précédents, l'extrémité de Γ_L se trouve sur la perpendiculaire à ce dernier vecteur passant par son extrémité, soit Δ_L cette droite.

Il ne reste plus qu'à déterminer une droite perpendiculaire à LME partagée par $\Delta_L \Delta_M \Delta_N$ dans le rapport L-M-E pour avoir les accélérations $\omega \Gamma_L, \omega \Gamma_M, \omega \Gamma_E$.

Vitesses et accélérations du système-bielle AB; — manivelle OA; — levier oscillant CDE; — tiroir (fig. 32).

A tourne autour de O d'un mouvement uniforme de vitesse angulaire ω . On connaît $V_A = \omega OA$.

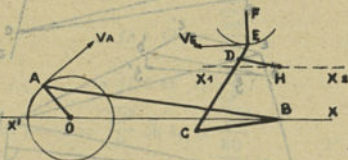


Fig. 32.

Nous avons vu comment on détermine V_E et γ_E vitesse et accélération de E que nous supposons maintenant connues.

Figure des vitesses (fig. 33). — Par un pôle O on mène Oa équipollent à V_A .

La vitesse de B est dirigée suivant OB. Sa vitesse relative par rapport à A est perpendiculaire à AB.

Par a on mènera ab perpendiculaire à AB et ob parallèle à OB.

ab et ob seront les vitesses relative et absolue de B.

La vitesse relative de C par rapport à B est dirigée suivant la perpendiculaire à BC; un lieu de l'extrémité du vecteur vitesse de C sera donc la perpendiculaire bx élevée en b à la direction CB.

Le point représentatif de F de vitesse nulle est le pôle O, on mène Oe parallèle et égal à V_E .

La vitesse relative de C par rapport à E est perpendiculaire à CE. Donc le point C se trouve à l'intersection de bx et de la perpendiculaire menée de e à CE ; Oc est la vitesse de C.

La vitesse du point D sera obtenue en cherchant sur ce le point d qui partage ce comme D partage CE ; od est la vitesse de D.

La vitesse relative de H par rapport à D est perpendiculaire à HD sur dy , mais la vitesse absolue de H est dirigée suivant la direction du mouvement du tiroir parallèle à OB, le point d'intersection h de dy et de ob donne la vitesse absolue oh de H.

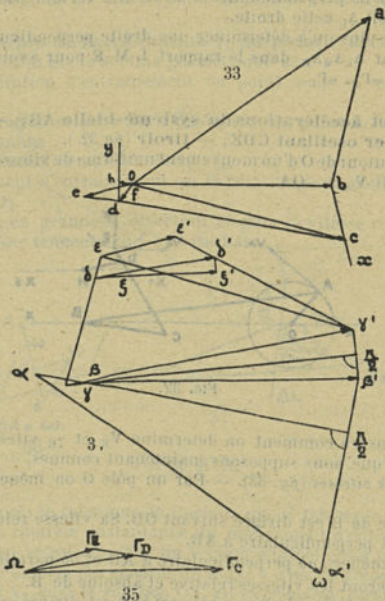


FIG. 33 à 35.

Détermination des accélérations. — Nous déterminons ces accélérations par les figures P et N (voir préliminaires).

L'accélération T d'un point peut se décomposer en

une accélération normale Γ_N dont la valeur est $\frac{V^2}{\rho}$

une accélération tangentielle Γ_T dont la valeur est $\frac{dV}{dt}$

V = vitesse ;

ρ = rayon de courbure.

On va construire le diagramme des accélérations normales N puis celui des accélérations tangentielles P . Soit le pôle m (fig. 34).

Accélérations normales.

$$\alpha\alpha' // \text{à } OA = \frac{oa^2}{OA};$$

$$\alpha\beta' // \text{à } AB = \frac{ab^2}{AB};$$

$$\beta\gamma' // \text{à } BC = \frac{cb^2}{CB};$$

$$\gamma\epsilon' // \text{à } CE = \frac{ce^2}{CE};$$

$$\epsilon\varphi' // \text{à } EF = \frac{ef^2}{EF};$$

$$\delta \text{ est déterminé par } \gamma\delta = \frac{cd^2}{CF} \text{ ou } \delta\epsilon = \frac{ed^2}{ED}$$

$$\delta\zeta' // \text{à } DH = \frac{dh^2}{DH}.$$

Accélérations tangentielles. — Le mouvement du point A étant supposé uniforme $m = C^{te}$.

l'accélération tangentielle $\frac{d_m}{dt} = 0$, donc l'accélération du point A se réduit à l'accélération normale $\alpha\alpha'$, donc le point α' est en m .

L'accélération totale de B a pour direction BO , et comme d'autre part la composante tangentielle est perpendiculaire à BA donc à $\alpha\beta'$, le point β' est à l'intersection de la parallèle à BO menée par β et de la perpendiculaire à $\alpha\beta'$ menée par m .

Quant à l'extrémité γ' de l'accélération de C on en connaît un lieu qui est la perpendiculaire menée par β' à $\beta\gamma'$, soit $\beta'x$.

L'accélération de F est nulle, $\varphi\varphi' = 0$, donc φ' est en φ .

Du point E on connaît son accélération en grandeur et direction, de ϵ on mène une perpendiculaire à $\epsilon\varphi'$.

L'accélération tangentielle par rapport à C doit passer par ϵ' et doit être perpendiculaire à CE, on obtient γ' à l'intersection de cette perpendiculaire menée par ϵ' avec $\beta'x$.

L'accélération de C est donc $\gamma\gamma'$.

Pour avoir l'accélération de D, il faut faire la figure des accélérations relative au système indéformable CE.

Par un pôle Ω on porte $\Omega\Gamma_C$ et $\Omega\Gamma_D$ équipollents à $\gamma\gamma'$ et $\epsilon'\epsilon'$ (fig. 35) ;

Puis sur la droite $\Gamma_C\Gamma_E$ on cherche un point Γ_D tel que ce point divise $\Gamma_C\Gamma_E$ comme D divise CE.

$\Omega\Gamma_D$ est l'accélération de D, on reporte cette accélération à partir de δ ; le point δ' doit se trouver comme vérification sur la droite $\gamma'\epsilon'$.

L'accélération totale de ξ est parallèle à OB.

L'accélération tangentielle de D par rapport à H est, suivant la perpendiculaire à $\delta\xi$ menée par δ' , $\xi\xi'$ est l'accélération totale de H.

Système contre-manivelle OI. — bielle de commande de coulisse IP — Ce système est analogue au système manivelle bielle

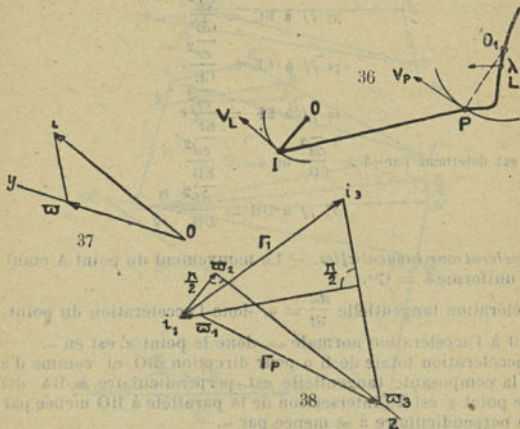


Fig. 36 à 38.

à cela près que P se déplace sur un cercle O_1 au lieu de se déplacer sur une droite passant par O.

Vitesses (fig. 37). — Pôle O ; O₁ équipollent à la vitesse de I :

$$V_i = \omega^2 OI.$$

La vitesse de P est dirigée suivant O₁P perpendiculaire à O₁P.

La vitesse relative de P par rapport à [I] est perpendiculaire à PI ; on mène i₁ perpendiculaire à O₁P on trouve ω on a $V_p = \omega \omega$.

Vitesse relative de P par rapport à [I] = $i_1 \omega$.

Accélérations (fig. 38). — On connaît l'accélération de I qui se réduit à une accélération normale

$$\Gamma_i = \frac{v_i^2}{OI}$$

à partir de i_1 menons $i_1 i_3$ équipollents à Γ_i .

L'accélération relative de P par rapport à I a une composante normale $\frac{i_1 \omega^2}{PI}$ dirigée de P vers I que nous porterons sur une parallèle à PI de P vers I de façon que son extrémité arrive en i_1 .

L'accélération totale de P a une composante normale égale à $\frac{V_p^2}{O_1 P}$ que nous porterons en $\omega_1 \omega_2$ dans le sens PO_1 et une composante tangentielle perpendiculaire à PO_1 , menons $\omega_2 z$ perpendiculaire à PO_1 ; l'extrémité de l'accélération Γ_p de P est sur cette droite ; menons par i_3 la perpendiculaire à PI qui rencontre $\omega_2 z$ en ω_3 .

$$\Gamma_p = \omega_1 \omega_3.$$

$\omega_2 \omega_3$ est sa composante tangentielle.

On déterminerait de même sans difficulté les vitesses et les accélérations du mouvement de distribution intérieur en partant :

1° Du mouvement du piston qui conduit l'extrémité inférieure du levier oscillant intérieur et

2° Du mouvement de l'arbre de renvoi F qui conduit l'extrémité supérieure du même levier oscillant.

Vérification des résultats obtenus par la méthode exposée ci-dessus. — Nous avons vu comment, de proche en proche, on obtient d'une part la vitesse de l'articulation supérieure E du levier oscillant ; d'autre part, la vitesse de son articulation inférieure C. On en déduit la vitesse du point intermédiaire D et enfin celle du tiroir H.

Il nous a paru intéressant de vérifier pour le tiroir et le piston les résultats ainsi obtenus. Cette vérification faite pour la 241-A a été très satisfaisante.

Nous avons cherché les vitesses et les accélérations des divers

points pour différentes positions du mécanisme de la 241-A marche A', cran 50-63 (positions 0, 6, 12, 15). Les résultats obtenus sont contenus dans le tableau A ci-dessous. Les figures 39 et 40 sont une réduction

LOCOMOTIVE 241-A. Distribution BP. (Exterieur)
Cran 50-63 - Marche A' - Echelle $\frac{1}{40}$

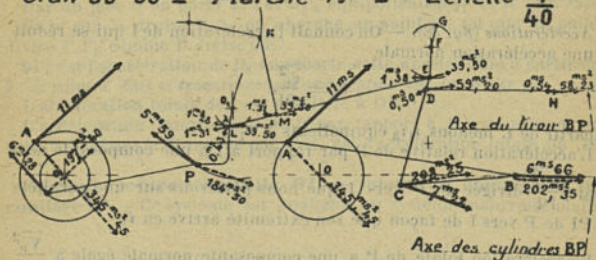


FIG. 39.

LOCOMOTIVE 241-A. Distribution HP. (Inte)
Cran 50-63. Marche A'

Echelle $\frac{1}{40}$

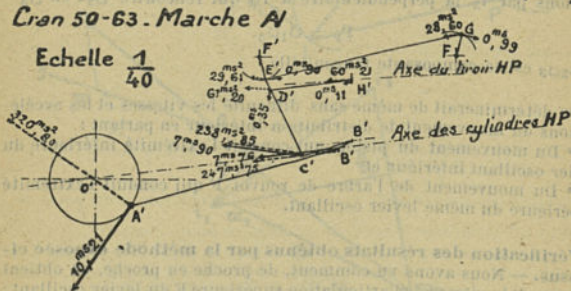


FIG. 40.

de l'épure qui résume les résultats de la détermination des vitesses et des accélérations pour les deux distributions BP et HP de la locomotive en question, pour une position donnée de la manivelle et

pour le cran d'admission 50-63. Voici comment nous avons opéré pour les vérifier en ce qui concerne les tiroirs.

Détermination de la vitesse pour le point 15 (fig. 41). — 1° *Vitesse*. — Le cercle de manivelle est divisé en vingt-quatre parties égales. Supposons constante la vitesse du tiroir dans chacun de ces intervalles ; et relevons alors dans le tableau des ellipses de Fauveau, sur la courbe du cran 5, les espaces parcourus par le tiroir pendant les intervalles 14-15 et 15-16.

On a :

$$E = y_{15} - y_{14} ;$$

$$E' = y_{16} - y_{15} .$$

Les vitesses moyennes dans chacun de ces intervalles sont donc :

$$V = (y_{15} - y_{14}) \times 24 \times 5$$

$$V' = (y_{16} - y_{15}) \times 24 \times 5 .$$

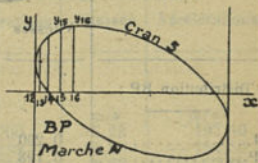


FIG. 41.

si nous supposons aux roues motrices une vitesse angulaire constante de 5 tours par seconde :

Nous prenons pour valeur de la vitesse au point 15 :

$$V_{15} = \frac{V + V'}{2} .$$

On peut constater sur le tableau B ci-dessous qu'on obtient, par ce procédé, sensiblement les mêmes valeurs que par la méthode graphique.

Dans l'exemple choisi, sur huit déterminations, la différence entre les deux valeurs trouvées n'atteint qu'une seule fois 10 0/0.

Encore est-il probable que l'erreur doit être imputée, tout au moins en partie, à l'imperfection des tracés graphiques, due à la faiblesse de la valeur de la vitesse à cet instant.

La moyenne arithmétique des erreurs commises est de 0,042 ; la moyenne algébrique de - 0,029.

2° *Accélérations*. — Nous avons pu appliquer, quoique avec moins de précision, la même méthode à la vérification des accélérations pour les tiroirs.

Nous avons effectué la différence des vitesses moyennes du tiroir dans les deux intervalles entourant le point considéré :

$$\Delta V_{15} = V' - V .$$

En ramenant cette variation à l'unité de temps nous avons obtenu

TABLEAU A. — Vitesses et accélérations des divers points

POINTS	0-24		6	
	Vitesses	Accélérations	Vitesses	Accélérations
Distribution BP :				
L.....	0,200	0,200	0,200	0,200
P.....	0,198	0,082	0,004	0,238
λ (mouv ^t d'entrain ^t).....	0,050	0,020	0,001	0,063
L (mouv ^t relatif).....	0,050	0,017	0,0004	0,034
L (mouv ^t absolu).....	0,050	0,0065	0,0011	0,072
M.....	0,050	0,0072	0,0011	0,072
E.....	0,050	0,0012	0,0011	0,082
G.....	0,036	0,0081	0,0009	0,059
A.....	0,350	0,350	0,350	0,350
B (piston).....	0,000	0,421	0,350	0,070
C.....	0,016	0,454	0,354	0,150
D.....	0,039	0,045	0,041	0,055
H (tiroir).....	0,039	0,044	0,041	0,054
Distribution HP :				
A'.....	0,325	0,325	0,325	0,325
B' (piston).....	0,000	0,388	0,325	0,064
C'.....	0,022	0,456	0,324	0,150
G.....	0,036	0,008 ^t	0,0009	0,059
E'.....	0,034	0,0093	0,0009	0,060
D'.....	0,030	0,063	0,040	0,055
H' (tiroir).....	0,030	0,054	0,040	0,054

NOTA. — Si on désigne par ω la vitesse angulaire, la vitesse et l'accélération de chaque point seront données en mètres en multipliant les nombres des tableaux ci-dessus : 1° pour les vitesses, par ω ; 2° pour les accélérations, par ω^2 . A titre d'exemple, nous donnons, dans la

pour les positions 0-6-12-15-24 de la manivelle.

12		15		15 Vitesse angulaire 10π	
Vitesses	Accélérations	Vitesses	Accélérations	Vitesses	Accélérations
				m/s	m/s ²
0,200	0,200	0,200	0,200	6,28	197,40
0,220	0,098	0,161	0,188	5,59	— 184,50
0,053	0,025	0,041	0,048	1,28	— 47,40
0,002	0,023	0,0137	0,009	0,43	— 8,90
0,053	0,0036	0,042	0,040	1,31	— 39,50
0,053	0,0053	0,042	0,040	1,31	— 39,50
0,053	0,013	0,044	0,040	1,38	— 39,50
0,038	0,0089	0,0317	0,029	0,99	— 28,60
0,350	0,350	0,350	0,350	11	345,45
0,000	0,300	0,212	0,205	6,66	242,82
0,032	0,330	0,230	0,211	7,22	240,90
0,047	0,0325	0,016	0,060	0,50	— 62,18
0,046	0,0320	0,014	0,059	0,44	— 61,14
0,325	0,325	0,325	0,325	10,21	320,80
0,000	0,389	0,247	0,251	7,76	247,75
0,018	0,430	0,251	0,242	7,90	238,85
0,038	0,0089	0,0317	0,029	0,99	— 28,60
0,036	0,0080	0,0288	0,030	0,90	— 29,61
0,032	0,055	0,011	0,062	0,35	61,20
0,032	0,051	0,0035	0,061	0,41	60,21

dernière colonne de droite, les valeurs obtenues pour la position 15, en prenant une vitesse ω égale à cinq tours par seconde (10π). Nous avons affecté du signe — les accélérations en sens contraire de la vitesse.

une valeur approchée de l'accélération du tiroir au point 15 :

$$\Gamma_{15} = (V' - V) 24,5.$$

La plus grande différence que nous ayons trouvée en opérant ainsi atteint 15 0/0. La moyenne arithmétique des erreurs commises est de 0,697 ; la moyenne algébrique de - 0,009.

On voit que la précision obtenue est largement suffisante pour définir un ordre de grandeur de l'accélération et permettre ainsi de déceler une erreur qui se serait produite dans les constructions.

TABLEAU B. — Vitesses et accélérations du tiroir.

Calculées : 1° graphiquement par la méthode des cinèmes ;
2° à l'aide de mesures effectuées sur l'ellipse de Fauveau.
241-A, cran 5. marche AV.

POSITIONS		0-24		6		12		15	
		V	Γ	V	Γ	V	Γ	V	Γ
		m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Distribution HP	Cinèmes	0,94	43,43	1,29	45,40	1,005	50,00	0,11	60,21
	Ellipse de Fauveau	0,93	43,60	1,20	40,80	1,02	57,60	0,095	57,60
Distribution BP	Cinèmes	1,23	53,30	1,26	53,30	1,45	31,58	0,44	58,23
	Ellipse de Fauveau	1,26	57,60	1,275	46,80	1,45	28,80	0,41	64,80

Distributions conjuguées. — Jusque vers 1910 on avait autant de mouvements de distribution qu'il y avait de cylindres sur la locomotive. — Quatre par conséquent pour une locomotive compound à 4 cylindres.

Lorsqu'on a fait des locomotives à quatre cylindres égaux à HP, les mouvements intérieur et extérieur d'un même côté, leurs manivelles étant calées à 180° l'une de l'autre, étaient sensiblement inverses (ils le sont exactement lorsque les bielles motrices sont de même longueur). Il en est de même de ceux des tiroirs. Il suffisait donc de renvoyer de l'extérieur à l'intérieur, en le renversant, le mouvement du tiroir extérieur qui survenait tout mouvement intérieur.

Par la suite, on a imaginé pour les locomotives compound à quatre cylindres de supprimer tout excentrique et toute coulisse pour le mouvement intérieur. Dans la distribution Walschaerts, le mouvement du tiroir est pris en un point du *levier oscillant* dont l'extrémité inférieure est animée du mouvement du piston, et dont un autre point est mû par la coulisse. Le levier oscillant du mouvement intérieur est toujours, dans ce nouveau dispositif, mû par la tête de piston correspondante, mais l'autre point reçoit le mouvement convenablement inversé, et amplifié si besoin est, de la coulisse extérieure.

Cette simplification considérable en soi est également très intéressante pour la construction de l'essieu coudé. L'espace disponible pour l'essieu coudé est limité par l'écartement des longerons, sensiblement constant et égal à 1^m,230. A mesure que le diamètre des cylindres intérieurs augmente, il reste de moins en moins de place pour loger les excentriques. On en était arrivé à réduire à 80 millimètres l'épaisseur des flasques de l'essieu coudé; aussi ces derniers arrivaient-ils à ne faire que des parcours tout à fait insuffisants. La suppression des excentriques a permis l'emploi des essieux en Z, beaucoup plus robustes.

Un inconvénient de la conjugaison des distributions est le suivant : Au cours de l'étude on peut choisir *a priori* le pivot de la conjugaison, c'est-à-dire l'admission du mouvement intérieur qui correspond à une admission donnée de mouvement extérieur, mais ceci fait, à chaque admission extérieure correspond une admission intérieure bien déterminée qu'on n'est plus maître de choisir. — Suivant le rapport des volumes des cylindres on choisit le pivot de façon qu'à un cran de marche HP, le plus fréquemment employé, corresponde un cran de marche BP qui égalise les travaux dans les deux cylindres, mais l'égalité ne subsiste pas pour les autres crans de marche; en particulier pour les faibles admissions qui correspondent aux grandes vitesses. A ces allures l'admission est en général trop faible à la BP et la machine risque parfois d'être « bridée ».

Pour les locomotives à trois cylindres, une solution élégante de la distribution du cylindre intérieur a été trouvée par une conjugaison de celles des deux cylindres extérieurs. Les mouvements des trois tiroirs sont des mouvements synchrones de même amplitude décalés d'un tiers de phase. La conjugaison est réalisée mécaniquement par le système représenté sur la figure ci-contre (*fig. 42*), O est un point fixe. Les mouvements des tiroirs A et B sont ceux qui leur seraient donnés par les excentriques fictifs *oa* et *ob* décalés de 120° l'un par rapport à l'autre. Le point D milieu de AB possède le mouvement qui lui serait donné par l'excentrique fictif *od*, *d* étant le milieu de *ab*, *oc* étant le double de *od*, le point C a le mouvement qui lui serait donné par l'excentrique fictif *oc* à 120° de *oa* et *ob*.

On peut encore réaliser de la façon suivante la conjugaison des

deux mouvements décalés d'un tiers de phase pour obtenir un mouvement de même loi décalé d'un tiers de phase par rapport à chacun d'eux.

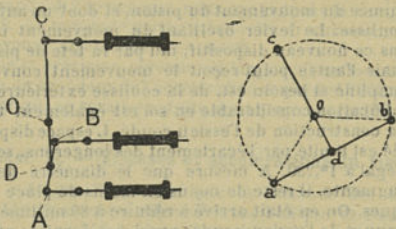


FIG. 42.

$$DA = DB; \quad OC = 2 \cdot OD; \quad O \text{ fixe.}$$

Le système est représenté par la figure 43; le mouvement de G est celui qui serait donné par l'excentrique fictif OG. Supposons le

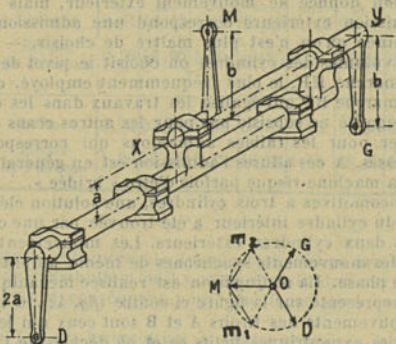


FIG. 43.

levier D immobile, le bras du levier M étant égal à celui du levier G, le mouvement de M est celui qui sera donné par l'excentrique om_1 égal et opposé à OG. Supposons le point G fixe et faisons

mouvoir D, le mouvement de l'arbre xy est décalé d'une demi-phase par rapport à celui de D et son amplitude réduite de moitié par suite des bras de levier $2a$ et a , mais G étant fixe, le mouvement de M est le même que celui de xy et d'amplitude double c'est-à-dire le même que celui de D, il est donc en fin de compte le même que celui qui serait donné par l'excentrique om_2 égal et opposé à OD. Le mouvement résultant pour M des mouvements simultanés de A et D est donc celui qui serait donné par l'excentrique fictif OM (OM résultante de om_1 et om_2).

Ce mouvement indiqué par Madamet en 1887 a été employé sur de nombreuses locomotives en Allemagne. Il comporte un grand nombre d'articulations, demande un montage très soigné et ne se prête pas aux grandes vitesses.

Dans leurs dernières locomotives à trois cylindres, les Allemands l'ont abandonné pour adopter tout simplement trois distributions complètes. Toutefois l'Est vient de l'adopter sur ses machines 150 à 3 cylindres HP.

Distributions par obturateurs. — On a imaginé d'appliquer aux locomotives les distributions par obturateurs tournants même en y joignant le mécanisme de commande par délic des machines fixes Corliss. Ce sont les distributions Durant et Lencachez. Ces distributions étaient compliquées, d'un entretien difficile et surtout peu étanches, leur application ne s'est pas développée.

Distributions par soupapes. — Le développement des moteurs à combustion interne dont la distribution a lieu par soupapes commandées par des cames a fait songer à appliquer ce mode de distribution à la locomotive à vapeur.

Ce faisant, on a cherché, disent les inventeurs, à remédier au manque d'étanchéité des tiroirs et à diminuer la résistance du mécanisme, par suite les frais de graissage, c'est du moins les seuls buts que se propose la distribution par *soupapes Lentz*.

Chaque fond de cylindre est en communication par deux conduits distincts avec deux soupapes, l'une d'admission, l'autre d'échappement. Les deux soupapes d'admission d'un même cylindre sont commandées par une même came, de même les deux soupapes d'échappement.

Ces deux cames sont portées par un même arbre horizontal perpendiculaire à l'axe du cylindre. Cet arbre à cames est mù, d'un mouvement de rotation alternatif, par une manivelle qui reçoit son mouvement d'une bielle commandée par une coulisse. Cette coulisse est commandée elle-même comme dans une distribution Walschaerts. La bielle de commande de l'arbre à cames et le coulisseau sont reliés

au changement de marche de la machine, comme dans les distributions à coulisse ordinaires.

Les soupapes sont à double sièges et équilibrées.

On remarque que dans cette distribution la commande a lieu par coulisse; comme il n'y a qu'une came pour l'admission et une pour l'échappement et qu'elles sont calées invariablement sur l'arbre, on retrouve la *dépendance respectve des phases* à tous les crans d'admission qui est un des inconvénients de toutes les distributions par coulisses.

On y trouve en particulier la dépendance du commencement de la détente et de l'avance à l'admission d'une part, qui sont déterminées par la grandeur du recouvrement à l'admission, l'admission anticipée commence d'autant plus tôt que l'admission est plus réduite; la dépendance de l'échappement anticipé et de la compression, d'autre part, qui sont déterminées par la grandeur du recouvrement à l'échappement, l'échappement anticipé et la compression commencent d'autant plus tôt que l'admission est plus réduite, ce qui implique une réduction préjudiciable de la surface du diagramme ou une augmentation superflue des espaces morts. En un mot les distributions à coulisse travaillent d'autant plus mal que l'admission est plus réduite.

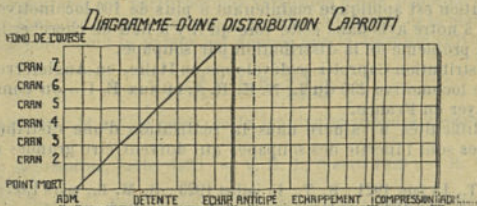
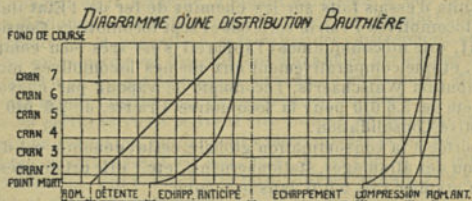
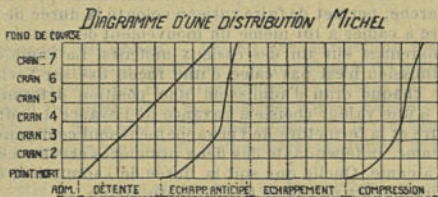
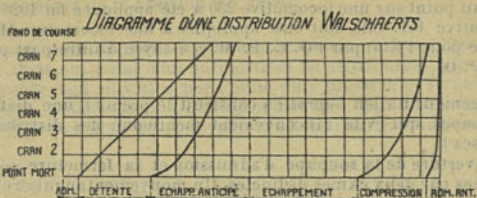
Un certain nombre de locomotives ont été équipées avec ce dispositif principalement en Hongrie et en Allemagne. L'une d'elles a figuré à l'exposition de Seddin et à son sujet M. Wagner note dans un article de l'Organ (15 janvier 1925): Une locomotive munie de cette distribution (qui n'était toutefois pas pourvue des perfectionnements mécaniques introduits par la suite, mais ce qui ne change rien, au point de vue qui nous occupe) a été mise en comparaison en service courant pendant plusieurs mois avec une locomotive type 230 de la même série P. 35, munie d'une distribution Walschaerts et que « jusqu'à présent les essais n'ont montré aucun avantage sensible de « l'un des dispositifs par rapport à l'autre, soit en ce qui concerne la « consommation de charbon ou d'huile de graissage, soit en ce qui « concerne les frais d'entretien ».

Des essais sont tentés en France par le P.-L.-M.-Loc.

A la suite du développement pris par les distributeurs Caprotti dont nous parlons plus loin, la *Société Dabey* a imaginé une distribution à soupapes à *comes rotatives*. L'arbre à comes tourne à une vitesse proportionnelle à celle des essieux moteurs en fait varier l'admission en déplaçant l'arbre à comes suivant son axe. Il ya autant de comes que de crans de distribution. On peut avoir des comes distinctes pour l'admission et l'échappement. Cette distribution est essayée par le P.-O. et par le P.-L.-M., sur les loc. 241 A.

Elle doit être également essayée par le Nord et par l'Est.

Une distribution à soupapes à comes rotatives imaginée par



M. *Renaud*, ingénieur aux chemins de fer de l'État, après avoir été mise au point sur une locomotive 230 a été appliquée fin 1928 sur une locomotive 141, elle doit être appliquée à une locomotive Mountain étudiée pour l'État par l'O. C. E. M. et essayée d'autre part par l'Est et le P.-O.

L'ingénieur italien *Caprotti* a construit le premier une distribution à soupapes, qui évite l'inconvénient mentionné des distributions à coulisses¹.

L'ouverture de la soupape d'admission et sa fermeture sont commandées par deux cames distinctes. Un mouvement angulaire de l'une par rapport à l'autre sur l'arbre à cames, commandé par le changement de marche, permet de faire varier à volonté la durée de l'admission. L'arbre à cames a lui-même un mouvement de rotation continu pris par engrenage sur un des essieux moteurs. La came d'ouverture de l'admission n'est pas calée d'une façon fixe sur l'arbre mais prend pour chaque cran d'admission une position déterminée qui correspond à une valeur choisie à l'avance de l'avance à l'admission.

L'ouverture et la fermeture de l'échappement sont commandées par une autre came, indépendante des deux premières et calée à demeure sur l'arbre à came. Quelle que soit la durée de l'admission, elles ont donc lieu aux mêmes points de la course du piston.

Il résulte d'essais faits sur les chemins de fer de l'Etat italien sur quatre locomotives Prairie série 686 et sept locomotives Consolidation série 741, que mécaniquement l'appareil s'est très bien comporté en service, et que comparativement aux mêmes locomotives munies de la distribution Walschaerts, l'économie de vapeur par cheval-heure utile a été de 5,6 0/0 pour la locomotive Prairie, de 7,9 0/0 pour la locomotive Consolidation.

Rapportée à la consommation globale, cette économie est diminuée en raison des allumages, stationnements, etc.; elle est de près de 3 0/0 dans le premier cas, 5 0/0 dans le second.

En présence de ces résultats, l'essai a été étendu largement et cette distribution est appliquée maintenant à plus de 100 locomotives.

C'est à notre avis dans cette voie qu'il y a lieu de chercher la solution du problème de la distribution par soupape.

La distribution Caprotti se développe en Italie, en Angleterre, essai sur une locomotive 230 du L. N. E. R.², et aux É.-U., on commence à l'essayer en France.

Les difficultés à vaincre dans la réalisation d'une distribution à soupapes sont l'inertie des soupapes qui doivent être grandes en rai-

¹ R. T., 15 juin 1924; R. T., 15 juillet 1923; R. M. E., mars 1927; — *Ry Gaz*, 24 janvier 1930; — *Engineering*, 31 janvier 1930.

² *Engineering*, 31 janvier 1930.

son du volume de vapeur à écarter et l'usure des cames qui est grande en raison de la pression des galets.

Soupapes commandées hydrauliquement. — Les chemins de fer hollandais ont muni deux locomotives de distribution à soupapes. Les soupapes sont ouvertes par l'huile sous pression et fermées par des ressorts. Deux pompes à huile commandées par un excentrique monté sur le tourillon de manivelle débitent l'huile sous pression 1.

Châssis et roulement.

Contrepoids des roues. — On sait que, lorsqu'une locomotive se meut sur des rails, son mouvement de translation est accompagné de mouvements irréguliers et perturbateurs qui nuisent à la stabilité de la machine. On attribue ces mouvements à deux causes principales :

1° L'obliquité de la bielle, qui tend à produire le mouvement de *galop*, et qui, sans la rigidité de la chaudière, produirait le mouvement de *roulis* ;

2° L'inertie des masses soumises à un mouvement relatif dans le système général de la machine, donnant naissance à des forces qui tendent à diminuer dans certaines positions de la manivelle l'adhérence des roues motrices, et, par suite, à les faire patiner ; qui tendent, en outre, à produire un mouvement d'oscillation d'avant en arrière, appelé par Le Chatelier² mouvement de *tangage*, et enfin au mouvement d'oscillation latéral connu sous le nom de mouvement de *lacet*.

Les forces perturbatrices peuvent être divisées en deux groupes : les perturbations verticales, qui tendent à faire pivoter la machine autour d'un axe horizontal passant par son centre de gravité, et les perturbations horizontales, qui tendent à la faire tourner autour d'un axe vertical passant par le même point.

Pour équilibrer les perturbations verticales d'une machine à roues libres, il faut placer sur chaque roue motrice, à l'opposé de la manivelle, un contrepoids dont la valeur est donnée par la formule suivante :

$$Q_1 = \left(M + B \cdot \frac{b}{L} \right) \frac{r}{d},$$

dans laquelle : M est le poids de la manivelle supposé concentré au

¹ *The Locomotive*, juillet 1929 ; — V. D. I., 3 avril 1929 ; — R. G., janvier 1930.

² L. Le Chatelier, *Études sur la stabilité des machines locomotives en mouvement*, Paris, 1849.

centre du bouton ; B, le poids de la bielle motrice ; L, la longueur de cette bielle ; b , la distance de son centre de gravité à son point d'articulation avec la tige du piston ; r , le rayon de la manivelle ; d , la distance du centre de gravité du contrepoids au centre de rotation de la roue.

Pour équilibrer les perturbations horizontales, il suffirait de disposer sur la roue motrice un contrepoids déterminé par la formule

$$Q_2 = (M + B + P) \frac{r}{d},$$

dans laquelle on a introduit P, le poids du piston et de ses accessoires.

Mais le contrepoids Q_2 est toujours plus fort que le contrepoids Q_1 , de sorte que, si on voulait détruire entièrement les perturbations horizontales, on ferait naître des perturbations verticales en sens contraire de celles qui existent sans contrepoids. En pratique, on se contente du contrepoids Q, qui annule la totalité des perturbations verticales en même temps qu'une partie des perturbations horizontales.

Lorsqu'on équilibre une machine à roues accouplées, il faut appliquer des contrepoids sur toutes les roues accouplées ; la formule à employer pour le poids à répartir sur les roues est alors :

$$Q = \left[nM + B \frac{b}{L} + (n - 1) B' \right],$$

dans laquelle n est le nombre d'essieux accouplés, et B' le poids d'une bielle d'accouplement.

Les conditions d'équilibre dans les machines compound à quatre cylindres, deux intérieurs et deux extérieurs, sont beaucoup plus faciles à obtenir que dans les machines ordinaires, ce qui permet de réaliser de grandes vitesses sans occasionner de détériorations aux voies ¹.

Booster ou accélérateur. — L'effort de traction qu'a à développer la locomotive n'est pas constant pour un train donné, il est plus élevé au démarrage qu'en marche, dans les rampes qu'en palier. Cet effort de traction est limité par le poids adhérent, c'est-à-dire le poids sur rail des essieux moteurs, il serait donc à désirer que tous les essieux de la locomotive fussent moteurs ; mais, pour assurer une bonne inscription de la machine dans les courbes dès que l'on atteint une certaine vitesse, le premier essieu doit être orientable, c'est le bissel, l'inscription est encore mieux assurée avec un bogie. Ces essieux peuvent difficilement être rendus moteurs.

¹ M. Nadal a fait une étude spéciale des effets de l'inertie des pièces en mouvement relatif dans les machines compound (*Annales des Mines*, 1894, t. VI, p. 93).

Le dernier essieu ne peut pas en général être accouplé avec les essieux moteurs ; d'abord, il peut être nécessaire, lorsque la machine est longue, de lui donner pour permettre l'inscription en courbes des possibilités de déplacement latéral importantes ; de plus, comme il est presque toujours sous la boîte à feu, il ne peut avoir des roues d'un diamètre égal à celle des essieux accouplés. La plupart du temps on en fait un bissel, parfois un bogie.

Les Américains ont imaginé de rendre ce bissel arrière momentanément moteur pour les démarrages et pour les rampes, évitant ainsi au pied de celle-ci soit de rompre charge, soit d'employer la double traction. Ils ont appelé « Booster » le bissel ainsi équipé.

La puissance de la locomotive peut ainsi être augmentée, au maximum (en supposant que le booster supporte un poids égal à celui des autres essieux couplés et que les cylindres de Booster peuvent développer un effort approchant de celui qui correspond à l'adhérence) de $\frac{1}{3}$ pour une machine à trois essieux couplés, $\frac{1}{4}$ pour une machine à quatre essieux couplés, etc. Bien entendu il faut que la chaudière soit suffisante pour alimenter dans les rampes ce moteur supplémentaire. Dans les démarrages, la question ne se pose pas parce que cet effort supplémentaire dure peu.

Fonctionnement du Booster. — L'axe du bissel porte une roue d'engrenage droit. Deux cylindres à vapeur à distributeur cylindrique portés par le bissel, peuvent faire tourner un arbre parallèle à l'axe du bissel et portant un engrenage droit. Une troisième roue dentée peut à volonté rendre solidaires les deux roues précédentes ou les laisser indépendantes.

La distribution des cylindres à vapeur ne permet que la marche avant et à admission constante 75 0/0 de la course.

La manœuvre de l'embrayage, par la roue dentée intermédiaire, se fait par l'air comprimé. La même manœuvre ouvre ou ferme l'admission de vapeur aux cylindres du booster.

Cette commande de l'embrayage, qui est effectuée par le mécanicien, est asservie au changement de marche principal de la machine. Elle ne peut s'effectuer que si ce changement de marche est près du fond de course marche avant ; le débrayage s'effectue automatiquement lorsqu'il s'éloigne du fond de course, à 66 0/0 d'admission environ.

La prise de vapeur a lieu sur la chaudière ou dans la boîte à vapeur HP selon que la chaudière est à vapeur saturée ou surchauffée.

L'échappement a lieu dans la colonne d'échappement.

Les tuyauteries de vapeur vive et d'échappement sont à rotules.

La commande des purgeurs est automatique.

Ce dispositif du booster qui alourdit la machine, et qui ne serait probablement pas admissible avec les faibles charges par essieu adoptées

en Europe n'y est pas appliqué. Les frais d'entretien doivent être considérables ¹.

On a imaginé des dispositifs permettant l'emploi du booster non seulement pour la marche avant, mais aussi pour la marche arrière ².

Étude graphique de l'inscription géométrique des locomotives dans les courbes. (Voir *Agenda* 1930, page 149).

§ 5. — Perfectionnement des machines locomotives.

Si l'on en excepte celles qui concernent la sécurité (dispositifs pour éviter les rabattements de fumées, répétition des signaux sur la locomotive, etc.), le but unique des améliorations à apporter dans la construction des locomotives doit être l'obtention de la puissance motrice au prix de revient minimum.

Si nous ne considérons que les locomotives à vapeur, leur nombre était à la fin de 1920, de 17.900 pour les six grands réseaux (sauf l'Alsace-Lorraine), elles ont brûlé 8.900.000 tonnes de combustible en 1920, la consommation moyenne par tonne kilométrique remorquée (tare des véhicules comprise) était d'environ 80 grammes.

En 1926, les dépenses totales d'exploitation des réseaux français (moins l'A.-L.) ont été de 9.178 millions; les dépenses du Matériel et Traction de 3.940 millions sur lesquels 1.385 millions, soit 35 0/0, représentent les dépenses de combustible. Une économie de 5 0/0 seulement sur la consommation de charbon se traduirait par une économie globale de 69 millions, ce qui montre la grande importance de la question.

Les progrès peuvent porter, soit sur la production économique de la vapeur, soit sur son utilisation, mais dans l'un comme dans l'autre cas, il ne faut perdre de vue, à aucun moment, que pour déterminer l'économie réelle apportée par un nouveau dispositif, il faut faire entrer en ligne de compte: les frais d'acquisition, ce qui est facile, les frais d'entretien, ce qui est déjà beaucoup plus difficile et les répercussions qu'il entraîne sur la bonne marche du service, ce qui est presque impossible à chiffrer mais qui peut être d'une extrême importance. Cette dernière condition devra faire préférer, à des dispositifs lourds, encombrants, sujets à de fréquents dérangements, des appareils plus simples, donneraient-ils des économies brutes de combustible inférieures aux premiers.

Le temps se charge de mettre toutes choses au point et quel que soit l'engouement dont ils aient pu jouir à certaines époques, les disposi-

¹ Voir T. M., 15 novembre 1926.

² Voir T. M., 15 juillet 1928.

tifs sujets à trop de dérangements n'ont pu s'acclimater sur les locomotives ; les dépenses faites pour leur application ont été perdues, parce que l'on n'avait pas apprécié à sa juste valeur l'observation de la dernière condition.

Les améliorations apportées ou tentées dans la production économique de la vapeur sont : le séchage de la vapeur, la surchauffe, le réchauffage de l'eau d'alimentation, la chauffe au mazout, la chauffe au charbon pulvérisé, les chargeurs mécaniques, les chaudières à tubes d'eau, le réchauffage de l'eau d'alimentation.

Les améliorations apportées ou tentées dans l'utilisation mécanique de la vapeur sont : le compoundage, l'amélioration de l'échappement, l'utilisation de vapeur à haute pression, l'emploi de turbines, les distributions à soupapes, les by-pass, etc.

De toutes ces améliorations seules la surchauffe et le compoundage sont réellement entrés dans la pratique.

Il est vraisemblable que le réchauffage de l'eau d'alimentation y entrera également mais probablement sous sa forme la plus simple, celle d'un injecteur à vapeur d'échappement.

Toutes les autres améliorations sont encore à l'état d'essais, les appareils n'ont pas encore acquis la forme simple qui caractérise tous les éléments de la locomotive.

Séchage de la vapeur.

Nombreux sont les sècheurs de vapeur proposés dont l'emploi doit procurer en service des économies importantes. Jusqu'à présent cependant, tous les essais bien conduits de ces appareils sur des locomotives ne présentant pas de dispositions vicieuses, n'ont révélé aucune économie quand ils n'ont pas mis en évidence un accroissement de dépenses de charbon.

(Voir : *Essais de valve Restucci*, R. T., 15 septembre 1927.)

Surchauffe.

La vapeur surchauffée est celle que l'on obtient en chauffant de la vapeur alors qu'elle est séparée de l'eau qui l'a engendrée.

Alors que pour la vapeur saturée (celle qui est encore en contact avec l'eau qui l'a engendrée) à chaque pression correspond une tem-

pérature bien définie (tables de Regnault), pour la vapeur surchauffée la pression et la température sont indépendantes.

On a ainsi le moyen d'emmagasiner des calories dans la vapeur sans élever sa pression. L'effet le plus sensible est l'augmentation du volume spécifique de la vapeur. 1 kilogramme de vapeur saturée sèche à 16 kilogrammes (17 kilogrammes absolus) à 203° a un volume de 0^mc,1200 et contient 672 calories. Par une surchauffe à 350°, ce volume devient 0^mc,1674, il contient 752 calories.

Économie d'eau. — Si l'on compare deux machines rigoureusement identiques, travaillant l'une à vapeur saturée, l'autre à vapeur surchauffée à la même pression, avec les mêmes introductions et en supposant que la loi de détente est la même pour les deux vapeurs, il faudra, par suite de sa plus faible densité, un poids moindre de vapeur surchauffée que de vapeur saturée pour produire le même travail. A la vérité, pendant la détente, la pression de la vapeur surchauffée tombe un peu plus vite que celle de la vapeur saturée sèche (la loi de la détente est en moyenne, $pv^{1,28} = C^e$ pour la première ; $pv^{1,13} = C^e$ pour la seconde). On devra donc, si l'on veut avoir dans les deux cas la même pression à la fin de la détente, avoir une admission un peu plus longue pour la vapeur surchauffée, il en résultera néanmoins à travail égal une économie de vapeur importante par l'emploi de vapeur surchauffée. Cette économie croît avec le degré de surchauffe, avec le degré d'admission et décroît lorsque la pression augmente.

Économie de combustible. — Comme il est nécessaire de dépenser du combustible pour surchauffer la vapeur, les économies de combustible sont plus faibles que les économies d'eau.

Le tableau-ci-dessous donne les économies théoriques d'eau et de combustibles en 0/0, à travail égal, procurées par l'emploi de la vapeur surchauffée par rapport à la vapeur saturée sèche.

En pratique, les économies obtenues sont supérieures aux chiffres ci-dessous : d'abord, sur les locomotives sans surchauffe, il est rare que l'on ait de la vapeur saturée sèche, elle est toujours plus ou moins humide et donne à poids égal un travail inférieur à celui de la vapeur sèche, d'autre part l'emploi de la vapeur surchauffée diminue les pertes dans les cylindres par l'action des parois.

On trouvera un grand nombre de renseignements sur la vapeur surchauffée et son application aux locomotives dans les ouvrages de GARBE, *Die Dampflokomotiven der Gegenwart*, 2^e édition, 1920. — BRÜCKMANN, *Das Eisenbahn-Maschinenwesen der Gegenwart*, 3^e édition, 1920 ; — GARBE, *Die Zeitgemässe Heissdampf lokomotive*, 1924.

TENSION absolue en kg/cm ²	ADMISSION de la vapeur saturée sèche	ÉCONOMIES D'EAU Vapeur surchauffée à				ÉCONOMIES DE COMBUSTIBLE Vapeur surchauffée à			
		250°	300°	350°	400°	250°	300°	350°	400°
11 kilogrammes 15 —	0,2	7,3	16,5	23,8	29,8	2,4	8,6	13,8	17,9
		4,3	14,1	21,9	28,2	0,2	6,8	12,3	16,7
11 kilogrammes 15 —	0,3	9,13	18,3	25,4	31,3	4,0	10,6	15,6	19,6
		6,31	15,5	23,4	29,8	1,9	8,3	14,2	18,4
11 kilogrammes 15 —	0,4	10,7	19,5	26,6	32,4	5,7	12,0	16,9	20,9
		7,8	17,3	24,7	30,9	3,4	10,2	15,5	19,7
11 kilogrammes 15 —	0,5	11,8	20,5	27,5	33,2	6,8	13,0	17,9	21,8
		8,2	18,2	25,6	31,7	4,6	11,3	17,5	20,6

Obtention de la vapeur surchauffée sur les locomotives. — Les propriétés économiques de la vapeur surchauffée l'ont fait employer depuis longtemps dans les machines fixes ; les difficultés de trouver un surchauffeur suffisamment puissant et léger pour les locomotives ont retardé son application sur ces machines.

Le surchauffeur de locomotive a été établi sous sa forme actuelle, qui paraît bien être sa forme définitive parce que la plus simple, par Schmidt, vers 1904.

La difficulté de l'établissement d'un bon surchauffeur provient de la mauvaise conductibilité de la vapeur ; il faut donc diviser cette vapeur en filets très minces, la brasser par des changements de direction, lui donner une assez grande vitesse et la mettre au contact de gaz présentant, par rapport à elle, une grande différence de température.

On obtient ce résultat en obligeant la vapeur à parcourir pendant le trajet qu'elle fait entre la chaudière et le cylindre des tubes (de 23×35 ou 31×38), repliés quatre fois sur eux-mêmes appelés éléments surchauffeurs, placés eux-mêmes dans des tubes à fumée de gros diamètre (125 millimètres jusqu'à présent, mais l'O. C. E. M. a déjà préconisé avec succès des tubes de 135 millimètres et l'on ira peut-être plus loin dans la voie de l'augmentation).

Étude de la chaudière-locomotive à surchauffe. — Le but que l'on se propose est d'obtenir une température de surchauffe de 350° aux allures moyennes de combustion (300 kilogrammes par mètre

carré de grille). Une température beaucoup plus élevée serait nuisible (difficultés de graissage, fusion des garnitures à moins de prendre des garnitures à labyrinthe qui commencent à se répandre). Les premières locomotives à surchauffe donnaient de la vapeur à 350° aux allures poussées, mais cette température tombait rapidement aux allures moyennes ; pour y remédier, on a essayé d'augmenter le rapport de la surface de surchauffe à la surface de chauffe des tubes, (il était primitivement de un tiers), le résultat fut le contraire de celui qu'on attendait, l'O. C. E. M. entreprit d'examiner de plus près ce qui se passait dans la chaudière.

Des relevés de température sur une locomotive Mikado État qui donnait une surchauffe de 265° montrèrent que les gaz sortaient plus chauds des petits tubes bouilleurs (500°), que des gros tubes à surchauffe (360°) ; il passait donc dans les petits tubes plus de chaleur que ceux-ci ne pouvaient en absorber, au détriment des gros tubes qui auraient dû et pu en absorber davantage.

On bagna les petits tubes côté foyer pour diminuer la section de passage de ces derniers, on obtint ainsi une augmentation de surchauffe de 20° . Cet essai nous avait déjà donné de bons résultats sur une machine 140 A du P.-L.-M.

Ancien support type P. O.

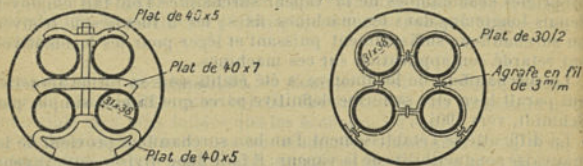


FIG. 45.

On s'aperçut ensuite de l'influence considérable qu'avaient les supports d'éléments surchauffeurs dans les gros tubes ; le remplacement de supports trop importants par d'autres qui obstruent moins les gros tubes eurent des résultats très nets, augmentant encore la surchauffe de 25° , soit 45° par rapport à la machine d'origine, on avait ainsi une surchauffe moyenne de 310° avec des changements minimes.

On a, depuis, repris avec succès un mode de support des éléments qui avait été déjà, croyons-nous, utilisé en Allemagne et qui s'oppose encore moins que les précédents au libre passage des gaz chauds. Il consiste, au lieu de maintenir l'écartement des tuyaux des éléments surchauffeurs entre eux et avec le gros tube à fumée par une sorte de bride situ

tenir cet écartement par des butées soudées aux éléments et réparties sur la longueur. Dans une section transversale donnée, la section de passage n'est que très faiblement diminuée par la présence d'une seule butée (fig. 46).

Le problème de la surchauffe se présente de la façon suivante : pour réaliser l'utilisation optimum des calories des gaz chauds produits dans le foyer, il faudrait en principe que la température des gaz qui s'engagent à 1.100-1.200° dans les tubes, soit ramenée à 400° à la sortie des gros tubes (pour une surchauffe de la vapeur à 350°) et à 300° à la sortie des petits tubes.

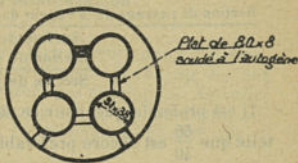


FIG. 46.

Dans ces conditions, un gros tube enlèvera A calories, pour la surchauffe de la vapeur, B calories pour la vaporisation de l'eau. — Un petit tube enlèvera C calories pour la vaporisation. S'il y a m gros tubes et n petits, le rapport $\frac{m}{n}$ sera déterminé par

$$\frac{mA}{mB + nC} = \frac{k}{K}$$

qui peut s'écrire

$$(1) \quad \frac{A}{B + \frac{n}{m} C} = \frac{k}{K}$$

K représentant le nombre de calories nécessaires à la vaporisation de 1 kilogramme d'eau; k celui des calories nécessaires à la surchauffe. Pour 16 kg. — 350° on a :

$$\frac{k}{K} = \frac{81}{671}$$

ABC dépendent la masse des gaz qui traversent respectivement les gros tubes α et les petits tubes γ ; et en supposant 1.100° à l'entrée des tubes, on doit avoir :

$$(2) \quad \frac{\alpha \times 700}{\gamma \times 800} = \frac{A + B}{C}$$

Pour pouvoir déterminer les éléments d'une chaudière satisfaisant à ces deux conditions, il est nécessaire d'établir les relations complémentaires qui existent entre ces différents éléments; répartition des gaz entre les deux faisceaux, transmission des calories à l'eau et à la vapeur, suivant les dimensions des tubes et leur répartition.

Des essais se poursuivent dans ce but.

Actuellement on considère comme favorables les rapports suivants.

$$\frac{\text{Section totale de passage des gaz dans les tubes}}{\text{Surface de grille}} > 0,12;$$

$$\frac{\text{Section de passage de la vapeur dans les éléments surchauffeurs}^1}{\text{Surface de grille}} = 0,004;$$

$$\frac{\text{Section de passage dans les gros tubes}^2}{\text{Section de passage dans les petits tubés}} = \frac{55}{45};$$

Il est probable que pour ce dernier rapport une valeur plus élevée telle que $\frac{60}{40}$ est encore préférable.

Les gaz ne se partagent pas entre gros tubes et petits tubes suivant le rapport des sections offertes en raison des pertes de charge diverses, dues principalement au frottement, qui sont différentes d'une sorte de tube à l'autre, et qui sont en général plus grandes pour les gros tubes que pour les petits; la différence n'est toutefois pas excessivement importante.

Précautions à prendre dans la construction de la machine à surchauffe. — On a pris au début de grandes précautions dans l'emploi de la surchauffe, un certain nombre comme l'emploi de l'étouffoir qui empêchait le tirage à travers les gros tubes dans la marche à régulateur fermé ont été reconnues inutiles. Il est nécessaire cependant d'avoir des tiroirs cylindriques et des pistons à contretiges. Tiroirs et pistons doivent être encore plus étanches que pour la vapeur saturée, la vapeur surchauffée étant plus fluide; des segments minces et nombreux sont dans ce but beaucoup plus efficaces qu'un petit nombre de segments larges. Le tiroir cylindrique présente l'avantage de pouvoir admettre par les arêtes intérieures, et de ne soumettre les garnitures de tige de tiroir qu'à la vapeur à BP, d'où meilleure étanchéité de ce côté.

Une locomotive à vapeur surchauffée utilise moins de vapeur qu'une locomotive à vapeur saturée pour le même travail; mais on préfère utiliser la même chaudière et le même poids de vapeur et avoir un travail plus grand. On prendra donc des cylindres relativement plus grands pour une locomotive à vapeur surchauffée que pour une locomotive à vapeur saturée.

¹ En ne comptant que la section d'une branche par élément à quatre branches.

² Les sections à prendre sont les sections en plein corps des tubes et non pas sur la plaque tubulaire.

Réchauffeurs d'eau d'alimentation.

On a imaginé depuis longtemps divers réchauffeurs d'eau d'alimentation. Un certain nombre d'entre eux utilisaient la chaleur des gaz chauds de la boîte à fumée : ils ne se sont pas développés. Actuellement, les réchauffeurs utilisent une partie de la vapeur d'échappement dont les calories sont perdues ; l'expérience a montré que ce prélèvement ne nuisait pas au tirage.

Les réchauffeurs actuellement en usage se divisent en trois catégories :

- 1° Réchauffeurs à surface ;
- 2° Réchauffeurs à mélange ;
- 3° Injecteurs à vapeur d'échappement.

Avec les deux premiers types, une pompe est nécessaire pour introduire l'eau réchauffée dans la chaudière, elle est inutile avec le troisième.

Réchauffeurs à surface. — Dans cette catégorie se rangent les réchauffeurs Knorr, Weir, Caille-Potonie et A. C. F. I., type R. S.

Dans tous ces réchauffeurs un faisceau de tubes traverse une caisse étanche ; selon les cas l'eau ou la vapeur traverse les tubes, la vapeur ou l'eau traverse la caisse en entourant les tubes, la transmission de chaleur se fait à travers la paroi des tubes.

Ils se divisent en deux groupes :

Dans le premier groupe, *type ouvert*, la pompe est installée entre le réchauffeur et la chaudière. C'est donc une pompe à eau chaude et le réchauffeur, étant avant la pompe, n'est pas en pression, mais la pompe doit être en charge (Caille-Potonie ou A. C. F. I., type R. S.).

Pour remédier à la nécessité d'employer une pompe à eau chaude alors qu'elle ne peut pas toujours être mise en charge, on emploie parfois deux pompes, en tandem, l'une à eau froide entre le tender et le réchauffeur, l'autre à eau chaude entre le réchauffeur et la chaudière.

Dans le second groupe, *type à pression*, la pompe est installée entre le tender et le réchauffeur. Une pompe à eau froide suffit, mais le réchauffeur est soumis à la pression de la chaudière. Par contre la pompe peut être aspirante (Weir, Knorr).

Chaque groupe a ses avantages et ses inconvénients, mais un inconvénient commun aux deux, particulièrement important pour le second, est la difficulté d'obtenir dans le réchauffeur une étanchéité suffisante entre les chambres de vapeur et d'eau ; un autre inconvénient commun est l'entartrement rapide du réchauffeur qui nécessite des détartrages fréquents.

Dans le premier type, ouvert, avec pompe à eau chaude, des appareils de réglage spéciaux doivent être prévus pour régler le prélèvement de vapeur à la mesure de la quantité d'eau introduite à la chaudière, afin d'éviter que dans les rampes où l'on dépense beaucoup de vapeur et où l'on introduit peu d'eau à la chaudière, la vapeur ne fasse bouillir l'eau à 100° et ne compromette le fonctionnement de la pompe.

Dans le second type, à pression, la température de l'eau peut sans inconvénient dépasser 100°.

Réchauffeurs à mélange. — Dans cette catégorie se rangent les réchauffeurs Worthington A. C. F. I., type R. M. type intégral et le réchauffeur Dabeg.

Dans ces réchauffeurs, la vapeur d'échappement se condense dans l'eau d'alimentation en la réchauffant et l'ensemble est envoyé à la chaudière.

Ils ont en général deux pompes, l'une à eau froide qui aspire l'eau du tender et la pulvérise dans une chambre où arrive la vapeur, l'autre qui prend l'eau chaude et la refoule à la chaudière.

Ils utilisent l'eau condensée provenant de la vapeur d'échappement et théoriquement toutes les calories qu'elle contient.

Injecteurs à vapeur d'échappement.

Injecteurs Metcalfe. — L'injecteur ordinaire refoule l'eau dans une chaudière où la pression est égale à celle de la vapeur utilisée; l'injecteur à vapeur d'échappement refoule l'eau dans la chaudière à une pression bien supérieure à celle de la vapeur d'échappement. En employant *uniquement* de la vapeur d'échappement à 1^{kg},200 absolus, on peut pratiquement refouler l'eau dans une chaudière timbrée à 10 kilogrammes (11 kilogrammes absolus) ¹.

Pour alimenter dans une chaudière timbrée à plus de 10 kilogrammes on a recours à un léger supplément de vapeur vive, dont les calories ne sont pas plus perdues que dans un injecteur ordinaire.

L'injecteur à vapeur d'échappement ne diffère pas dans son principe de l'injecteur à vapeur vive. Seuls les rapports entre ses diverses dimensions sont différents.

¹ Théoriquement on peut avec de la vapeur à 1^{kg},1 absolu alimenter une chaudière timbrée à 10 kilogrammes. — *Technische Bauzeitung*, 13 juin 1925. — Hans Deutsch.

L'injecteur a le grand avantage d'être un organe peu encombrant, léger, robuste parce qu'il ne contient pas de pièce en mouvement. Son prix d'achat est faible, son entretien peu coûteux.

Réchauffeur Caprotti. — L'inconvénient de l'injecteur en général est qu'il ne fonctionne bien que pour un débit donné, il n'est pas réglable; par contre il a l'immense avantage de supprimer toute pompe et toute pièce mécanique en mouvement.

Dans le réchauffeur Caprotti, un injecteur à vapeur d'échappement réchauffe l'eau prise au tender et la refoule dans un réservoir communiquant avec l'atmosphère. Lorsqu'il est plein, il est mis en communication avec la chaudière et l'eau rentre dans cette dernière par son poids.

Des calculs théoriques très simples faits pour indiquer l'ordre de grandeur des chiffres, montrent qu'en réchauffant à 100° l'eau du tender prise à 15°, on économise 13 0/0 des calories nécessaires pour la vaporisation de l'eau si la locomotive est à vapeur saturée, et 11 0/0 si elle est à vapeur surchauffée.

On voit également que si le réchauffeur est à surface, il faut, pour élever l'eau à 100°, prélever 20 0/0 de la vapeur d'échappement dans le premier cas et 17 0/0 dans le second. Si le réchauffeur est à mélange, les prélèvements sont respectivement de 17 et 14 0/0, avec l'injecteur à vapeur d'échappement les prélèvements sont de 16 et 13 0/0.

Le réchauffage produit une série de phénomènes secondaires qui s'enchainent; du fait même du réchauffage, il faut moins de charbon pour une même vaporisation, il suffit donc d'une allure de combustion moins vive. Cette allure moins vive est favorable au rendement thermique de la chaudière, d'où allure nécessaire encore plus réduite.

Par suite du prélèvement effectué, la vapeur d'échappement produit un tirage moins énergique; si ce tirage suffit pour entretenir l'allure réduite dont nous venons de parler, le gain réalisé est définitivement acquis, mais si l'échappement est insuffisant pour entretenir cette allure réduite, il faudra le serrer, d'où une contre-pression plus grande dans les cylindres et un moins bon rendement du travail de la vapeur dans les cylindres.

D'autre part, si la machine est à surchauffe, à une allure de combustion plus réduite correspond une surchauffe moins élevée, d'où une plus grande dépense de vapeur pour un même travail.

De tout ceci on déduit qu'on ne peut absolument rien conclure au sujet de l'économie finale du simple énoncé de la température de l'eau d'alimentation. Le prélèvement de vapeur d'échappement a des influences multiples, et seuls des essais très complets peuvent fixer sur l'économie finale due au réchauffage de l'eau d'alimentation.

Les appareils à pompe nécessitent de la vapeur vive pour le moteur de la pompe. Cette vapeur saturée et généralement humide peut représenter 5 0/0 du poids d'eau introduit, c'est-à-dire de la production totale de la chaudière. Dans certains cas, cette perte atteint 8 à 10 0/0. La chaleur de cette vapeur est *totale*ment perdue, on dirige bien l'échappement du moteur de la pompe dans le réchauffeur, mais puisqu'ici c'est la température de l'eau qui limite le degré de réchauffage, les calories ainsi fournies sont autant de calories qu'on aurait pu se procurer gratuitement dans l'échappement et qu'on n'y prend pas. Dans une comparaison avec l'injecteur ordinaire toutes les calories contenues dans la vapeur employée par la pompe sont donc réellement perdues.

La vapeur vive supplémentaire nécessaire à l'injecteur à vapeur d'échappement joue exactement le même rôle que celle que nécessite le fonctionnement de la pompe.

L'emploi d'un réchauffeur nécessite un changement radical dans la conduite de l'alimentation de la machine.

En supposant un profil de ligne en dents de scie, comme on ne peut faire varier sans cesse l'allure du feu, si l'on se sert d'un injecteur ordinaire, on alimente dans les descentes et on cesse d'alimenter dans les rampes; avec cette méthode un réchauffeur ne procurerait aucune économie puisqu'on n'alimenterait que lorsqu'on n'a que peu ou pas de vapeur d'échappement.

Le pourcentage de l'économie brute de combustible trouvée pratiquement par l'emploi d'un type de réchauffeur sur un parcours donné n'est pas le pourcentage net, il faut tenir compte des dépenses de combustible pour les allumages, les stationnements, les manœuvres, dépenses qui diffèrent beaucoup d'un service à un autre, ce qui explique *en partie* les différences des résultats trouvés en service courant d'un dépôt à un autre pour le même appareil.

Des économies réalisées sur le charbon il faut déduire les dépenses annuelles pour intérêts et amortissement du capital du prix d'achat, ainsi que le prix de l'entretien courant annuel de l'appareil. Celui d'un appareil à pompe peut être fixé à 3 0/0 du prix d'achat, celui d'un injecteur ordinaire ou à vapeur d'échappement est presque négligeable.

Essais comparatifs de divers réchauffeurs d'eau d'alimentation.

Voir *Agenda Dunod* 1929, p. 175.

Chauffage au mazout.

Pour ne pas rester complètement tributaires du charbon dans un moment où ce combustible n'est pas en abondance, on a cherché à chauffer les locomotives avec un autre produit qui, tout en donnant un bon rendement, ne nécessite que des changements peu importants dans les foyers.

Le mazout a paru répondre à ce desideratum.

L'agencement d'une locomotive comporte l'utilisation à l'avant du foyer d'un brûleur spécial divisé en deux conduits de section aplatie : le conduit supérieur est réservé au mazout et le conduit inférieur à la vapeur. — Le jet de vapeur projette le mazout en nappe pulvérisée. — On peut, en agissant uniquement sur les robinets de vapeur et de mazout, régler progressivement l'allure depuis la mise en veilleuse jusqu'à la marche à grand débit. — La pression de vapeur nécessaire à la marche du brûleur varie de 1^{kg},500 à 3^{kg},500 environ.

Le foyer doit recevoir un revêtement réfractaire composé d'une sole et de murettes, et d'une voûte placée au-dessus du brûleur. — Ce revêtement est recouvert, côté feu, d'un enduit à base de carbonate de soude qui se vitrifie sous l'action de la chaleur et protège les briques contre l'action des flammes.

L'agencement est complété par l'installation d'un réservoir à mazout et de la tuyauterie nécessaire.

Pour des machines de gare de 1^m,36 de surface de grille, et timbre de 10 kilogrammes, la consommation de mazout a été de 70 litres par heure avec 3 kilogrammes de pression de vapeur au brûleur.

Les essais effectués ont fait ressortir une grande souplesse de ce mode de chauffage et la possibilité d'obtenir aisément une vaporisation suffisante.

La plus grande facilité de conduite du feu avec le chauffage au mazout est très appréciée pour les machines de manœuvre qui ne sont généralement accompagnées que par un mécanicien sans chauffeur.

Le seul obstacle à l'adoption de ce combustible est son prix élevé par rapport à celui du charbon même en tenant compte de son pouvoir calorifique supérieur. Il est avantageux dans les pays producteurs de pétrole qui n'ont pas de charbon tels que le Caucase.

Chauffage au charbon pulvérisé.

Le chauffage au charbon pulvérisé en poussière impalpable (il coule comme un liquide et ne doit pas donner plus de 20 0/0 de résidu au tamis à 4.900 mailles par centimètre carré) a été appliqué tout d'abord dans l'industrie des ciments, il s'est appliqué ensuite au chauffage des foyers industriels, où il paraît se développer rapidement.

Il présente les avantages suivants :

1° Une combustion complète du combustible, les moindres particules sont mises en contact avec l'air, et la possibilité d'effectuer la combustion sans excès d'air ;

2° La possibilité de brûler des combustibles de qualité inférieure ;

3° Une conduite facile du feu, un allumage et une extinction instantanés.

Il présente, par contre, certains inconvénients :

1° L'importance des installations nécessaires pour la pulvérisation du charbon ;

2° Le coût assez élevé du chauffage pour la dessiccation du charbon brut qui doit être sec et de la force motrice pour le concassage ;

3° La difficulté de l'emmagasinement à l'abri de l'humidité, le charbon pulvérisé étant très hygrométrique, et les appareils distributeurs ne fonctionnant bien que si le charbon pulvérisé est très sec ;

4° Enfin et surtout les risques d'accidents.

Dans des usines qui l'emploient, des personnes, dont les vêtements étaient saupoudrés de charbon pulvérisé, par suite de leur simple séjour dans l'usine, ont été entièrement brûlées au contact d'une flamme.

Des usines de préparation ont brûlé (Préparation de lignite pulvérisé aux chemins de fer italiens).

Chaudières de locomotives chauffées au charbon pulvérisé. — On a essayé sur divers réseaux de chauffer les chaudières de locomotive au charbon pulvérisé ; l'emploi rationnel de ce mode de chauffage demanderait des chaudières construites spécialement avec de très vastes chambres de combustion, ce qui est impraticable sur les locomotives existantes.

On a essayé, et récemment encore au P.-O., de remédier aux difficultés d'emmagasinement en pulvérisant le charbon sur le tender lui-même, le fonctionnement de ces appareils n'est pas exempt de critiques.

L'A. E. G. a construit pour les chemins de fer du Reich une locomotive G 8 (140) disposée pour consommer du lignite pulvérisé¹.

La Société d'Études pour la chauffe au charbon pulvérisé sur les locomotives fondée par les grands constructeurs de locomotives allemandes Henschel, Borsig, Hanomag, Krupp, Berliner Maschinenbau a également construit chez Henschel une locomotive d'essai². (Système S. T. U. G.), type G. 12.

Un grand nombre d'essais tentés ont été abandonnés. On peut affirmer qu'actuellement ce mode de chauffage n'est pas au point pour son emploi sur les locomotives³. Toutefois des progrès sensibles ont été réalisés surtout en Allemagne et cela dans le but de brûler des combustibles de qualité inférieure.

En France, la Société Stein et la S. A. F. A. (système américain Lopulco), étudient la question.

Chargeurs mécaniques. — Lors des essais des premières locomotives Pacific du P.-L.-M. on a brûlé sur une grille de 4^m2,25 jusqu'à 600 kilogrammes de charbon par mètre carré et par heure, soit 2.500 kilogrammes à l'heure en chiffres ronds; il semble que l'on ait approché du maximum de ce qu'un chauffeur peut charger en une heure.

En service courant on n'a pas, loin de là, de telles combustions, qui du reste ne s'obtiennent qu'au détriment du rendement. Les locomotives ne sont donc pas employées à la limite de leur puissance, ce qui est d'ailleurs nécessaire pour la bonne marche du service.

On fera cependant des locomotives de plus en plus puissantes, et si à ce moment la traction à vapeur n'est pas supplantée par la traction électrique, on sera, un jour bien éloigné, limité par les possibilités du chargement de charbon à la main.

Ce jour est venu en Amérique, il ne viendra pas en Europe avant que les voies permettent les charges par essieu qu'elles permettent en Amérique.

Néanmoins il peut être intéressant d'étudier dès maintenant un chargeur mécanique bien que l'on ne puisse prévoir le moment où la puissance des machines rendra son emploi indispensable si l'on veut éviter un deuxième chauffeur (en dehors de ce cas son emploi n'est pas rémunérateur).

A notre avis, on devrait étudier un appareil léger à faible débit *venant seulement en aide* au chauffeur. Celui-ci serait obligé de charger à la main le complément de charbon nécessaire, ce qui lui per-

¹ G. A., 15 février et 1^{er} mars 1928; — G. C., 27 octobre 1928; — R. L. E., avril 1928; — Ry. A. 28 avril 1928;

² G. A., 15 janvier 1929. Ry Gaz., 13 septembre 1929.

³ *Organ*, février 1928.)

mettrait de rectifier la régularité du chargement, toujours imparfaite avec les chargeurs mécaniques.

Avantages et inconvénients. — Un chargeur mécanique n'a pas seulement pour effet d'augmenter la puissance des locomotives, il a une influence heureuse sur le rendement calorifique de la chaudière et améliore sa tenue en service parce qu'il permet le chargement sans ouvrir la porte, évitant ainsi les rentrées d'air froid qui diminue la température des gaz chauds et refroidit les tôles du foyer. Aux marches poussées sur nos locomotives actuelles, la porte du foyer est ouverte un quart du temps ; cette influence est loin d'être négligeable.

Par contre les chargeurs mécaniques sont lourds, chers, d'un entretien coûteux, leur fonctionnement n'est pas toujours très sûr ; le moteur dépense une quantité de vapeur appréciable, leur emploi conduit à gaspiller le charbon (12 à 15 0/0 de perte).

Les Américains seraient sur le point de les abandonner, préférant employer deux chauffeurs.

Il y a deux grandes classes de chargeurs mécaniques : les chargeurs *par dessus* la grille, et les chargeurs *par dessous*. Ceux qui chargent par dessus font un chargement irrégulier et laissent des trous d'où excès d'air ; ceux qui chargent par dessous réduisent l'arrivée d'air sous la grille d'un tiers à la moitié ; tout cela réduit le rendement thermique de la chaudière.

Parmi les premiers : les chargeurs :

Hayden, Standard (du Pont), Street, Hanna, Duplex, sont à projection de charbon par jet de vapeur.

Economic Stoker, Black or Dodge, Crosby, Elwin sont à projection de charbon par lanceurs mécaniques à palettes.

Strouse, Kainkaïd à lanceurs mécaniques par piston.

Harlé à chargement par gravité, le seul chargeur français jusqu'à présent.

Parmi les seconds on trouve les chargeurs Rait, Crawford, Brewster.

Les chargeurs Duplex et Street semblent être, dans l'ordre, les plus employés.

Nous ne décrivons pas ces chargeurs, encore moins les étudierons-nous. On trouvera des renseignements dans les articles suivants :

Chargeurs mécaniques.

BIBLIOGRAPHIE

<i>Bulletin de la Société d'Encouragement.</i>	Janvier 1925.	Les chargeurs mécaniques pour locomotives.
<i>Ry and Loc. Engineering.</i> <i>id.</i>	Octobre 1921. Mars 1925.	Chargeur Elvin. Chargeur Standard (Du Pont). Chargeur Street.
<i>Bulletin de l'Association Internationale des Chemins de fer.</i> <i>id.</i>	Février 1912, page 232.	
<i>id.</i>	Juillet 1913, page 668.	
<i>id.</i>	Novembre 1913, page 1018.	La suppression de la fumée et le chargeur mécanique.
<i>id.</i>	Avril 1914, page 390.	Chargeur Standard.
<i>id.</i>	Février 1921, page 197.	Chargeurs mécaniques pour foyers de locomotive.
<i>id.</i>	Mars 1922, page 481.	Chargeur Elvin.
SAUVAGE. — <i>Génie civil.</i>	22 Novembre 1924, page 484.	Le chargement mécanique des foyers de locomotive.
<i>Arts et Métiers.</i> <i>Ry Age.</i>	Décembre 1914. 19 septembre 1925, page 533.	
<i>id.</i>	31 mai 1924.	Chargeur Standard (Du Pont).
GARBE. — <i>Die Dampflokomotiven der Gegenwart.</i> <i>Locomotive Dictionary.</i>	Pages 220 à 227. Pages 390 à 406. Page 1074. Page 1100. Page 1112.	Différents chargeurs. Différents chargeurs. Chargeur Elvin. Chargeur Hanna. Chargeur Duplex.

Chaudières à tubes d'eau. — La puissance de la locomotive est limitée par celle de la chaudière qui est elle-même limitée d'une part par sa surface de grille, c'est-à-dire par son poids, d'autre part par son rendement.

On met donc sur une locomotive la plus grande et par suite la plus lourde chaudière que permet le poids par essieu.

On a essayé d'augmenter le rendement en augmentant la rapidité de circulation de l'eau à l'intérieur de la chaudière. C'est le but des

chaudières à tubes d'eau. En réalité des phénomènes en apparence secondaire viennent très vite limiter cette activité : la difficulté d'évacuer la vapeur produite dans les tubes, l'entartrement des tubes et la difficulté du ramonage de leur surface extérieure.

Ces chaudières donnent de bons résultats à terre ou sur les navires lorsqu'on les alimente à l'eau distillée (chaudières Du Temple, Du Temple-Guyot, Thornycroft, Schultz, Yarrow, Solignac, Kestner, Garbe). Elles se comportent assez mal sur les locomotives (chaudières Robert, Brotan, Stroomann), à cause principalement de l'entartrement des tubes qui amène des ruptures ; ces tubes sont de diamètre assez petit, 30 millimètres environ. Ces chaudières doivent être beaucoup plus résistantes mécaniquement pour être adaptées à des locomotives que pour être utilisées à poste fixe ou sur les bateaux en raison des chocs auxquels elles sont soumises, la liaison des tubes avec les collecteurs donne fréquemment des ennuis.

En fait, les essais qui ont été tentés avec des locomotives munies de telles chaudières :

Sur le Nord ;

Le P.-L. M. algérien (12 chaudières Robert) ;

Le P.-L.-M. (2 Robert, 1 Brotan) ;

L'Etat Autrichien (1 Brotan) ;

L'Etat Prussien (1 Brotan).

Ont dû être abandonnés, parfois au bout de peu de temps, en raison de l'immobilisation plus fréquente de ces machines que celles de la même série munies de chaudières ordinaires, de leurs frais d'entretien plus considérables, et de leur consommation en charbon plus élevée.

En 1916, le New-York, New-Heaven and Hartford Ry a mis en service deux locomotives Mikado à chaudières *Mac Clellan* analogues à la chaudière Brotan qui ne donnèrent pas de bons résultats ; après modification, 10 chaudières timbrées à 17^k,5 furent appliquées en 1924 sur des machines Mountain. Seul le foyer est à tubes d'eau, le corps cylindrique est du type courant.

Avec la tendance actuelle à l'emploi des hautes pressions, l'histoire de la chaudière à tubes d'eau va se confondre avec celle des chaudières à haute pression.

Voir le § chaudières à haute pression.

Certains constructeurs espèrent améliorer la tenue des tubes en alimentant la partie à haute pression de la chaudière à l'eau distillée, la vapeur ainsi produite ne sert que d'agent de transmission de chaleur et vaporise l'eau d'une autre portion de la chaudière, à tube d'eau et alimentée avec de l'eau ordinaire.

Réchauffage de l'air de combustion.

Les *gaz chauds* emportent 20 0/0 des calories contenus dans le charbon sur la grille. (Voir : *Bilan thermique*).

Le réchauffage de l'air de la combustion par les *gaz chauds* de la boîte à fumée a été tenté depuis longtemps. Tous les dispositifs essayés ont été abandonnés comme étant d'un entretien trop coûteux.

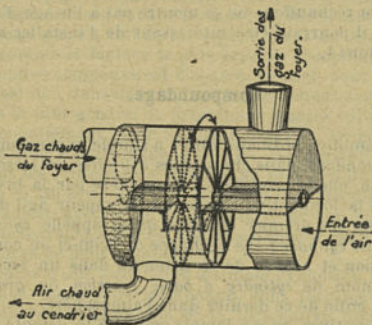


Fig. 47.

La question est revenue récemment à l'ordre du jour. La locomotive à turbine de Maffei comporte un réchauffeur tubulaire placé dans la boîte à fumée, traversé par l'air destiné à la combustion, le système n'est pas nouveau et ne semble pas devoir donner de bons résultats.

La chaudière à haute pression Winterthur avait un réchauffeur d'air par les gaz de la combustion, il a été supprimé.

Un système original est celui inventé par Ljungström appliqué aux navires ainsi qu'à ses machines à turbines. L'air de la combustion traverse le réchauffeur placé à la partie avant de la boîte à fumée, se rend dans le cendrier étanche, traverse la grille et la chaudière. Il est aspiré par un ventilateur.

Le réchauffeur proprement dit est de forme générale cylindrique à axe horizontal, et logé dans un prolongement de la boîte à fumée vers l'avant.

Il est composé d'un cylindre garni de tôles ondulées qui tourne autour de l'axe du corps cylindrique, à la vitesse de cinq à six tours à la minute.

Dans sa moitié supérieure il est traversé d'arrière en avant par les gaz de la combustion qui se rendent à la cheminée et le réchauffent ; dans sa moitié inférieure il est traversé d'avant en arrière par l'air destiné à la combustion et lui transmet sa chaleur ; comme le cylindre tourne, le phénomène est continu. Il paraît que l'on abaisse la température des gaz de la combustion de 240°.

On récupérerait ainsi 50 0/0 de la chaleur des gaz. Si, comme cela est possible, ce réchauffeur ne se montre pas à l'usage d'un entretien trop coûteux, il pourrait être intéressant de l'installer sur des locomotives à pistons ¹.

Compoundage.

Dans la locomotive ordinaire dite « à simple expansion », la vapeur agit, en se détendant, dans chacun des cylindres, et, lorsqu'elle a produit son action, elle se rend dans l'atmosphère par la tuyère d'échappement. Dans la locomotive compound, la vapeur agit d'abord en se détendant dans un premier cylindre qu'on appelle *cylindre à haute pression* ou *petit cylindre* ; elle s'échappe de celui-ci en conservant une certaine pression et achève de se détendre dans un second cylindre qui porte le nom de *cylindre à basse pression* ou *grand cylindre* ; elle s'échappe enfin de ce dernier dans l'atmosphère.

Sur les locomotives on n'a jamais employé la détente dans plus de deux cylindres.

Avantages du système compound. — On sait que le travail de la vapeur est d'autant plus économique que la pression est plus élevée et que la détente est plus poussée. Or, avec les distributions à coulisses, il est très difficile, sinon impossible, d'employer dans de bonnes conditions des admissions inférieures à 30 0/0 dans les locomotives à simple expansion, ceci en raison de l'augmentation inadmissible de la compression qui résulte forcément d'une diminution de l'admission au-dessous de ce chiffre. La détente maximum possible est réduite, de ce fait, à environ 3,5 fois le volume primitif de la vapeur et, par suite de cette faible détente, la vapeur s'échappe du cylindre à une pression relativement élevée, d'où perte de rendement.

Dans les locomotives compound, au contraire, la détente peut être augmentée de manière à réduire à des proportions très modérées la

¹ Voir V. D. I., 3 avril 1926 ; — *Temperaturen und Wärmeausnutzung in einem Luftvorwärmer.*

pression de la vapeur à l'échappement. Le rendement doit donc être meilleur et, en fait, l'emploi du système compound a été reconnu plus économique : des expériences faites en 1923 l'ont confirmé.

On avait mis en comparaison des locomotives Pacific et des locomotives Mikado, dont les unes étaient compound et les autres à simple expansion, en leur faisant assurer le même service. La consommation moyenne de combustible des locomotives à simple expansion a excédé de 10 à 25 0/0 par kilomètre parcouru la consommation des locomotives compound.

On ne doit cependant pas imputer toute cette économie à la plus grande détente de la vapeur que permet le système compound. L'emploi plus judicieux qui est fait de la vapeur, dans ce système, doit être considéré comme le facteur le plus actif de l'économie réalisée.

La locomotive compound est disposée, en effet, pour que l'admission de vapeur ait lieu dans deux cylindres seulement sur quatre (en prenant le cas le plus général de machines à quatre cylindres); ce n'est qu'exceptionnellement, pour les démarrages et, au besoin, pour des coups de collier momentanés, que l'on fait arriver directement la vapeur dans les cylindres de détente, au moyen d'un appareil appelé démarreur. — En sorte que l'on dispose d'une machine pouvant travailler au besoin avec toute la puissance de ses quatre cylindres, mais dont le travail normal est assuré seulement par l'admission dans deux cylindres de petit diamètre.

Les cylindres d'une locomotive à simple expansion, de même puissance qu'une locomotive compound, sont forcément plus grands que les cylindres d'admission de la locomotive compound, afin de pouvoir suffire aux démarrages et aux coups de collier; et comme ils travaillent toujours à admission directe, ils doivent, en marche normale, dépenser plus de vapeur que les cylindres d'admission de la locomotive compound.

On peut en déduire, pour des locomotives à simple expansion, que celle qui serait établie avec quatre cylindres égaux, dont deux ne travailleraient qu'accidentellement pour les démarrages ou les coups de collier, serait également plus économique que celle qui serait établie avec deux cylindres dont le diamètre serait forcément plus grand afin d'obtenir le même effort au démarrage.

Divers types de machines compound. — Les locomotives compound peuvent se diviser en trois catégories :

1° Les locomotives compound à deux cylindres, le cylindre à haute pression d'un côté de la machine et celui à basse pression de l'autre, soit intérieurement, soit extérieurement au bâti. C'est le type appliqué, en 1876, sur le chemin de fer de Bayonne-Biarritz, par M. Mallet, à qui l'on doit la première application du système compound aux locomotives. Ce système est, depuis, très largement développé; on comptait

il y a peu de temps encore, environ 1.400 machines de ce type sur un total de locomotives compound d'environ 1.900.

Dans le but de faciliter le démarrage soit à une station, soit sur une rampe, par suite d'un arrêt momentané, on munit ces locomotives d'un appareil qui porte le nom d'*intercepting valve* et qui permet de faire agir la vapeur à haute pression dans le petit et dans le grand cylindre simultanément. Ces appareils sont *automatiques* ou *non automatiques* et les systèmes en sont assez nombreux ; il serait trop long de les décrire même sommairement ; nous ne pouvons que renvoyer à la *Revue générale des Chemins de fer*, où la plupart de ces systèmes ont été décrits.

2° Les locomotives compound à trois cylindres : ces machines sont caractérisées par la machine de M. Webb, ingénieur en chef du L. et N. W. Deux cylindres extérieurs, à haute pression, placés vers le milieu de la machine, actionnent l'essieu d'arrière, et un seul cylindre à basse pression, placé dans l'axe de la machine et au-dessus de l'essieu porteur d'avant, actionne l'essieu moteur avant ; les deux essieux sont indépendants l'un de l'autre.

Ces locomotives ont une très bonne allure aux grandes vitesses ; mais, aux faibles vitesses, et surtout au moment du démarrage, la marche est difficile et saccadée par suite du manque d'accouplement et de ce que l'essieu moteur avant est actionné par une seule manivelle.

Du reste, ce type s'est très peu développé en dehors du L. et N. W. En 1889, il y avait en tout 99 machines de ce type, et, en 1892, 108, sur lesquelles 85 appartiennent à la Compagnie dont M. Webb est l'ingénieur en chef.

Nous citerons encore comme appartenant à ce type la locomotive à trois cylindres de la Compagnie du Nord ; mais, dans cette machine à trois essieux couplés, les trois cylindres actionnent le même essieu.

3° Les locomotives à quatre cylindres : cette catégorie peut elle-même se diviser en deux : les locomotives à quatre cylindres séparés, les locomotives à quatre cylindres en tandem ou superposés deux à deux.

Le premier système, qui, jusqu'en 1895, n'a été employé qu'en France, est caractérisé par les locomotives que la Compagnie P.-L.-M. a construites depuis 1890 et par celles que la Compagnie du Nord, vers la même époque, a affectées au service de ses express. Les deux cylindres à haute pression, placés vers le milieu de la machine, extérieurement au bâti, actionnent l'essieu moteur arrière, et les deux cylindres à basse pression, placés intérieurement, actionnent l'essieu moteur avant ; dans ces machines, l'accouplement des deux essieux est conservé dans le but de faciliter les démarrages et d'améliorer la stabilité. Un appareil spécial permet d'admettre la vapeur à haute pression dans les petits et grands cylindres simultanément au moment des démarrages.

Dans le même ordre d'idées, nous citerons la locomotive à quatre cylindres du type Mallet, employée notamment aux chemins de fer dé-

partementaux, au Central suisse et au Gothard. Ce type de machine diffère du précédent en ce qu'elle est disposée pour circuler dans des courbes de faible rayon. La chaudière repose, à l'arrière, sur un châssis fixe, qui supporte les cylindres à haute pression, et, à l'avant sur un truc mobile supportant les cylindres à basse pression. Chaque groupe de cylindres actionne deux ou trois essieux accouplés.

L'action des cylindres à haute et basse pression sur deux essieux moteurs séparés a le grand avantage de diminuer dans une forte proportion les efforts qu'un seul essieu doit supporter, lorsque les pistons agissent directement sur lui seul. Cette considération a une grande importance lorsqu'il s'agit de locomotives à grandes vitesses dont on est obligé d'accroître chaque jour la puissance, par suite de l'augmentation successive du poids des trains et de leur vitesse.

Le second type est représenté par la locomotive à marchandises du Nord à quatre essieux accouplés, par les locomotives à grande vitesse de l'État hongrois et du Sud-Ouest russes. Dans ces locomotives, les deux cylindres à haute et basse pression sont placés de chaque côté de la machine extérieurement au bâti, en avant l'un de l'autre, c'est-à-dire en tandem.

En Amérique, la maison Baldwin a construit des locomotives du même type, mais où les cylindres, au lieu d'être placés en tandem, sont superposés (système Vauclain); au chemin de fer *Central mexicain*, on a construit des locomotives avec cylindres concentriques. Ces deux derniers systèmes ont le grave inconvénient de compliquer les pièces du mécanisme et, surtout, le tiroir de distribution.

Rapport des volumes des cylindres. — Le rapport entre les volumes des cylindres n'a pas une importance capitale. On le détermine en général par la condition de partager également la puissance développée entre les cylindres HP et les cylindres BP.

Bien entendu, à chaque rapport des volumes choisi correspond un rapport optimum des valeurs des admissions correspondantes. En général, pour les locomotives à deux cylindres, on tend à faire ce rapport des volumes égal à 2,30; en Amérique, on va même jusqu'à 2,70.

M. Webb, pour ses machines à trois cylindres, avait adopté un rapport de 2,30; mais, dans sa dernière (*Greater Britain*), ce rapport a été réduit à 2,00.

Dans les locomotives à quatre cylindres séparés du Nord, construites de 1891 à 1898, le rapport est de 2,43; dans celles construites en 1900, il est de 2,71; dans celles du P.-L.-M. il est de 2,5 et dans les machines à surchauffe de 2,2.

Économie des machines compound. — D'après les résultats obtenus en se

sur les locomotives ordinaires une économie de combustible de 15 à 20 0/0.

D'après des essais faits par le P.-L.-M. l'économie est de l'ordre de 15 0/0.

Échappement des locomotives.

L'allure élevée de combustion des chaudières locomotives, allure qu'on ne trouve dans aucun autre chaudière, est normalement de 350 à 400 kilogrammes, elle est exceptionnellement de 600 kilogrammes. (Essais de puissance de la locomotive Pacific P.-L.-M. en 1910.) Les Américains brûlent encore davantage, 700 à 800 kilogrammes.

Il faut, pour avoir des combustions aussi actives, un tirage très violent. Le tirage est mesuré pratiquement par la différence de pression qui existe entre la boîte à fumée et l'atmosphère. Elle est relevée par un manomètre à eau à air libre, et mesurée en millimètres de hauteur d'eau.

Si l'on veut avoir une idée de l'ordre de grandeur relative du tirage et de la combustion correspondante, on peut employer la formule empirique :

$$l = 0,31B - 25,$$

l = dépression dans la boîte à fumée en millimètres d'eau ;

B = allure horaire de combustion en kilogrammes par mètre carré de grille.

Pour une combustion de $B = 300$ kilogrammes, la formule donne une dépression de 68 millimètres d'eau.

Pour une combustion de 600 kilogrammes, $l = 161$ millimètres. Ces chiffres s'accordent à peu près avec la réalité, tout en étant un peu faibles. La forme même de cette formule d'après laquelle la combustion serait une fonction linéaire du tirage est assez surprenante. Théoriquement, la combustion est proportionnelle à la racine carrée du tirage.

Du reste, ces chiffres de tirage ne signifient rien par eux-mêmes, ils ne parlent à l'esprit du technicien que parce qu'ils s'appliquent à des chaudières dont les dimensions ne varient pas beaucoup entre elles et que le poids de gaz débité varie dans le même sens que le tirage, mais on conçoit très bien qu'en augmentant la résistance au passage des gaz, en fermant, par exemple, les portes du cendrier, on puisse avoir, par l'effet de l'échappement, un vide très élevé dans la boîte à fumée tout en n'ayant qu'un appel d'air tout à fait insuffisant pour entretenir les phénomènes se

produiront si l'on réduit la section de passage des gaz à travers le faisceau tubulaire.

Il s'ensuit que, lorsqu'on étudie, comme on le fait d'habitude, l'effet utile d'un échappement et cherchant comment varie la dépression dans la boîte à fumée en fonction de la contre-pression dans les cylindres qui la produit, les courbes représentant les variations de ce tirage ne permettent de comparer entre eux que deux échappements montés *sur la même machine* et dans les mêmes conditions d'ouverture de porte de cendrier et d'épaisseur de feu. C'est à cette seule condition, qu'à des dépressions égales dans la boîte à fumée, correspondent des combustions égales. En un mot les courbes : contrepression-tirage, relevées sur deux locomotives différentes, ne sont pas comparables.

Obtention du tirage. — Dans toutes les locomotives, sauf les locomotives à condensation (celles à turbines), le tirage est produit par l'échappement de la vapeur sortant des cylindres. Ce dispositif est presque aussi vieux que la locomotive, son rendement est déplorable et malgré cela on ne l'améliore que très difficilement ; pratiquement on n'en a pas trouvé de meilleur.

La vapeur provenant des cylindres se rend dans la colonne d'échappement verticale, à ouverture légèrement rétrécie : la tuyère.

Le jet de vapeur en sort avec une grande vitesse, il s'engage dans la cheminée formée d'un cône convergent suivi d'un divergent.

L'ensemble forme un éjecteur à vapeur. Dans l'étude d'un échappement, il ne faut pas séparer l'étude de la tuyère de celle de la cheminée.

Le niveau dans la boîte à fumée de l'orifice de la tuyère d'échappement, auquel on a donné parfois une grande importance, ne doit pas avoir d'influence sur le tirage *dans son ensemble*. On doit pouvoir, un échappement étant construit, remonter ou descendre tout l'ensemble à la fois (tuyère et cheminée) sans faire varier la dépression dans la boîte à fumée. Le tirage n'est toutefois pas le même dans tous les tubes à fumée, il est plus violent dans les tubes qui se trouvent au niveau de la tuyère. Le déplacement de l'ensemble que nous avons envisagé, une élévation, par exemple, fait donc tirer davantage les tubes du haut et augmente l'activité à l'arrière de la grille ; un abaissement a un effet inverse.

On égalise un peu le tirage sur l'ensemble des tubes en interposant entre la tuyère et la cheminée un cône convergent supplémentaire (c'est le *petticoat* des machines américaines). Le tirage se fait alors sentir à deux niveaux.

L'échappement que nous venons de décrire est l'échappement fixe. En France, principalement, on emploie des échappements variables dont les plus récents, sont le cône Nord et le Trèfle P.-L.-M. La meilleure

raison donnée pour justifier leur emploi est que la quantité de vapeur d'échappement n'est pas toujours proportionnelle à l'allure de la combustion; l'hiver, une partie de la vapeur produite est employée à chauffer le train et ne passe pas dans l'échappement. Il semble qu'on pourrait employer néanmoins un échappement fixe, mais en prévoyant une tuyère d'été et une tuyère plus petite d'hiver.

Établissement de l'échappement. — Les formules pour calculer les diverses dimensions d'un échappement sont excessivement nombreuses¹; leur nombre même montre qu'aucune n'est satisfaisante.

On cite les règles de Van Borries, les règles des Master Mechanics, etc.; de plus, chaque réseau a sa pratique particulière. En fait on n'est jamais certain d'établir *a priori* et sans essais un échappement satisfaisant, la meilleure règle est de se baser sur un échappement donnant satisfaction. Les formules proposées elles-mêmes n'ont pas été établies autrement.

La raison de cet état de chose est qu'on est très ignorant de la façon dont la vapeur travaille dans un échappement. Le débit de vapeur n'y est pas continu mais à allure pulsatoire, surtout aux faibles vitesses de marche, et l'on ne sait pas encore, d'une façon nette, si cela est un avantage ou si un débit uniforme de vapeur serait préférable.

Les essais en marche faits au P.-L.-M. par M. Japiot et qui ont conduit à l'échappement à trèfle, ont montré qu'il fallait augmenter la surface de contact entre la vapeur et les gaz et en particulier qu'il était avantageux de diviser la vapeur en plusieurs veines entre lesquelles peuvent s'introduire les gaz chauds.

Si cet échappement à trèfle s'est montré meilleur que l'échappement Nord utilisé auparavant, c'est parce que ce dernier produit une gaine de vapeur cylindrique creuse, à l'intérieur de laquelle s'échappe le reste de la vapeur. Les gaz chauds se heurtent à cette gaine périphérique et toute la vapeur qui s'échappe à l'intérieur est sans effet sur les gaz.

Comment se fait cet entraînement des gaz par la périphérie de la veine de vapeur? On saisit très bien que cette veine dont la vitesse est considérable (environ 250 m./s.) n'a que peu d'effet sur les gaz en raison de leur inertie, et l'on se demande si des remous provoqués artificiellement sur la surface de la veine de vapeur ne favoriseraient pas l'entraînement.

On conçoit également qu'en multipliant les étages d'aspiration par un ou plusieurs petticoats, on donne progressivement aux gaz leur vitesse, ce qui favorise l'entraînement.

¹ B. A. I., Juin 1897, Van Borries, *Essais de tirage*; — B. A. I., 1900; — A. M., 1906; Japiot, P 277; — B. A. I., Janvier 1920; Legein — B. A. I., Octobre 1907, Hohn; — V. D. I., 1912, page 1739, Strahl.

On a essayé récemment sur les réseaux l'échappement Kylälä. Ce échappement comporte une tuyère de section circulaire surmontée de deux petticoats dont la section a la forme d'un trèfle à quatre feuilles. On réunit ainsi les avantages d'une veine divisée en quatre et d'un entraînement à trois étages différents. On a pu, avec cet échappement, augmenter considérablement la section de la tuyère et, par suite, diminuer la contre-pression dans les cylindres. Bien entendu les sections des petticoats vont en croissant et conduisent à une cheminée beaucoup plus grande que les cheminées ordinaires, ce qui est avantageux. (A ce sujet, il faut remarquer que le cône Nord a conduit à des cheminées plus étroites que celles que l'on employait jusqu'alors). Les réseaux l'essayeront tel quel ou en combinant son principe avec celui d'un trèfle mobile, logé dans la tuyère d'échappement pour conserver le principe d'un échappement variable. On pourrait facilement imaginer un grand nombre de variantes. Le P.-O. remplace le trèfle supérieur du Kylälä par un petticoat lisse cylindrique ou par un cône convergent qui en se raccordant à la cheminée divergente forme trompe.

Sous une forme plus simple, l'État Belge a réalisé la division des jets en accolant deux cheminées munies chacune de leur échappement. Les Américains (Pensylvanie) ont accolé quatre cheminées.

Causes de notre ignorance. — Les essais du génial et regretté M. Maurice Leblanc ont éclairé, d'un jour très vif, la question de l'écoulement de la vapeur et ont permis de construire, scientifiquement, des éjecteurs de vapeur ¹.

Les résultats obtenus ne sont malheureusement pas directement applicables à la locomotive.

Sans aucun doute, des essais méthodiques dans les conditions réelles de fonctionnement et, par suite, de toute nécessité au *banc d'essais*, permettraient sûrement de résoudre cette question de l'échappement qui attend encore une solution rationnelle.

Fonctionnement de l'échappement. — L'échappement est un éjecteur à vapeur ; il entraîne, on ne peut dire exactement de quelle manière, les gaz de la boîte à fumée, leur fait traverser à une très grande vitesse la partie rétrécie de la cheminée. Dans la partie divergente de cette dernière, le mélange de gaz et de vapeur perd de la vitesse en même temps que sa pression augmente, jusqu'à devenir supérieure à la pression atmosphérique, ce qui lui permet de

¹ *Notice sur les machines frigorifiques à vapeur d'eau et à éjecteur*, par Maurice LEBLANC, Gauthier-Villars, 1911; — B. S. E., Décembre 1911. *Étude sur la* IRIS, LILLIAD, Université Lille 1

s'évacuer au dehors. La boîte à fumée, dans laquelle le vide tend à se produire, est en communication avec l'air extérieur par le cendrier, la grille, le foyer, les tubes. Il s'y produit un vide d'autant plus grand que les résistances opposées au passage de l'air et des gaz à travers le charbon et les tubes est plus grand.

L'effet utile consiste donc à prendre, par seconde, une masse donnée d'air à la pression atmosphérique et à la rejeter dans l'atmosphère après lui avoir fait traverser les diverses résistances. Cette façon de concevoir les choses fait bien sentir que ce travail utile est mesuré par le débit des gaz et non par la dépression dans la boîte à fumée qui n'est qu'une indication secondaire et qui dépend, à la fois, du débit et des résistances.

Les gaz sont rejetés dans l'atmosphère avec une grande vitesse ; leur force vive est très grande, elle est perdue, et c'est néanmoins à leur donner cette force vive qu'est employée pour la plus grande partie l'énergie de la vapeur d'échappement.

Amélioration de l'échappement. — L'amélioration du rendement de l'échappement devrait donc consister surtout à faire sortir les gaz avec une vitesse moins grande ; il faut pour cela imaginer un échappement qui, en fin de compte, agrandira le diamètre de la cheminée, mais on s'aperçoit tout de suite lorsqu'on fait des essais, qu'une certaine vitesse de sortie est nécessaire pour éviter des rabattements de fumée qui gênent la visibilité des signaux ; on ne peut donc aller très loin dans cette voie, à moins d'inventer des dispositifs spéciaux pour que la fumée sortant à faible vitesse ne soit pas gênante (Voir dispositif pour éviter les rabattements de fumée).

Une autre voie ouverte aux améliorations est de diminuer les résistances intérieures au passage des gaz, mais ces résistances n'absorbent qu'une part assez faible de la puissance de l'échappement ; on n'a pas grande économie à espérer de ce côté.

Gain maximum qu'on peut retirer de l'abaissement de la contre-pression dans la colonne d'échappement. — Supposons que la pression de la vapeur dans la tuyère d'échappement soit de $0^{\text{kg}},200$, soit $1^{\text{kg}},200$ absolus.

Toute l'énergie contenue dans cette vapeur d'échappement est employée à créer le tirage, mais, tant que les locomotives échapperont à l'atmosphère, la pression de la vapeur dans la colonne d'échappement ne descendra pas au-dessous de 1 kilogramme absolu.

Or 1 kilogramme de vapeur admise dans les cylindres à 16 kilogrammes par centimètre carré absolu, surchauffée à 350° , contient 750 calories, lorsqu'elle échappe saturée sèche à la pression $1^{\text{kg}},200$ absolus, elle en contient encore 640, on a donc utilisé 110 calories, mais

si l'on admet que cette vapeur continue à se détendre adiabatiquement dans les cylindres jusqu'à 1 kilogramme par centimètre carré, elle abandonne encore 7 calories qui sont transformées en travail.

Dans le premier cas, les cylindres ont pu théoriquement transformer en travail au maximum $\frac{110}{750} = 14\ 0/0$ des calories fournies par la vapeur.

Dans le deuxième cas $\frac{117}{750} = 15\ 0/0$, l'augmentation du rendement des cylindres est $\frac{7}{110} = 6\ 0/0$, ces 6 0/0 correspondent à la puissance dépensée par l'échappement actuel, ce qui permet de fixer l'ordre de grandeur de cette puissance : 150 chevaux.

L'échappement idéal qui ne créerait pas de contre-pression dans les cylindres n'augmenterait donc que dans des proportions très faibles le rendement global de la locomotive.

L'amélioration de l'échappement est beaucoup plus efficace pour augmenter la puissance spécifique de la locomotive en permettant des allures de combustion élevées, que pour améliorer le rendement aux allures de combustion moyennes.

La qualité d'un échappement est un facteur important de la puissance maxima que peut développer une machine. *C'est par la comparaison des puissances maxima que divers échappements peuvent procurer à une machine qu'on devrait les classer et non par la recherche de l'économie de charbon en marche normale qui est de l'ordre des erreurs d'expérience.*

Nouveaux systèmes d'échappement. — Sur les locomotives à condensation qui sont les locomotives à turbines, (car il est bien peu probable, en raison du grand volume qu'il faudrait donner aux cylindres, que l'on fasse jamais des locomotives à piston à condensation), on est dans l'obligation de créer le tirage par un ventilateur, de préférence aspirant.

On a essayé récemment, sur les locomotives ordinaires, de créer le tirage, en employant la vapeur d'échappement non dans un éjecteur mais dans une turbine à basse pression, c'est le turbo-aspirateur. De tels essais ont été faits sur le P.-L.-M. avec un appareil étudié par M. Rateau, on n'en a pas tiré de conclusions définitives. (Un autre appareil du même genre est décrit dans le *B. A. I.*, janvier 1928.) *Ry Age*, 11 juin 1927 avec lequel des essais ont été effectués par M. Goss. L'appareil se détériora très vite : la turbine par l'huile entraînée par la vapeur d'échappement, le ventilateur par les gaz chromés et les escarbillés.

Fumivorité.

Dispositifs pour éviter les dégagements de fumée. — Depuis que les locomotives sont inventées, elles dégagent de la fumée et l'on s'efforce en vain d'éviter ce dégagement.

En tête des conditions du Concours de Rainhill en 1829, figurait l'obligation pour les machines inscrites de ne pas dégager de fumée ¹.

Cette fumée est l'indice d'un mauvais rendement de la chaudière, elle salit et détériore les édifices publics, elle porte atteinte à la santé des voyageurs et du personnel, c'est un véritable fléau.

Les pouvoirs publics n'ont cessé depuis la rédaction du cahier des charges des concessions, de signaler le mal et de prescrire d'y porter remède. Les réseaux le désirent et les inventeurs l'essayent, mais actuellement les remèdes employés se bornent à « prescrire aux chauffeurs d'éviter la fumée ».

La fumée est constituée par la présence dans les gaz de la combustion des particules microscopiques de charbon provenant de la combustion incomplète des hydrocarbures dégagés par le charbon. Combustion incomplète, provoquée elle-même par le contact de ces hydrocarbures avant leur combustion complète avec la paroi du foyer relativement froide. On en fait facilement l'expérience en écrasant une flamme de bougie par un corps froid (une assiette par exemple). Du fait de la combustion incomplète des hydrocarbures il résulte un mauvais rendement de la chaudière.

Le problème de la fumivorité n'est qu'une face d'un problème plus général : l'amélioration de la combustion.

Amélioration de la combustion. — Pour tirer du combustible l'effet maximum, il faut tout d'abord que tous ses éléments combustibles, carbone [C] et hydrogène [H] soient oxydés au degré supérieur d'oxydation, c'est-à-dire transformés en anhydride carbonique (CO²) et eau (H²O).

Pour cela il faut, non seulement qu'il y ait dans le foyer, à chaque instant, la quantité d'air nécessaire, mais encore qu'il y soit aux endroits voulus, qu'il soit convenablement mélangé au combustible solide ou aux gaz engendrés par ce dernier, enfin que le mélange soit à une température convenable, assez élevée.

Quantité totale d'air pratiquement nécessaire. — La quantité totale d'air pratiquement nécessaire pour assurer la combustion

¹ *Traité pratique des chemins de fer de Nich-Wood.* — Traduction de Montricher et Fiquet, Paris, 1834.

complète d'une quantité donnée de charbon est 1,4 à 1,7 fois celle qui serait nécessaire théoriquement et déterminée par l'analyse élémentaire du charbon. Cette quantité pratiquement nécessaire varie avec l'allure de combustion, la forme du foyer, la façon dont l'air est amené et dont il est mélangé au combustible et au gaz.

Si l'on admet une quantité d'air supérieure, cet air est chauffé et entraîne des calories au dehors.

Répartition dans le temps de la quantité d'air nécessaire. —

La quantité totale d'air nécessaire pour brûler une quantité donnée de combustible ne doit pas être répartie uniformément pendant tout le temps que met ce combustible à brûler. Aussitôt après un chargement les composés volatils du charbon se dégagent sous l'influence de la chaleur de la couche en ignition, ils demandent pour brûler une grande quantité d'air, il reste du coke qui brûle ensuite régulièrement.

Essayons de chiffrer le phénomène.

L'analyse élémentaire des charbons employés par les locomotives montre qu'en moyenne ils sont composés, en poids, de :

75 0/0 de C;
5 0/0 H;
10 0/0 de O + Az;
1,5 0/0 de S;
2,5 0/0 de H ² O;
6 0/0 de matières incombustibles formant les cendres

Un kilogramme de bon charbon donnant par sa combustion complète 7.600 calories est composé de :

Carbone solide.....	0 ^k ,700
Produits volatils.....	0 ^k ,225
Cendres.....	0 ^k ,060
Soufre.....	0 ^k ,015

Les produits volatils se dégagent dans un temps très court aussitôt après le chargement, ils sont composés approximativement, en volume, de

45 0/0 de H	} combustibles
35 0/0 de CH ⁴	
10 0/0 de CO	
4 0/0 de C ² H ⁴	
3 0/0 de CO ²	} incombustibles
3 0/0 de Az	

La combustion complète des 225 grammes de produits volatils contenus dans 1 kilogramme de charbon fournit 2.280 calories sur les 7.600, soit 30 0/0, et nécessite 2^m,22 d'air sur un total de 8 mètres cubes, soit 28 0/0.

Ces proportions sont encore plus élevées pour un charbon à 25 0/0 de produits volatils, charbon courant pour les locomotives (le coke ne contient que 4 0/0 de produits volatils et l'anhracite 6 0/0).

Répartition dans le temps de l'air introduit. — L'air est introduit dans le foyer sous l'influence de la dépression causée par l'échappement.

Il y pénètre : 1° lors des chargements par la porte ouverte ; 2° en tout temps à travers la grille et le charbon.

La quantité d'air qui pénètre dans le foyer et celle qui serait nécessaire pour brûler complètement le charbon peuvent être représentées en fonction du temps par la figure 48.

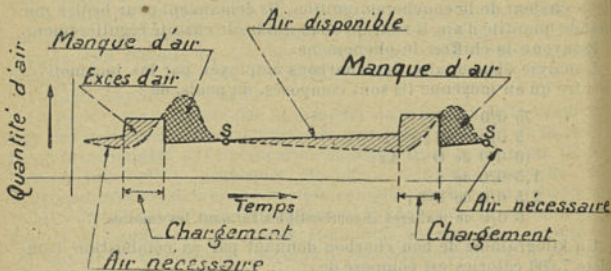


FIG. 48.

La première est représentée en ligne continue, la seconde est représentée en ligne interrompue.

On voit que pendant le chargement l'air est en excès, il est par contre en quantité insuffisante aussitôt après.

Excès et insuffisance ne se compensent pas, l'air traversant toute la chaudière en une fraction de seconde (1/4 environ).

Le manque d'air après le chargement est la cause de la fumée.

Moyens propres à supprimer la fumée. — *Emploi du coke.* —

Le premier moyen serait de n'employer que des combustibles dégageant peu de produits volatils.

Les premières locomotives étaient chauffées à la houille, mais vers 1836, on la remplaça par le coke.

« La fumée produite par la combustion de la houille, fait qu'on ne l'emploie généralement pas sur les locomotives » dit en 1840 De Pambour dans son traité des *Machines Locomotives*,

Le coke à son tour a été délaissé pour la houille en raison de son faible pouvoir calorifique, de la difficulté de préparer les énormes quantités de coke nécessaires aux chemins de fer, et de ce que sur les grands trajets, le feu au coke se salit rapidement et la production devient insuffisante.

Jusqu'à ces derniers temps, son emploi était le seul moyen pratique que possédaient les réseaux d'éviter la fumée. Ils n'y ont recours cependant que lorsqu'ils y sont absolument obligés par les plaintes des riverains ou les nécessités du service.

Pendant longtemps le P.-L.-M. n'a brûlé que du coke sur ses machines de manœuvre des grandes gares.

Le P.-O. ne brûle que du coke sur les machines de manœuvre des gares d'Ivry et d'Austerlitz. Il n'a employé pendant longtemps que du coke sur la portion *intra-muros* en souterrain de la ligne de Sceaux.

L'Est ne brûle que du coke sur la ligne de Paris-Bastille.

Emploi de l'antracite. — Le coke étant nettement un combustible trop pauvre, on le remplace parfois par l'antracite (ligne de Sceaux) qui dégage peu de produits volatils, et par suite ne produit presque pas de fumée, il a l'inconvénient d'être cher en France.

Chauffe au mazout. — Le mazout ne produirait pas de fumée, car le chargement étant continu, on peut doser rigoureusement et une fois pour toutes pour chaque allure de combustion, la quantité d'air à introduire.

Chauffe au charbon pulvérisé. — Il en est de même du charbon pulvérisé, mais le mazout est trop cher et la chauffe au charbon pulvérisé n'est pas au point sur les locomotives.

Bon gré, mal gré, on est obligé d'employer un charbon moyen à 25 0/0 de produits volatils.

Chargement continu. — Même avec ce charbon on pourrait facilement éviter toute fumée en employant un mode de chargement continu (chargement automatique); mais ce mode de chargement n'est pas, lui non plus, au point sur les locomotives. Son emploi conduit à une dépense supplémentaire de 12 à 15 0/0 de charbon.

Chargement normal. — Le problème est donc ramené à supprimer la fumée avec du charbon à 25 0/0 de produits volatils et le chargement discontinu. On recommande aux chauffeurs de se rapprocher du chargement continu en chargeant peu à la fois et souvent. On leur recommande bien de laisser la porte entrebaillée pendant quelque temps après le chargement pour permettre l'introduction de l'air nécessaire à ce moment.

En pratique ils ne suivent guère ces conseils.

Conditions à remplir pour éviter la fumée. — Pour éviter la fumée il faut d'abord à chaque instant introduire dans le foyer la quantité d'air nécessaire, donc l'introduire en quantité variable dans l'intervalle entre deux chargements.

Cette introduction d'air doit être de toute nécessité réglée automatiquement.

Il faut de plus, éviter que cet air ne s'échappe directement par la cheminée sans se mélanger aux gaz.

Lorsqu'on arrive à le mélanger aux hydrocarbures à température peu élevée et difficiles à brûler, il ne faut pas qu'il les éteigne, il faut donc qu'il soit réchauffé et convenablement brassé avec les gaz dans un endroit du foyer où la température est très élevée.

L'appareil qui règle l'arrivée de l'air ne peut pas fonctionner uniquement en synchronisme avec l'ouverture ou la fermeture de la porte, il faut en marche pouvoir régler cette arrivée d'air de façon différente suivant que le régulateur est ouvert ou qu'il est fermé.

Toutes ces conditions qui semblent évidentes ne se sont cependant dégagées que peu à peu des divers essais de fumivores. Leur réalisation n'est pas commode, à en juger par les nombreux essais tentés infructueusement pendant longtemps.

Appareils fumivores.

Tous les appareils essayés peuvent se diviser en plusieurs classes suivant le principe qu'ils mettent en jeu.

I. Introduction naturelle d'air à l'avant du foyer sous la voûte ou par la voûte. — Les appareils imaginés dans ce but sont trop nombreux pour qu'on essaye même de les énumérer. Ils ont tous un défaut commun, celui de n'être que difficilement réglables ou pas réglables du tout, d'où excès d'air à certains instants. Cet air suit le même trajet que les gaz et n'est pas brassé avec eux. La plupart envoient de l'air froid, certains cependant envoient de l'air chauffé au préalable dans des serpentins logés dans la boîte à fumée, ces serpentins n'ont qu'une durée éphémère.

Toute une classe d'appareils envoie de l'air dans des canaux compris à l'intérieur de la voûte qui débouchent sur la tranche de cette dernière. L'air tend à s'échapper directement par les tubes sans être brassé avec les gaz; les calories qu'il apporte ne sont qu'un gain illusoire, car elles sont empruntées à la voûte, c'est-à-dire en fin de compte aux gaz qui chauffent cette voûte. Toutes les voûtes creuses qu'elles soient en briques ou en métaux spéciaux, n'ont jamais pu supporter longtemps l'épreuve du feu et celle des trépidations.

Parmi les systèmes essayés en France sans succès nous citerons plusieurs dispositifs essayés par l'Est en 1888, dans lesquels l'air était introduit sous la voûte à l'avant du foyer par des orifices réglables. La voûte Kossuth en briques creuses à prise d'air réglable dans la plaque avant de boîte à feu essayée par le P.-L.-M. en 1895. — La voûte en fonte Tropenas et Tournier essayée en 1911 par le P.-O.

Les Américains possèdent sur certaines de leurs locomotives des rentrées d'air dans le foyer sur les flancs et sur la face arrière. Ces rentrées d'air ne sont pas réglables.

II. Introduction de l'air au-dessus de la grille commandée par des éjecteurs de vapeur. — A l'Exposition Internationale de Saint-Louis en 1904 figurait sur une locomotive de l'Illinois Central R.R. un dispositif de fumivorté composé de six éjecteurs d'air actionnés par la vapeur et commandés par un robinet commun (Garbe). M. Japlot (*Annales des Mines*, 1906) signale un dispositif analogue. Ces dispositifs peuvent procurer une certaine fumivorté, mais n'étant pas réglables automatiquement, ils provoquent le plus souvent un excès d'air.

Système Staby (fig. 49 à 51). — Pour la première fois apparaît en 1906, dans l'appareil Staby construit par Koerting de Hannover et essayé en Bavière, l'idée de rendre le fonctionnement du fumivore automatique.

L'air est injecté par la face arrière de boîte à feu grâce à deux ou trois éjecteurs à vapeur situés au-dessus de la porte du gueulard.

Le fonctionnement des éjecteurs est sous la dépendance de la *porte du foyer* et du *régulateur*. Cet appareil est un véritable précurseur.

La vanne automatique de commande de la vapeur est en communication avec la chaudière, avec un réservoir de vapeur, avec la buse de vapeur de l'éjecteur d'air et avec le souffleur de la boîte à fumée.

Lors de l'ouverture de la porte du foyer, le réservoir se charge de vapeur empruntée à la chaudière.

Lors de la fermeture de la porte : si le régulateur est ouvert, la vapeur emmagasinée dans le réservoir actionne l'éjecteur tant qu'il y a de la vapeur. Si le régulateur est fermé, la chaudière actionne directement l'éjecteur et le souffleur.

Cet appareil présente quelques défauts théoriques, en particulier celui-ci qui est grave.

Lorsque la machine marche à régulateur fermé, la combustion est entretenue par le souffleur, mais cette action cesse si l'on ouvre la porte du gueulard, ce qui favorise les retours de flamme.

Au point de vue de l'exécution, l'appareil comporte des commandes mécaniques par chaînes et contrepoids, dispositifs qui n'ont jamais donné de bons résultats. On n'a jamais beaucoup entendu parler de cet appareil.

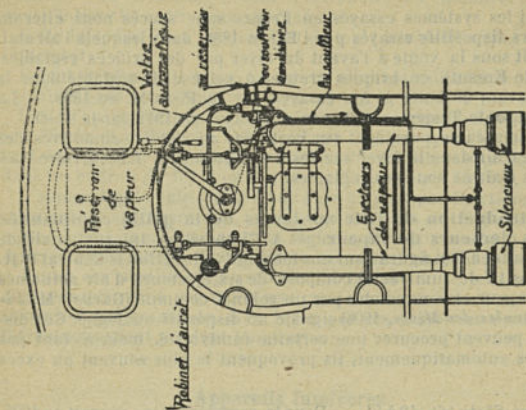


Fig. 50.

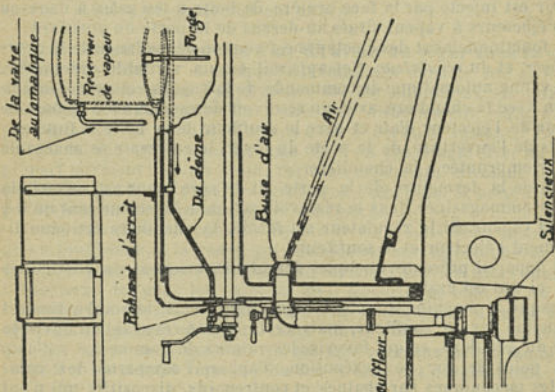
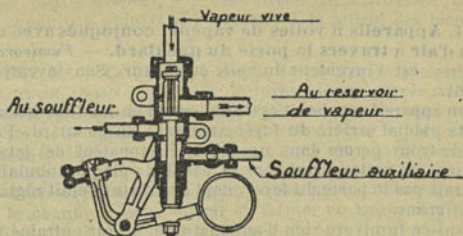
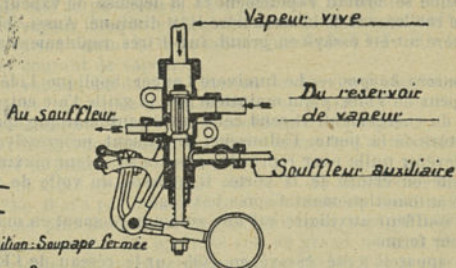


Fig. 49.

Fumivore Staby.

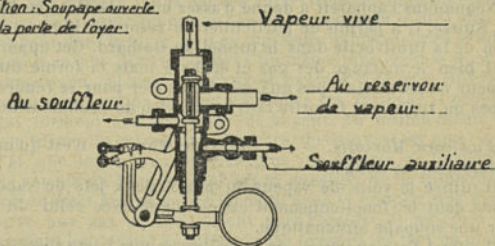


Soupage ouverte par la porte de foyer



Position: Soupage ouverte par le levier du régulateur Soupage fermée

Position: Soupage ouverte par la porte de foyer.



Soupage ouverte par le levier du régulateur

III. **Appareils à voiles de vapeur, conjugués avec une admission d'air à travers la porte du gueulard.** — *Fumivore Thierry.* — Thierry est l'inventeur du voile de vapeur. Son invention remonte à 1864.

Son appareil consistait essentiellement en un tube horizontal placé sur la plaque arrière du foyer au-dessus du gueulard. Par une rangée de trous percés dans un tube s'échappaient des jets de vapeur formant un voile, dirigé vers le bas de la plaque tubulaire. — L'air rentrait par la porte du foyer, dont l'ouverture était réglable à différents crans.

Dans ce fumivore rien d'automatique — l'air entraîné par la porte étant maintenu sur la couche de charbon, mais le voile de vapeur ne laissait pas de passage aux gaz pour se rendre dans les tubes.

Le tube se brûlait rapidement et la dépense de vapeur était telle que le rendement de la chaudière était diminué. Aussi, bien que ce fumivore ait été essayé en grand, fut-il très rapidement abandonné.

Fumivore Langer. — Le fumivore Langer applique l'idée du voile de vapeur de Thierry qui maintient sur la grille l'air entrant par la porte du chargement. Il rend cette entrée automatique après chaque ouverture de la porte, l'admission diminuant progressivement jusqu'à devenir nulle pour reprendre ensuite sa valeur maximum à une nouvelle ouverture de la porte. L'intensité du voile de vapeur est réglée automatiquement d'après le tirage.

Un souffleur auxiliaire est mis automatiquement en marche à régulateur fermé.

Cet appareil a été essayé en 1895 sur le réseau de l'Est ; il employait — peut-être n'était-ce pas une nécessité, — une grille spéciale qui ne donna pas satisfaction. L'essai fut abandonné.

Néanmoins l'appareil a donné d'assez bons résultats en Belgique et en Suisse. Il a permis en particulier de résoudre l'importante question de la fumivorité dans le tunnel du Gothard. Cet appareil réalisait bien le mélange des gaz et de l'air mais la forme du voile de vapeur ne permettait pas aux gaz de trouver pour se rendre dans les tubes un trajet qui favorise la transmission de la chaleur aux parois.

Fumivore Marcotty. — Le fumivore Marcotty n'est qu'un perfectionnement de Langer.

Il utilise le voile de vapeur ou plutôt deux jets de vapeur divergents dont le fonctionnement est conjugué avec celui du souffleur par une soupape automatique.

Il admet l'air au-dessus de la grille par une porte spéciale.

Cet appareil a été essayé en 1908 sur les chemins de fer prussiens, a été appliqué à l'Allerheiligen sur un assez grand nombre de locomotives et a été introduit en France sur les locomotives « Armistice »,

mais les avantages qu'il pouvait procurer au point de vue de la fumivorté sont contrebalancés par des difficultés d'entretien telles qu'elles ont conduit la plupart des réseaux à le retirer des locomotives.

Fumivore Huvyler. — Ce fumivore comporte une tuyère placée longitudinalement au-dessus de la porte du foyer, tuyère percée de trois rangées de trous qui donnent naissance à trois nappes de vapeur distinctes, une médiane verticale et deux latérales, plus faibles, inclinées. Elles sont destinées à brasser les gaz, mais on ne voit pas bien de quelle façon.

L'arrivée d'air au-dessus de la grille n'est plus automatique, on compte sur le chauffeur pour ouvrir et fermer en temps voulu des registres placés sur la porte du foyer.

La vanne automatique porte un robinet de manœuvre que le chauffeur peut disposer dans plusieurs positions.

Quelle que soit la position, la buse peut être alimentée en vapeur par la boîte à vapeur lorsque le régulateur est ouvert, et, en tout temps, par une dérivation venant de la chaudière (destinée à refroidir la buse par un léger courant de vapeur).

Lorsque le robinet est dans la position de marche à régulateur ouvert, la buse est alimentée par la boîte à vapeur. A régulateur fermé la chaudière alimente à la fois le souffleur et la buse.

On peut régler simultanément l'importance de l'alimentation en faisant varier la position du robinet.

Ce fumivore a été essayé en 1924 par le P.-L.-M. sur des locomotives type 230, il n'a pas donné de bons résultats et l'essai a dû être abandonné, de plus les tuyères étaient brûlées au bout de 6.000 kilomètres. Il a néanmoins été appliqué sur un grand nombre de locomotives autrichiennes, mais actuellement on lui préfère le suivant.

Fumivore Pyram. — Ce fumivore issu du Langer primitif l'a amélioré en profitant des erreurs faites par les autres appareils qui en étaient issus. Au lieu de projeter, un peu au hasard, il faut bien le dire, des rideaux de vapeur dans le foyer : soit en une seule nappe inclinée comme le Langer, soit en jets divergents dans un même plan comme le Marcotty, soit encore en rideaux verticaux et inclinés comme le Huvyler, toutes dispositions dont on ne peut expliquer les raisons, il projette des jets qui forment une pyramide de vapeur, au milieu même du foyer. Cette forme du jet est une des caractéristiques les plus intéressantes et une des innovations les plus judicieuses de l'appareil. Le voile de vapeur du Langer résolvait la question de la fumivorté, l'adjonction de deux autres voiles formant avec le premier une pyramide réserve aux gaz un écoulement vers l'arrière et les côtés du foyer, augmente leur trajet à l'intérieur du foyer et les met en même temps en contact avec les parois.

L'appareil *Pyram* se compose (*fig. 52*) : 1° d'une porte de foyer spéciale qui, par le mouvement d'ouverture nécessaire au chargement, ouvre les registres qui, après le chargement, laisseront entrer l'air chaud sur le charbon ;

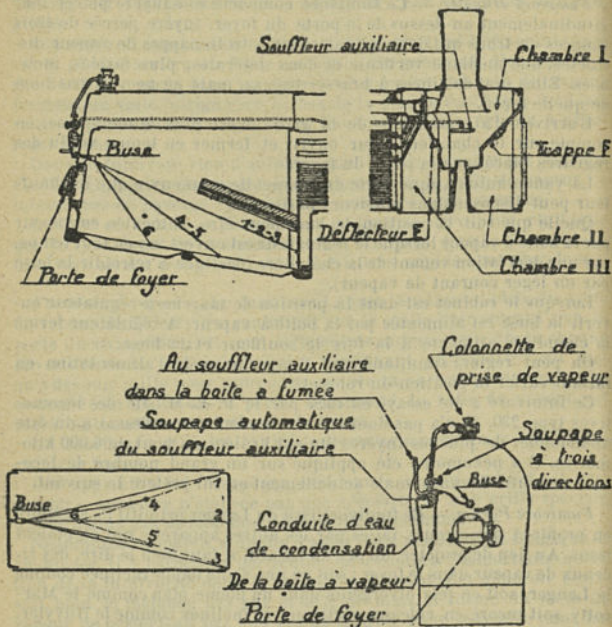


FIG. 52.

2° D'une buse dans le foyer, d'un souffleur dans la boîte à fumée et d'une soupape automatique qui distribue selon les besoins, la vapeur à la buse, au souffleur, ou aux deux à la fois ;

3° Du *Réglair*, dispositif de chicanes dans la boîte à fumée qui amortit les pulsations du tirage, le régularise dans le temps, et l'égalise dans tous les tubes évitant aussi la formation d'escarbilles dans

le foyer et par suite la projection de flammèches par la cheminée, tout en permettant la suppression de la grille à flammèches ;

4° D'une soupape à trois directions, qui sert, entre autres, à l'allumage rapide de la chaudière, sans fumée, à l'aide d'une source de vapeur auxiliaire.

Le fonctionnement de tous ces appareils est automatique, sauf celui de la porte du foyer qui est semi-automatique.

On comprend facilement le fonctionnement du Réglair ; la chambre à fumée est divisée en trois chambres communiquant entre elles par des passages restreints mais toutefois supérieurs à la section libre des gaz dans les grilles à flammèches usuelles. L'effet de l'échappement, effet très saccadé (voir article de M. Gresley, dans le *Bulletin de l'Association Internationale des chemins de fer*, Congrès de Madrid 1930), qui se produit dans la chambre la plus éloignée, se régularise de chambre en chambre et à travers tous les tubes.

Il n'y a pas à donner d'explications sur le rôle de la porte du foyer.

La buse en acier spécial résistant aux plus hautes températures, disposée au-dessus de la porte dans un tube qui traverse la lame d'eau est protégée du rayonnement du foyer. Elle est percée à son extrémité avant de six orifices. Les jets de vapeur qui en sortent forment une pyramide triangulaire dont la base est la surface du combustible incandescent, la face antérieure prolonge la voûte, l'arête postérieure est dirigée vers le milieu de la grille.

Lorsque la pyramide fonctionne, elle crée au centre du volume du foyer, une zone de pression relative, par suite impénétrable aux gaz, elle rabat sur le charbon l'air provenant de la porte du foyer, le brasse avec les gaz, force ces derniers à la contourner et à lécher les parois et le ciel. Elle joue un rôle analogue à celui de la voûte en briques, mais bien plus efficace par suite de son étendue jusqu'à la plaque de porte. (Naturellement on ne supprime pas la voûte en briques.) Malgré cela elle laisse à l'arrière un passage suffisant aux gaz. De plus elle modifie la répartition du tirage à travers la grille, le régularisant, le modérant au centre où il est le plus actif et par conséquent l'activant sur les bords.

Le fonctionnement de la buse et celui du souffleur sont commandés par la soupape automatique qui fournit à tous deux la vapeur venant de la chaudière.

La soupape automatique (*fig. 53*) reçoit la vapeur :

D'une part et constamment de la chaudière ;

D'autre part de la boîte à vapeur lorsque cette dernière en contient, c'est-à-dire lorsque le régulateur est ouvert.

La vapeur qui vient de la chaudière peut alimenter le souffleur et la buse, celle qui vient de la boîte à vapeur peut alimenter la buse.

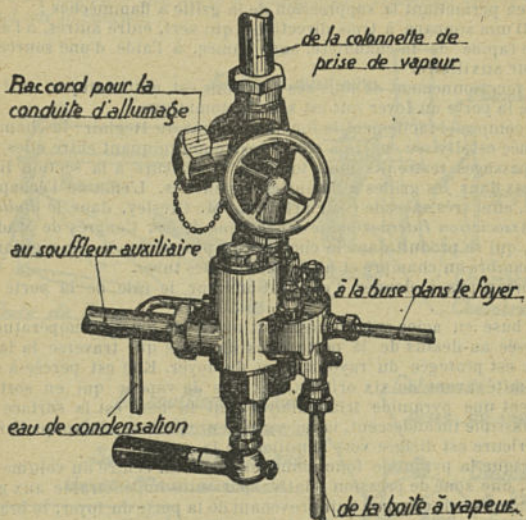
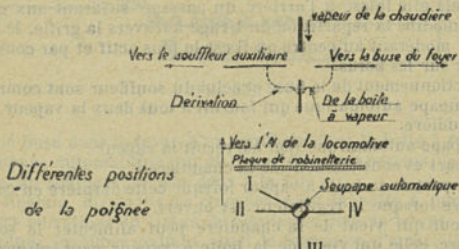


FIG. 53.



On peut représenter schématiquement comme sur les figures 54 suit les connexions de la soupape automatique.

Cette soupape porte une poignée de manœuvre qui peut être disposée par le chauffeur dans quatre positions principales (fig. 55).

Position I (de fermeture). — Vers la gauche et vers l'avant ;

Position II (de marche). — Vers la gauche ;

Position III (de marche forcée). — Vers l'arrière ;

Position IV (de fermeture). — Vers la droite.

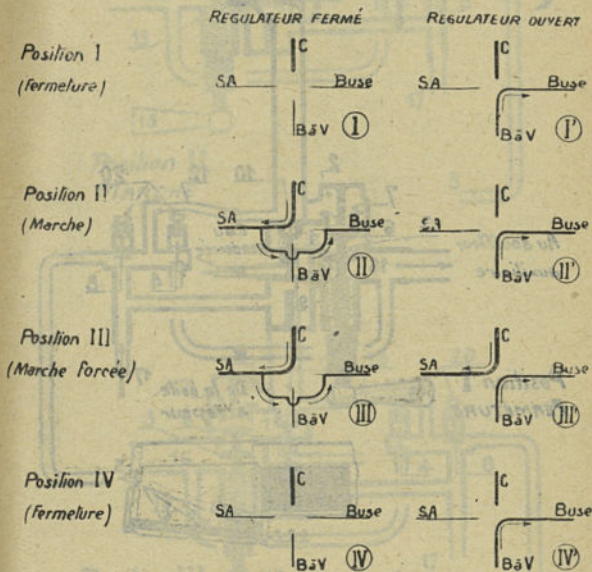


FIG. 56.

Les trajets de la vapeur dans les différentes positions de la poignée et, pour chacune d'elles dans le cas de régulateur ouvert et de régulateur fermé sont représentées ci-dessus (fig. 56).

Les figures 57, 58, 59, 60 dispensent de toute description de la soupape

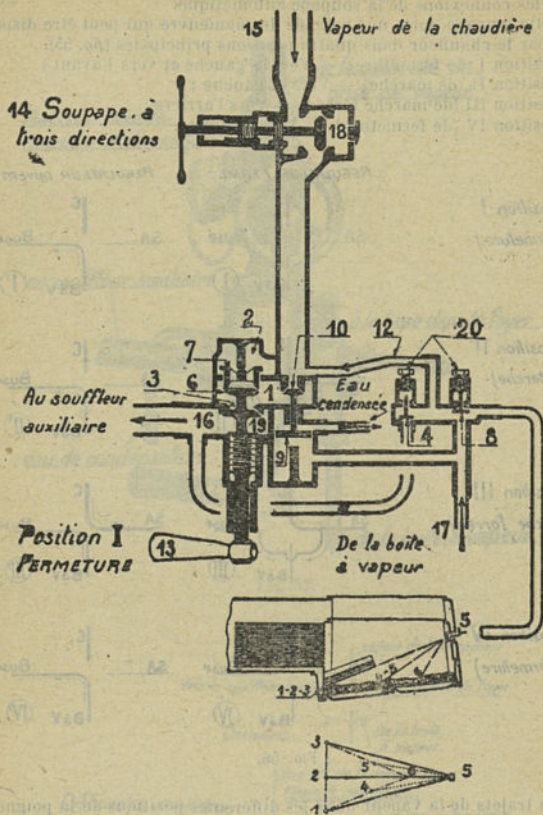


Fig. 57.

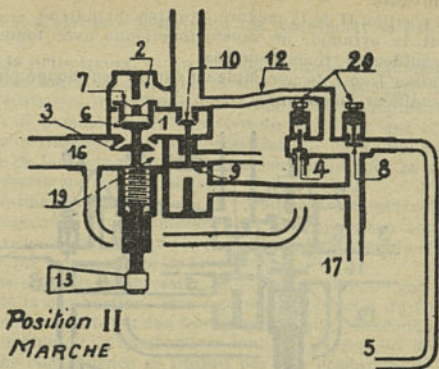


FIG. 58.

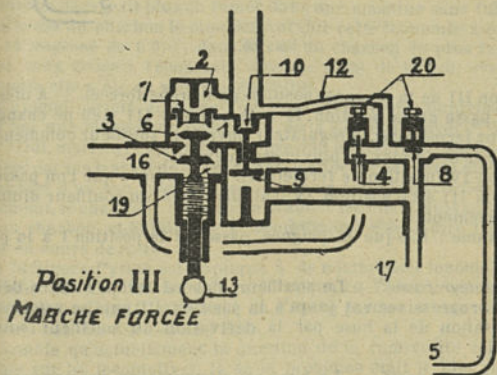


FIG. 59.

automatique, elles montrent son fonctionnement dont les résultats sont les suivants :

Dans la position II de la poignée, position de marche. — A régulateur ouvert, la pyramide de vapeur fonctionne avec toute sa puissance, le souffleur ne fonctionne pas.

A régulateur fermé, la pyramide de vapeur fonctionne plus faiblement, le souffleur fonctionne.

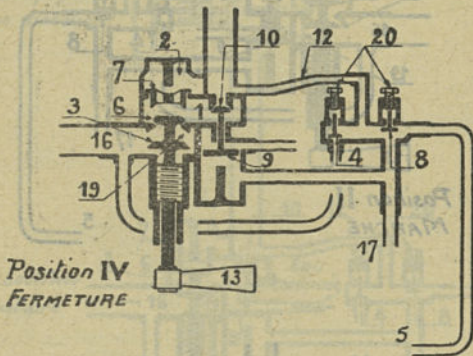


FIG. 60.

Position III de la poignée (position de marche forcée). — A mesure que l'on passe de la position II à la position III rien ne change à régulateur fermé mais, à régulateur ouvert, le souffleur commence à fonctionner et de plus en plus énergiquement.

Position IV (position de fermeture). — A mesure que l'on passe de la position III à la position IV l'alimentation du souffleur diminue progressivement.

En résumé : lorsque la poignée passe de la position I à la position IV.

A régulateur fermé. — Le souffleur d'abord fermé s'ouvre dès le début et progressivement jusqu'à la position III puis se referme. — L'alimentation de la buse par la dérivation du souffleur suit la même loi.

A régulateur ouvert. — La buse est alimentée en permanence par la boîte à vapeur ; le souffleur d'abord fermé s'ouvre à partir de la

position II et progressivement jusqu'à la position III puis se referme.

Résultats principaux. — En marche normale à régulateur ouvert la buse joue son rôle sans que le souffleur fonctionne, dès qu'on ferme le régulateur, le souffleur fonctionne automatiquement, évitant les retours de flamme et la formation du mâchefer qui se produit lors d'un ralentissement de la combustion. la buse joue encore son rôle lorsqu'on ferme le régulateur mais seulement dans la mesure où il est nécessaire pour une combustion moins active.

Avec la forme des jets de vapeur en pyramide les caractéristiques les plus intéressantes de ce fumivore sont la conjugaison automatique obtenue par un organe simple et rustique de la pyramide et du souffleur ainsi que la variabilité de leurs effets.

Ces effets sont : la suppression de la fumée obtenue par une amélioration de la combustion, une conduite plus facile du feu, la suppression des escarbilles et des flammèches, causes d'incendie.

L'amélioration de la combustion dont la suppression des fumées n'est qu'une conséquence se traduit par une économie de combustible, ainsi qu'en font foi les essais faits en Autriche et surtout les essais scientifiques exécutés en Pologne par le professeur Czezcott.

Dans ces essais faits avec des charbons et des briquettes de diverses qualités on a trouvé une économie d'autant plus sensible que le charbon dégageait plus de fumée dans une machine sans fumivore. Dans le cas du charbon le plus défavorable cette économie a été trouvée en moyenne de 60/0; dans le cas du charbon le plus favorable parmi ceux essayés, l'économie moyenne a été de 12 0/0, avec de la briquette elle a été en moyenne de 16 0/0.

On entend parfois dire que l'on peut obtenir une fumivorité parfaite par une manœuvre judicieuse de la porte de foyer et du souffleur ? Oui, mais..., l'expérience prouve que le chauffeur, suffisamment absorbé par son travail de chargement, n'effectue pas cette manœuvre, l'avantage d'un bon fumivore est d'obtenir cette fumivorité automatiquement, le chauffeur n'a qu'à en graduer les effets, suivant la qualité du charbon et l'allure de la combustion, c'est-à-dire très rarement en cours de route.

Le fumivore Pyram est appliqué à de nombreuses locomotives en Autriche. Son application est systématique en Pologne sur les locomotives nouvelles. Il est essayé en France par les réseaux de Ceinture de l'Est, du Nord et de l'Etat.

Il semble qu'actuellement la question de la fumivorité soit enfin résolue sur les locomotives, là où le problème était le plus difficile, car il l'est beaucoup moins sur les chaudières fixes.

Dispositifs pour éviter les rabattements de fumée. — Les rabattements de fumée sur le front de la machine ont été très gênants pour

l'observation des signaux, or ces rabattements sont d'autant plus craindre que l'échappement est plus perfectionné et que, par suite, la fumée s'échappe de la cheminée sans puissance perdue et avec une vitesse moindre.

L'État français a muni ses locomotives Pacific d'un souffleur auxiliaire, manœuvré par le mécanicien, qui dégage momentanément champ de visibilité à l'approche d'un signal.

Il est préférable de dégager ce champ en permanence.

Divers dispositifs ont été essayés.

Le dispositif Prandtl (V. D. I., 24 mars 1923), qui consiste en une surface parabolique à l'avant de la boîte à fumée, employé sur les locomotives Mountain du P.-L.-M., et essayé par l'Est.

Le carénage des protubérances des cheminées, dôme, sablière, existant sur le corps cylindrique. Essais faits à l'Est.

Enfin des essais faits à l'Est et au P.-O. (sur modèle réduit pour ce dernier réseau) R. Gr., juillet 1929, ont montré que la fumée était rabattue non pas par le courant d'air s'exerçant sur la tranche de la cheminée, mais qu'elle était entraînée vers le bas par les remous d'air produits le long du corps cylindrique et à l'intérieur des longérons. On a pu constater très nettement que des courants d'air descendants et même dirigés d'arrière en avant se produisaient dans cette région. Le remède à y apporter consiste à créer le long du corps cylindrique un courant d'air régulier, dirigé nettement d'avant en arrière. Ce courant d'air peut être obtenu en plaçant à l'avant de la machine deux panneaux de tôle, verticaux, parallèles à l'axe de la machine, bien entendu il ne faut pas encombrer le couloir entre ces tôles et le corps cylindrique destinés à créer le courant d'air en y plaçant des obstacles tels qu'une pompe à air.

Ce dispositif était employé par les Allemands, avant que soient entrepris les essais du P.-O. Ces derniers n'ont fait que contrôler les résultats.

Il est en cours d'essais assez étendus sur l'A.-L., le P.-O. et l'Est.

Consommation des locomotives.

La consommation de charbon des locomotives, rapportée à l'unité de travail (C. V. heure) mesure le rendement de la locomotive, mais elle est différente selon qu'on la rapporte à la puissance indiquée, à la puissance à la jante ou à la puissance au crochet.

La puissance indiquée ne dépend que de la machine considérée en elle-même, en réalité, elle varie avec l'allure de combustion, la qualité de la vapeur, son mode d'emploi, le degré d'admission. Il en est donc de même de la consommation par cheval-heure indiquée.

toutefois cette consommation varie peu pour une machine donnée et on peut considérer une valeur moyenne qui caractérise cette machine.

Il n'en est pas de même pour la puissance au crochet. Cette dernière étant égale à la puissance indiquée moins celle nécessaire pour vaincre les résistances internes du mécanisme, et celle nécessaire pour la remorque de la machine, sera d'autant plus faible, pour une machine marchant à puissance indiquée constante que la rampe et la vitesse seront plus grandes; La consommation par cheval-heure au crochet dépendant des conditions d'emploi de la machine, on ne peut pas, en général comparer les consommations de deux machines essayées dans des conditions différentes.

L'exploitant rapporte fréquemment la consommation à la tonne kilométrique (ou aux $100 T \times km$ ou aux $1.000 T \times km$). Cette façon de compter n'est pas rationnelle car la tonne kilométrique n'est pas une unité de travail. Le travail nécessaire pour remorquer une tonne kilométrique dépend en particulier de la rampe et de la vitesse; il peut varier dans des proportions très considérables.

Toutefois en pratique le parcours des locomotives comporte des rampes, des paliers et des pentes, il est parcouru dans les deux sens et l'expérience montre que sur un parcours, même assez réduit, parcouru dans les deux sens, on ne s'écarte pas sensiblement de la vérité en adoptant un chiffre moyen de consommation de charbon aux $100 T \times$ kilométriques.

Ce chiffre varie de 3 à 4 kilogrammes avec les locomotives récentes. Il est évidemment plus élevé pour les trains de voyageurs que pour les trains de marchandises. Ce chiffre comprend le combustible dépensé pour l'allumage et pendant les arrêts. Il peut servir pour déterminer la contenance des tenders; pour l'eau, il faut compter six à sept fois plus. Comme ces calculs de consommation ne servent en général qu'à ce but et pour déterminer l'espacement des prises d'eau il faut compter 30 à 33 litres d'eau aux $T \times$ kilométrique pour avoir une marge suffisante.

Des essais très contrôlés des locomotives Pacific de différents réseaux ont donné à des trains de voyageurs rapides, des consommations de 3 kilogrammes (et même moins pour les machines P.-L.-M. compound à surchauffe). Essais effectués au printemps et en été.

Si on calcule la consommation moyenne de charbon pour l'ensemble d'un réseau en tenant compte des manœuvres et fausses dépenses, c'est-à-dire en divisant la consommation totale de combustible pendant un an par le nombre de $100 T \times$ kilométriques transportées pendant le même temps, on trouve un chiffre légèrement supérieur 5 kilogrammes ($5^{kg}, 140$).

Si l'on ne considère séparément que les tonnes kilométriques transportées par trains de voyageurs, de messageries ou mixtes on trouve $6^{kg}, 05$ et celles transportées par trains de marchandises

4^{ks},44. Ces trois derniers chiffres se rapportent à un grand réseau pour l'année 1928 ; ils étaient à peu près les mêmes en 1914, mais ils ont augmenté rapidement pendant la guerre pour atteindre en 1920 les valeurs suivantes :

Consommation par 100 tonnes/kilomètres	}	Voyageurs.....	8 ^{ks} ,030
		Marchandises.....	6 ^{ks} ,500
		Ensemble.....	7 ^{ks} ,040

depuis cette époque ils sont en décroissance continue.

Nous donnons ci-dessous un tableau dans lequel nous avons indiqué quelques résultats d'essais de locomotives. On constate que les consommations de charbon par *cheval-heure* indiqué sont du même ordre de grandeur de 1 kilogramme à 1^{ks},5 diminuant avec le compoundage et la surchauffe.

On constate également que les consommations par *cheval-heure* au crochet augmentent avec la vitesse ainsi que la consommation par 100 X kilométriques.

Variation de la consommation avec la saison. — Les statistiques faites sur l'ensemble des locomotives d'un réseau montrent que la consommation de charbon est plus faible en été qu'en hiver, cela peut tenir à diverses causes : les huiles étant plus fluides en été, la résistance au roulement est plus faible ; le temps plus calme agit dans le même sens ; en outre, l'eau est à une température plus élevée. En admettant une différence de 25° entre la température de l'eau, de l'été et celle de l'hiver, comme il faut fournir environ 600 calories pour vaporiser 1 kilogramme d'eau une économie de 25 calories correspond à une économie de 4 0/0 non négligeable, enfin et surtout en hiver, la locomotive assure le chauffage du train.

Les chiffres de consommation 5^{ks},40 que nous avons donnés précédemment par 100 T X kilométriques pour l'ensemble des machines d'un réseau calculé pour l'année 1928 varie progressivement de 5^{ks},650 en janvier-décembre à 4^{ks},370 en juillet-août.

Consommation au kilomètre. — La consommation de charbon calculée en moyenne sur l'année 1921 a été de

16 ^{ks} ,980	pour la locomotive de voyageurs ;
23 ^{ks} ,330	— — — marchandises ;
18 ^{ks} ,750	pour l'ensemble des machines.

le sens de la différence de dépense entre les locomotives à voyageurs et celles à marchandises est la conséquence directe du fait que les premières sont utilisées à des vitesses plus grandes.

Locomotives. — Consommations.

TYPE de la machine	Simple expansion : F ou compound : F	Surhaute : S ou non : S	SURFACE de grille	COMBUSTION horaire	VITESSE km/h	CONSOMMATION par cv/h indiqué		CONSOMMATION par cv/h au crochet		CONSOMMATION par 100 t-km remorquées		VAPORISATION	PUISSANCE MOYENNE au crochet		PUISSANCE MOYENNE indiquée	PARCOURS
						Eau kg.	Char- bon kg.	Eau kg.	Char- bon kg.	Eau kg.	Char- bon kg.		cv.	cv.		
3.216 Est	F	S	3,16	343		11,92	1,15	14,24	2,25	1,50	1,20	7,183	696	508	Paris- Tours	
3.563 P. O.	F	S	4,30	263		10,72	1,33	13,68	2,14	1,71	1,82	8,453	681	998	235 km. Montreuil- du-Sault	
4.742 P.-L.-M.	F	S	3,08	190	36	10	1,25	16,33	2,03	2,03	1,20	9,95	402	56 km.	Laroche- Blaisy.	
2.467 P.-L.-M.	F	S	3,08	540	82,7	10	1,25	17,54	2,83	2,83	1,20	8,00	807	1-315	Laroche- Blaisy.	
6.401 P.-L.-M.	F	S	4,25	399	79,4	9,395	1,260	15,39	2,09	2,09	1,20	6,19	774	1-348	Laroche- Blaisy	
6.001 P.-L.-M.	F	S	4,25	605	84,8	9,68	1,48	14,68	2,20	2,20	1,20	7,45	813	1-338	Laroche- Blaisy	
6.204 P.-L.-M.	F	S	4,25	592	92,7	12,18	1,73	23,42	3,41	3,41	1,20	8,85	784	1-455	Laroche- Blaisy	
241-A P.-L.-M.	F	S	5	467	91,5	6,45	0,95	9,81	1,47	1,47	1,20	6,79	1.420	2.150	Laroche- Blaisy.	
241-001 Est	F	S	4,43	490	81,97	601	1,13	12,029	1,57	1,57	3,58	6,00	1.370	2.134	Laroche- Blaisy	
											4,11	7,740	1.526	2.240	Blaisy	
											3,68	7,740	1.541		133 km ² .	
											6,50	6,50	1.382		Gretz-	
											6,17	6,17	1.525		Troyes	
											5,75	5,75	1.661		125 km ² .	

Observations. — 1 Essais comparatifs. — 2 Ces machines ont développé momentanément 2.800 cv. indiqués, et ont pu soutenir pendant une heure et demie une puissance indiquée de 2.400 cv. — 3 La puissance moyenne est ramenée au palier. — Essais avant modifications.

CHAUDIÈRES A HAUTE PRESSION

Depuis quelques années l'emploi de la vapeur à haute pression est à l'ordre du jour. C'est surtout dans les grandes centrales thermiques que des applications en ont été tentées.

Le timbré maximum des chaudières des centrales était pratiquement de 20 kilogrammes par centimètre carré en 1914 ; actuellement des pressions de 35 à 40 kilogrammes sont d'un usage fréquent. La Centrale d'Issy-les-Moulineaux est équipée à 44 kilogrammes. A l'étranger, des groupes ont été réalisés pour des pressions atteignant 84 kilogrammes par centimètre carré en marche industrielle, 110 et même 225 kilogrammes par centimètre carré aux essais.

La Centrale de Mannheim a décidé d'effectuer son agrandissement avec une pression de vapeur de 100 kilogrammes et une température de 470°, elle est en fonctionnement depuis 1928 ¹, une installation à 120 kilogrammes est en construction aux mines d'Ilse ².

On a déjà tenté d'appliquer les hautes pressions aux locomotives, c'est ce qui nous amène à en parler ici.

I. — RENDEMENT THERMIQUE

Avantages économiques des hautes pressions. — Cycle de Carnot.

— On sait, d'après le principe de Carnot, que le rendement maximum d'une machine évoluant entre deux sources, l'une chaude à la température absolue T_1 (température en degrés centigrades + 273°), l'autre froide à la température T_2 est :

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Ce rendement est, par définition, la proportion de chaleur fournie au fluide évoluant dans la machine, qui peut être transformée en travail. Seule pourrait atteindre à ce rendement une machine idéale, irréalisable pratiquement, dont le fluide évoluerait entre la source chaude et la source froide par des transformations constamment réversibles suivant des isothermes et des adiabatiques : c'est ce mode de travail qu'on nomme cycle de Carnot.

¹ V. D. E., 5 novembre 1927 ; — 22 juin 1929 ; — C. I., Janvier 1928 ; — Novembre 1929.

² V. D. I., 22 juin 1929.

Pour une machine idéale à vapeur saturée à 14 kilogrammes absolus échappant à 1^{re}, 200 absolus, les températures correspondantes étant de :

$$197^{\circ} \text{ C.} \qquad 104^{\circ} \text{ C.}$$

soit respectivement :

$$470^{\circ} \text{ absolus,} \qquad 377^{\circ} \text{ absolus,}$$

le rendement maximum de Carnot est :

$$1 - \frac{377}{470} = 0,197.$$

Pour une machine idéale à vapeur, saturée à 50 kilogrammes absolus échappant à 1^{re}, 200, la température correspondant à 50 kilogrammes absolus étant 262° C., soit 535° absolus, le rendement maximum de Carnot est :

$$1 - \frac{377}{535} = 0,295.$$

Si, dans les deux cas envisagés, nous supposons la vapeur surchauffée à 400° C., les rendements maxima seront, dans les deux cas, 0,44.

Dans les limites de température indiquée, jamais ces rendements ne seront atteints pratiquement.

Cycle de Rankine. — Le cycle de Carnot est irréalisable, le cycle uniquement employé d'une façon pratique jusque dans ces dernières années est le cycle de Rankine dans lequel la vapeur fournie à la machine, cylindre ou turbine à la pression et à la température choisies, s'y détend toute entière jusqu'à une pression voisine de la pression atmosphérique ou à celle du condensateur, suivant le cas.

Dans ce cycle comme dans tous les cycles réalisables pratiquement que nous verrons par la suite, la proportion de chaleur transformée en travail, le rendement, qui est réalisable aux imperfections près de la machine est :

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1},$$

Q_1 étant la chaleur totale fournie à 1 kilogramme de vapeur évoluant suivant le cycle, Q_2 la chaleur totale restituée par le cycle.

On met facilement en évidence par le diagramme de Mollier (fig. 61) l'amélioration du rendement théorique résultant de l'augmentation de la pression et de la surchauffe d'un fluide évoluant suivant le cycle de Rankine.

Dans ce diagramme qui a pour abscisses l'entropie et pour ordonnées le nombre de calories contenues dans un kilogramme de vapeur, l'état de la vapeur est représenté par un point. Lorsque la

vapeur se détend adiabatiquement d'une pression à une autre, son entropie ne varie pas, le point figuratif se déplace sur une verticale, et

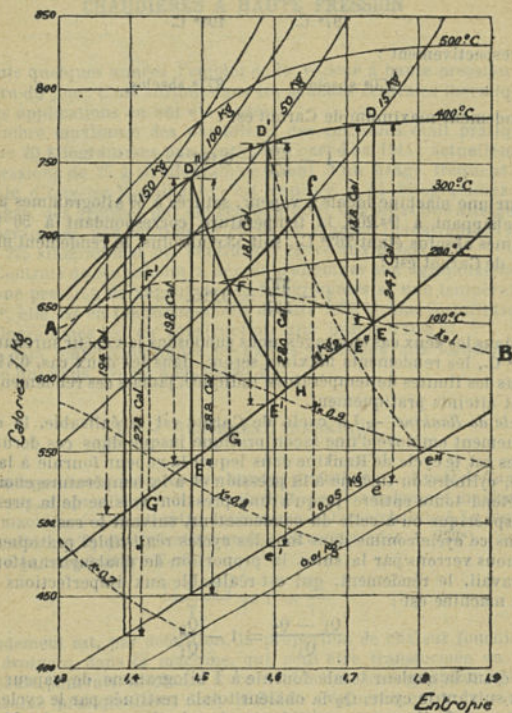


FIG. 61.

le nombre de calories rendues disponibles par cette détente est mesuré, à l'échelle des ordonnées, par la longueur de cette verticale comprise entre les deux lignes d'égale pression (isobares) correspondant aux pressions initiale et finale.

La ligne AB est relative à la vapeur saturée sèche, titre $x = 1$. Au-dessus de cette ligne la vapeur est surchauffée, on y voit figurer les lignes d'égale température 100° 200° ... ; au-dessous de cette ligne la vapeur est humide, on y voit figurer les lignes de titre constant $x = 0,9$; $x = 0,8$...

En examinant le diagramme on constate que si le point figuratif se meut sur la ligne de saturation AB. et passe de la pression de 15 kilogrammes (F) à la pression de 50 kilogrammes (F'), la quantité totale de chaleur de la vapeur (ordonnée) varie relativement peu, elle augmente d'abord légèrement pour diminuer ensuite, tandis qu'au contraire la quantité de chaleur rendue disponible par la détente adiabatique FG jusqu'à la pression d'aval de $1,2 \text{ kg/cm}^2$ augmente considérablement pour devenir F'G'.

Si au lieu de vapeur saturée on considère de la vapeur surchauffée à 400° (toujours à 15 kilogrammes) point D, on constate tout d'abord que la chaleur rendue disponible par la détente jusqu'à la même pression ($1^{\text{st}}, 2$) DE a augmentée par rapport à FG ce qui est naturel puisqu'on élève la température initiale ; l'augmentation est toutefois relativement faible car la quantité de chaleur restant dans la vapeur à la fin de la détente est bien plus grande pour E que pour G.

Par contre, la chaleur rendue disponible par la détente augmente beaucoup lorsqu'on accroît la pression en même temps que la température : vapeur D' 50 kilogrammes 400° se détendant jusqu'en E' à $1^{\text{st}}, 2$.

On se rend compte que le bénéfice en passant de DE à D'E' est dû surtout au fait que par l'augmentation de pression, c'est-à-dire en déplaçant la ligne de détente de la droite vers la gauche on diminue fortement la quantité de chaleur qui reste fixée à la vapeur après détente et qui va se perdre dans l'échappement. C'est donc surtout la diminution de la perte à l'échappement (ou au condenseur) qui détermine l'avantage que procurent les hautes pressions jointes à la surchauffe.

Le rendement théorique du cycle, de Rankine pour la vapeur à 15 kilogrammes surchauffée à 400° contenant 777 calories (ordonnée du point D) se détendant adiabatiquement à $1^{\text{st}}, 200$ en libérant 138 calories est, si l'eau d'alimentation est à 20° ,

$$\frac{138}{777 - 20} = 18,3 \text{ 0/0.}$$

Le rendement pour la vapeur à 50 kilogrammes surchauffée à 400° D' contenant 763 calories se détendant adiabatiquement à $1^{\text{st}}, 200$ en libérant 181 calories est

$$\frac{181}{763 - 20} = 24,5 \text{ 0/0.}$$

La figure 62 donne le rendement du cycle de Rankine pour de la

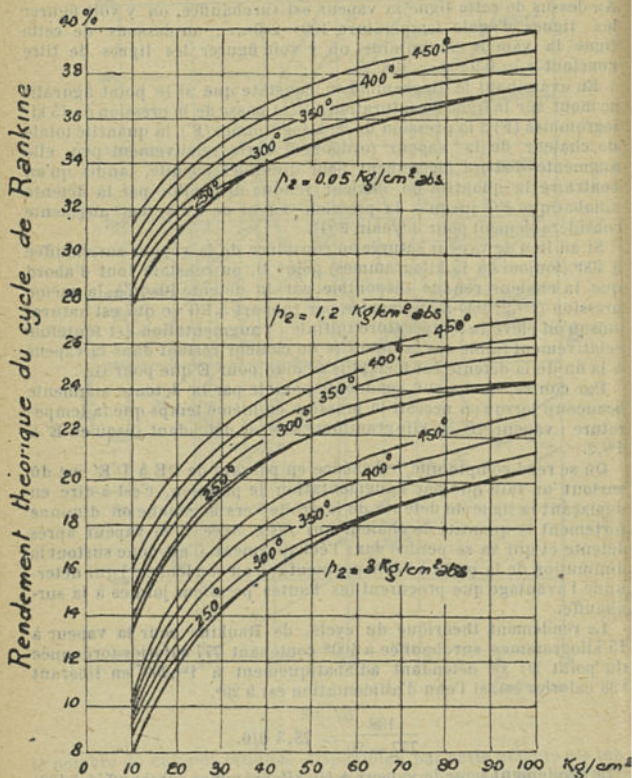


FIG. 62.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

vapeur à différentes pressions (abscisses) surchauffée à différentes

températures se détendant adiabatiquement soit à 3 kilogrammes, soit à 1^{re},200, soit dans un condenseur à 0^{re},05.

Si nous comparons dans le tableau suivant les rendements des cycles de Carnot et de Rankine pour les quatre cas envisagés de vapeur à 15 ou 50 kilogrammes, saturée ou surchauffée à 400°, échappant dans tous les cas, à 1^{re},200, on voit que le rendement de Rankine augmente bien en même temps que la pression ou la surchauffe, mais on voit également que si le rendement qu'on peut espérer de la machine à 15 kilogrammes de vapeur saturée n'est pas très éloigné du rendement de Carnot, 0,15 pour 0,19; à mesure qu'on améliore le cycle de Rankine, soit par l'élévation du timbre, soit par celle de la surchauffe, la marge qui sépare son rendement du rendement idéal de Carnot augmente en même temps.

		RENDEMENT THÉORIQUE DU CYCLE	
		de Rankine	de Carnot
Vapeur saturée	15 kg.....	0,150	0,197
	50 kg.....	0,219	0,295
Vapeur surchauffée à 400°	15 kg.....	0,183	0,440
	50 kg.....	0,245	0,440

Après avoir augmenté timidement les pressions et les températures on s'est aperçu que l'on s'ouvrait ainsi de vastes possibilités d'améliorations, que l'emploi du cycle de Rankine ne permettait toutefois d'utiliser que dans une faible mesure. On a été amené ainsi à étudier de plus près ce cycle et à constater la nécessité d'employer simultanément de hautes pressions, de fortes surchauffes et des cycles nouveaux.

II. — RENDEMENT THERMODYNAMIQUE OU INTERNE

Dans les machines réelles, toute la chaleur dégagée pendant la détente n'est pas intégralement transformée en travail. On appelle rendement interne le rapport entre la quantité de chaleur réellement transformée en travail et la quantité de chaleur qui serait théorique-

ment transformable d'après le cycle considéré. Les pertes dues aux fuites, aux frottements internes, à l'action des parois, modifient le caractère de la détente qui n'est plus adiabatique. La détente réelle serait représentée sur le diagramme de Mollier par une courbe telle que $D'E'e''$, d'autant plus déviée vers la droite que le rendement thermodynamique sera moins élevé. Pour la détente ainsi représentée le nombre de calories réellement transformées en travail est mesuré par la distance verticale des extrémités de la courbe D' et E' ou D' et e'' , et le rendement interne est le rapport de ces longueurs à $D'E'$ ou $D'e''$: 0,75 dans le cas de la figure. Ce rendement est variable et souvent compris entre 0,60 et 0,80.

On voit que le rendement est loin d'atteindre le rendement théorique et que la recherche de l'amélioration de ce rendement peut être limitée par l'augmentation de certaines pertes. On ne risque rien à élever le plus possible la température de la vapeur, c'est-à-dire la surchauffe, mais on est limité dans cette voie par la résistance des matériaux à température élevée. En réalité on ne dépasse pas 400° mais on atteint fréquemment 350°.

L'élévation de la pression employée seule présente par contre un inconvénient. La vapeur D (fig. 61) détendue à 1^{kg},2 (E) donne de la vapeur saturée sèche; détendue à 0^{kg},05 elle donne la vapeur humide au titre 0,86 (e). Pour la vapeur D' à 50 kilogrammes ces titres s'abaissent à 0,89 (E') et 0,78 (e'), or l'humidité de la vapeur a une influence néfaste sur « l'effet de paroi » dans les cylindres ou par corrosion sur les aubes des turbines.

On peut empêcher cette diminution du titre de la vapeur en lui fournissant au cours de la détente un appoint de chaletur à pression constante pour la sécher et même pour la surchauffer à nouveau.

En réalité, la vapeur ne fonctionne plus alors suivant le cycle de Rankine mais suivant le cycle dit *cycle à resurchauffe*, qui présente même sur ce dernier, en plus de l'amélioration de l'effet de paroi, l'avantage d'avoir un rendement théorique supérieur.

Sur le diagramme de Mollier en partant de la vapeur à 100 kg/cm² 400° (point D'') et après l'avoir détendue à 15 kilogrammes, jusqu'au point où elle devient saturée (F), on peut la réchauffer (par les gaz perdus de la combustion) jusqu'à 300° (f) pour la faire travailler encore par détente jusqu'à 1^{kg},200 (E).

Le point figuratif suit la ligne $D''F/E$.

Si la vapeur s'était détendue adiabatiquement de D'' en E'' de 100 à 1^{kg},2 le rendement théorique du cycle de Rankine aurait été de :

$$\frac{198}{739} = 0,268.$$

Avec la détente réelle, non adiabatique $D''H$ (en supposant le ren-

dement interne 0,75) le nombre de calories transformées aurait été

$$198 \times 0,75 = 143 \text{ et le rendement } \frac{143}{739} = 0,20.$$

Par la resurchauffe, le nombre de calories fournies en supplément est mesuré par la distance verticale $Ff = 55$ calories et le nombre total de calories transformées en travail est mesuré par la somme des distances verticales $D'F$ et fE soit 161 c'est-à-dire 18 de plus que précédemment, les 55 calories fournies en supplément ont donc été utilisées avec un rendement de $\frac{18}{55} = 0,33$ bien supérieur au rendement de 0,20 du cycle de Rankine.

Cycle à réchauffage de l'eau d'alimentation par soutirage de vapeur appelé aussi parfois cycle de Ferranti. — Au lieu de laisser la vapeur se détendre complètement dans les différents cylindres ou les différents étages d'une turbine, on effectue au cours de la détente des prélèvements ou soutirages de vapeur et l'on utilise les calories qu'elle contient pour réchauffer l'eau d'alimentation.

Dans ce cas la presque totalité de la chaleur de vaporisation de la vapeur ainsi prélevée est employée à réchauffer l'eau de la chaudière au lieu d'être rejetée sans profit à l'atmosphère ou au condenseur.

Cycle à deux fluides. — On emploie simultanément deux fluides. La machine Emmet à la centrale d'Hartford (E.-U), comporte une chaudière à mercure et une turbine à vapeur de mercure : la vapeur après avoir travaillé dans la turbine se condense en fournissant la chaleur latente de vaporisation à l'eau d'une chaudière à vapeur d'eau¹.

Application des hautes pressions aux chaudières des locomotives. — Le timbre des chaudières des locomotives à simple expansion qui était avant la guerre de 12 kg/cm², s'est élevé aussitôt après à 14 kg/cm² et même 15 kg/cm². Les locomotives compound étaient timbrées en presque totalité à 16 kilogrammes.

En 1925, l'Est, lors de la construction de sa série de locomotives type 230, série 3200 compound à 4 cylindres, à surchauffe, timbrées à 16 kilogrammes en a mis une en service, sans y rien changer en portant le timbre à 20 Hpz.

Les locomotives Mountain construites en 1930, sont timbrées à 20 kilogrammes.

¹. Cr. E. R., juillet 1927, Université Lille 1 Mines, 1^{er} novembre 1927.

Le P.-L.-M. envisage l'essai d'une locomotive Pacific timbrée à 20 Hpz, a étudié une locomotive Mountain, d'un type très voisin de la 241-A., existante toujours compound et à roues de 2 mètres, timbrée à 20 Hpz. L'O.C.E.M. étudie pour ce réseau une locomotive type 151, ayant sensiblement la même chaudière que la précédente et timbrée à 20 Hpz.

L'O.C.E.M., étudie pour le réseau de l'État une locomotive Mountain à simple expansion, distribution à soupapes Renaud, timbrée à 20 Hpz.

Le Nord, envisage la construction de locomotives de banlieue à simple expansion, avec chaudière normalement timbrée à 12 Hpz mais établie pour supporter 16 Hpz.

En Angleterre, le G.W.R. et le L.M.S. ont mis en service des locomotives type 230, à simple expansion, trois cylindres et surchauffe, timbrées à 17^k,6.

L'État Italien, après essais concluants (5 0/0 d'économie,) envisage d'élever de 12 à 16 kilogrammes le timbre d'un grand nombre de locomotives à simple expansion.

Les E.-U., suivent la même voie et le timbre des locomotives nouvelles approche de 20 kilogrammes; on peut dire que l'on s'oriente nettement actuellement vers le timbre de 20 kg/cm².

Il ne s'agit là toutefois que de chaudières présentant les dispositions habituelles avec boîte à feu et corps cylindrique à tubes à fumée. Des pressions plus élevées nécessitent, si l'on ne veut pas trop alourdir la chaudière, un mode de construction différent, en particulier celui de la chaudière à tubes d'eau.

Les locomotives à chaudières timbrées au-dessus de 20 kg/cm² sont les suivantes :

Loc. Horatio Allen.....	25 kg.	1924	
— John B. Jarvis.....	28 k5.	1926	
— Gresley (Yarrow).....	31 ^k ,5	1929	
— Schwartzkopff-Löffler.	100 kg/cm ²	1927	
— Heschel-Schmidt.....	60 kg.	1925	} Deutsche Reichsbahn L.M.S., P.L.M. Canadian Pacific.
— Krupp-Thornycroft...	60 kg.	1926		Loc. à turbine.
— Winterthur.....	60 kg.	1927	
— Maffei-Benson.....	Pression critique 250 kg.	1929	Loc. à turbine.

Locomotive Horatio Allen 1. — La première tentative d'employer de la vapeur à haute pression dans le domaine des locomotives fut faite aux États-Unis par l'American Locomotive Co qui construisit

en 1924 pour la Delaware and Hudson Ry une locomotive à deux cylindres jumelés appelée Horatio Allen. Elle portait une chaudière timbrée à 25 kilogrammes, avait une puissance de 2.500 C. V. pour un poids en service de 160 tonnes. La construction habituelle fut conservée pour l'ensemble de la locomotive, seule la boîte à feu fut modifiée et remplacée par un foyer tubulaire, genre Brotan.

Locomotive John B. Jervis 1. — En 1926, Baldwin a construit une locomotive à chaudière analogue à la précédente, compound à trois cylindres avec une chaudière timbrée à 28 kilogrammes avec une puissance de 3.600 C. V. et un poids en service de 196 tonnes. Cette locomotive fut mise à l'épreuve sur le banc d'essais de locomotives d'Altoona, l'économie d'eau est très faible, et celle de charbon n'est appréciable que lorsque la puissance développée dépasse 1700 C.V.

Locomotive Gresley du London and North Eastern Ry 2. — La chaudière de cette locomotive est timbrée à 31^{kg}.5. Elle est à tubes d'eau du type marine et construite par Yarrow.

Elle comprend un collecteur supérieur et deux collecteurs inférieurs réunis par le faisceau tubulaire.

Le collecteur supérieur (eau et vapeur) a 910 millimètres de diamètre intérieur et 8^m,500 de longueur.

La locomotive est du type 232 à roues de 2^m,05, poids adhérent 56 tonnes, poids total en ordre de marche 93 tonnes. — Poids total locomotive et tender : 150 tonnes.

La locomotive est compound à 4 cylindres. Les cylindres B. P. extérieurs ont 508 × 660 et sont commandés par tiroirs cylindriques à distribution Walschaerts; la commande des cylindres intérieurs H. P. de 304 × 660 a lieu par une distribution spéciale à arbre de renvoi par laquelle on peut faire varier indépendamment l'une de l'autre, l'admission aux cylindres B. P. et H. P.

Locomotive à chaudière à haute pression Löffler (constructeur Schwartzkopff) 3. — Cette locomotive, dont la chaudière a été étudiée par Löffler et construite par Schwartzkopff est une machine Pacific de 2.500 C. V. du poids normal d'une Pacific à chaudière tubulaire ordinaire : 111 tonnes à vide, 114 tonnes en ordre de marche, mais à foyer de surface moitié moindre. Le tender a une capacité égale-

1 B. A. I., juillet 1927 ; *Organ.*, 15 juillet 1927 ; *Ry Age* n° 11, 1927.

2 *Ry Gaz.*, 13-20-27 décembre 1929 ; — *Engineering*, 27 décembre 1929 ; — *The Loc.*, 15 janvier 1930 ; — *Ry Age*, 22 février 1930 ; — *The Engineer*, 3 janvier 1930.

3 R. G., novembre 1926 ; novembre 1928 ; — V. D. I., octobre 1927 ; — G. A., 15 octobre 1928. — Edition du cinquantenaire, 1^{er} juillet 1927 ; — *Organ.*, 15 juin 1929 ; — *Reichsbahn*, 8 janvier 1930 ; — *The Locomotive* 15 janvier 1930. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ment moitié. On attend du système une économie de charbon de 47 0/0.

Description et fonctionnement de la chaudière. — Nous supposons tout d'abord établi le régime de la chaudière.

La vapeur à H. P. est produite dans un générateur H. P. (fig. 63). C'est un réchauffeur par mélange entièrement soustrait à l'action des flammes. C'est un corps cylindrique de 4 mètres de long, 840 mil-

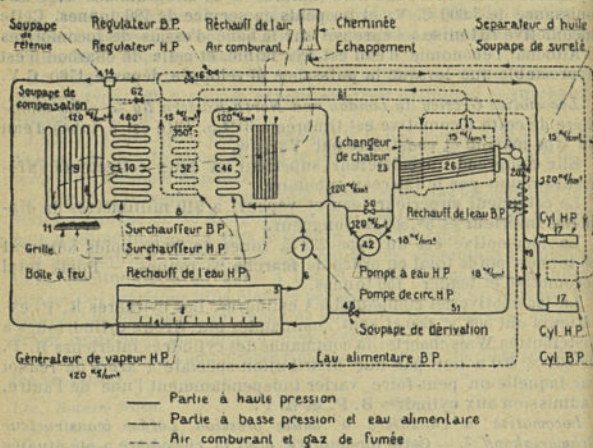


FIG. 63. — Chaudière Löffler.

limètres de diamètres, 317 d'épaisseur en acier au nickel-chrome placé entre les longerons. Nous verrons plus loin comment il est alimenté en eau et comment celle-ci est vaporisée. — La vapeur saturée qui en sort, à 100 kg/cm² est refoulée par la pompe de circulation H. P. (7) dans le surchauffeur H. P. (9-10) qui forme les parois du foyer. Elle sort de ce dernier à 100 kilogrammes, 460° puis passe dans une soupape de retenue 14 qui en envoie la plus grande partie (80 0/0) dans le générateur H. P. où elle abandonne les calories qui ont servi à la surchauffer au profit de l'eau de ce générateur, qu'elle vaporise. L'autre partie de la vapeur (20 0/0) va travailler dans les deux cylindres H. P. (17) d'où elle sort à 18 kg/cm². Cette vapeur

sert à produire dans une chaudière B.P. (26), située à l'avant de la boîte à fumée la vapeur à 15 kilogrammes qui alimente le cylindre B.P.

Cette chaudière B. P. est un condenseur à surface, dont les tubes sont traversés par la vapeur d'échappement des cylindres H. P. Avant son entrée cette vapeur traverse un deshuileur, à sa sortie elle est refoulée à 100 kilogrammes par une pompe à eau H. P. (42) à travers le réchauffeur de l'eau H. P. (46) et se rend enfin au générateur H. P. 1.

Toute l'eau sortie du générateur H. P. y est rentrée soit directement après avoir été surchauffée, soit après avoir travaillé dans les cylindres H. P., vaporisé l'eau de la chaudière B. P. et été réchauffée.

C'est toujours la même eau qui sert, aux pertes près.

On évite ainsi l'entartrement des tubes du surchauffeur H. P.

La vapeur saturée à 15 kilogrammes produite par la chaudière B. P. (26) traverse un surchauffeur B. P. (32), d'où elle sort à 350°, elle va travailler dans le cylindre B. P. et s'échappe par le tuyère comme dans une machine ordinaire.

La chaudière B. P. est alimentée en eau :

1° Par une pompe alimentaire au sortir de laquelle l'eau prise au tender, est réchauffée dans un réchauffeur à surface (22) par la vapeur d'échappement des cylindres H. P. ;

2° Par un injecteur.

Dans le cas où la chaudière B. P. aurait besoin d'un appoint de chaleur, on peut lui envoyer par la soupape de compensation (62) et la dérivation (61) une petite partie de la vapeur à H. P. surchauffée.

La pompe de circulation 7 de la vapeur H. P. est alimentée par la vapeur de la chaudière B. P. en vapeur à 15 kilogrammes surchauffée ; la vapeur d'échappement se réunit dans la tuyère à l'échappement du cylindre B. P. Il est toutefois possible, et cela est nécessaire au cours de l'allumage, d'alimenter cette pompe avec de la vapeur prise à la chaudière H. P.

A cette pompe est reliée mécaniquement la pompe 42 d'alimentation de la chaudière H. P. Les conduits d'amenée et de départ de cette pompe sont réunis par un by-pass (50) pour permettre le réglage de l'alimentation de la chaudière H. P.

Une dérivation 51 commandée par la soupape 48, permet de renvoyer à la chaudière B. P. une partie de l'eau d'alimentation de la chaudière H. P.

Par contre, les pertes en eau de la chaudière B. P. sont compensées par de la chaudière B. P. introduite à l'aide d'une pompe liée mécaniquement aux pompes 7 et 42. Cette eau entre dans le circuit H. P. à sa sortie de la chaudière B. P. La compensation est automatique et commandée par le flotteur d'un réservoir situé entre la chaudière

B. H. et la pompe 42. Ces éléments ne sont pas représentés sur le schéma.

En résumé la chaudière à H. P. alimente en vapeur à 100 kilogrammes 460° les deux cylindres H. P. qui doivent fournir chacun 30 0/0 de la puissance de la locomotive, l'eau qui l'alimente est toujours la même, les pertes sont compensées par de l'eau venant de la chaudière B. P.

La chaudière à B. P. est chauffée par la vapeur d'échappement des cylindres à H. P., elle alimente en vapeur à 15 kilogrammes 350° le cylindre B. P. qui doit fournir 40 0/0 de la puissance de la locomotive.

On règle la production respective des deux chaudières par : 1° la communication 51 qui augmente la quantité de chaleur fournie à la chaudière B. P. et diminue la quantité d'eau amenée à la chaudière H. P.

2° La communication 61 qui augmente directement la quantité de chaleur fournie à la chaudière B. P. en la prélevant sur celle fournie par la chaudière H. P.

3° Par la communication 50 qui diminue la quantité d'eau entrant dans la chaudière H. P.

Pour la mise en marche de la chaudière il faut emprunter de la vapeur à une source extérieure :

1° Pour réchauffer l'eau du générateur à H. P. et le mettre en pression ;

2° Pour faire fonctionner les pompes à vapeur H. P. et à eau H. P. ces emprunts extérieurs cessent dès qu'il y a dans le générateur à H. P. une tension de vapeur suffisante pour faire fonctionner les pompes. On allume alors le feu sur la grille.

En cas où l'on n'aurait pas de vapeur à sa disposition, on a pensé qu'on pourrait chauffer directement par un petit foyer auxiliaire la chaudière à B. P. (23).

La disposition générale de la chaudière est celle d'un corps cylindrique à l'arrière duquel se trouve le foyer dont les parois sont formées par le surchauffeur H. P., les gaz chauds rencontrent ensuite le surchauffeur B. P., le réchauffeur de l'eau du générateur H. P. enfin un réchauffeur de l'air de combustion, ils se rendent dans la boîte à fumée et à la cheminée ; dans le prolongement de cette dernière se trouve la chaudière B. P.

Les caractéristiques de la chaudière sont les suivantes :

Surface de grille.....	2 m ² ,4
Surface du surchauffeur HP.....	90 mètres carrés
— — — BP.....	32 —
— — — réchauffeur HP.....	71 —
Chaudière BP.....	82 —

Les cylindres H. P. extérieurs ont 220×660 millimètres et attaquent le deuxième essieu moteur, le cylindre B. P. intérieur, de 600×660 millimètres attaque le premier essieu moteur.

Le poids à vide de la locomotive est de..... 111 tonnes
 — en ordre de marche..... 114 —

Cette locomotive sera mise en service dans le courant de 1930.

Le point le plus délicat est la pompe de circulation de vapeur à 120 kg/cm^2 . En réalité il existe deux pompes dont chacune peut suffire à 75 0/0 de la puissance maximum de la chaudière.

Locomotive à chaudière à haute pression Schmidt¹ (constructeur Henschell) — Dans cette chaudière la vapeur est produite en deux étapes : d'abord à 14 kg/cm^2 dans une chaudière à basse pression, tubes à fumée, chauffée par les gaz de la combustion puis à 60 kg/cm^2 par une chaudière à chauffage indirect. Elle comporte donc en réalité trois chaudières (voir fig. 64).

1° Une chaudière aquatubulaire à haute pression (100-110 kilogrammes au maximum), composée de tubes bouilleurs de 42×51 formant les parois et le ciel du foyer, réunissant entre eux deux réservoirs de vapeur longitudinaux supérieurs et deux réservoirs d'eau longitudinaux inférieurs. Cette chaudière remplie d'eau distillée ou de pluie fournit de la vapeur saturée. Cette vapeur se condense en cédant sa chaleur à la chaudière H. P. et revient aux réservoirs inférieurs, formant ainsi le « circuit primaire ». La consommation d'eau de ce circuit est de deux litres par semaine ;

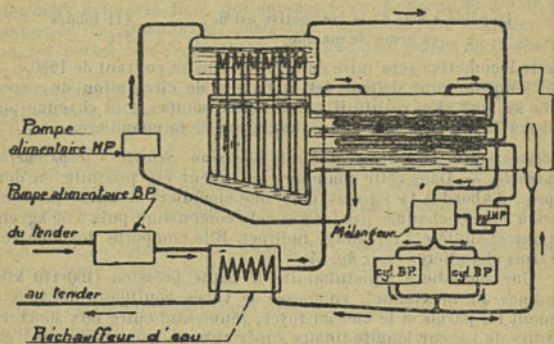
2° Une chaudière H. P. composée d'un réservoir cylindrique disposé au-dessus du foyer, fournit de la vapeur à 60 kg/cm^2 . Elle est chauffée par la vapeur de la chaudière précédente grâce à des tubes formant serpentins de 20×26 ; la vapeur de la première chaudière traverse les serpentins, cède sa chaleur de vaporisation, l'eau condensée retourne au réservoir d'eau inférieur. Il s'établit pour chaque allure de combustion un équilibre entre la deuxième chaudière H. P. et la première chaudière aquatubulaire, la pression dans cette dernière est de 10 à 30 kilogrammes plus élevée que dans la chaudière H. P. ;

3° Une chaudière à tubes à fumée B. P. à 14 kilogrammes.

La vapeur à 60 kilogrammes provenant de la chaudière H. P. est surchauffée à plus de 400 dans les tubes à fumée de la chaudière B. P., va travailler dans le cylindre H. P., elle en sort à 14 kilogrammes, se mélange à une portion de vapeur à la même pression provenant de la chaudière B. P., est surchauffée et va travailler dans les 2 cylindres B. P. d'où elle s'échappe à l'atmosphère par la tuyère.

¹ *Engineer*, 20 janvier 1928 (résultats d'essais).

L'eau d'alimentation est envoyée dans la chaudière B. P. par une pompe et un réchauffeur d'eau d'alimentation à vapeur d'échap-



Coupe transversale par le foyer

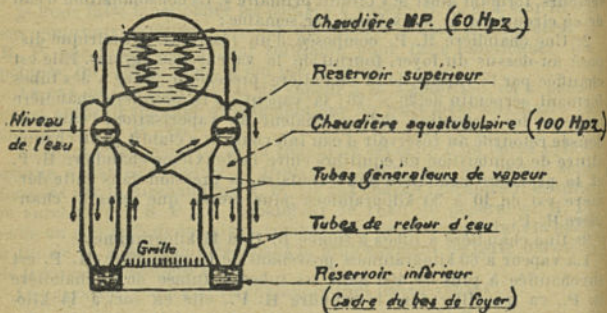


FIG. 64. — Chaudière Schmidt.

pement (90°). La chaudière à H. P. est alimentée par l'eau de la chaudière B. P. par une pompe d'alimentation. Tout le tartre s'étant déposé dans le IRIS LILLIAD Université Lille 1 dans la chaudière

B. P. il n'y en aura que très peu et non adhérent dans la chaudière H. P.

La chaudière B. P. porte deux tubes de niveau d'eau et trois soupapes. Les deux réservoirs de vapeur de la chaudière aquatubulaire sont réunis par deux tubes d'équilibre. — Chaque réservoir de vapeur porte un indicateur de niveau d'eau, un manomètre, un pyromètre. La chaudière à H. P. est un cylindre de 914 millimètres de diamètre et 30 millimètres d'épaisseur en acier ou nickel. Le niveau de l'eau est vérifié par deux indicateurs avec soupape de retenue et un troisième indicateur à hauteur de l'œil du chauffeur. La chaudière H. P. porte deux soupapes d'alimentation, deux soupapes de sûreté, un manomètre.

Afin de pouvoir régler la production relative des deux chaudières H. P. et B. P. des communications permettent d'envoyer de la vapeur H. P. dans la chaudière B. P.

Chaque chaudière a son régulateur. Les deux régulateurs sont actionnés par un arbre commun depuis le poste du mécanicien.

La distribution de vapeur a lieu par tiroirs cylindriques et distribution Walschaerts.

En 1925, les Chemins de fer du Reich ont muni une de leurs locomotives S10² type 230 d'une chaudière Schmidt :

Les caractéristiques de cette locomotive sont les suivantes.

Surface de grille	2 m ² ,6
Surface de chauffe de la chaudière aquatubulaire.....	19 m ² ,6
— — — BP.....	140 m ² ,0
Surface de surchauffe	90 m ² ,5
Un cylindre HP milieu.....	290 × 630
Deux cylindres BP extérieur.....	500 × 630
Diamètre des roues	1 ^m ,981
Poids à vide	84 tonnes
— en ordre de marche.....	98 —
— adhérent	60 —

Cette locomotive est en service en 1930 sans incidents notables.

La Reichsbahn a l'intention de commander d'autres machines du type Schmidt-Henschell légèrement modifiées. Actuellement on demande à la chaudière H. P. à 60 kilogrammes 50 0/0 du travail total, on lui en demanderait 75 0/0 en modifiant les dimensions respectives des chaudières à 60 et à 14 kilogrammes.

Une locomotive compound à trois cylindres du type 230 a été construite avec une chaudière Schmidt pour le London Midland and Scottish Ry dans les ateliers de la North British Loc Cy¹ elle est actuellement en service.

¹ *The Locomotive*, 25 janvier 1930 ; — *The Engineer*, 3 janvier 1930.

Une autre locomotive type Mountain 241-B à chaudière Schmidt est construite par Henschell pour le P. L. M.

Le Canadian Pacific Ry annonce la construction dans ses ateliers d'une loc. à chaudière Schmidt Compound trois cylindres 1.

Chaudière à haute pression Winterthur 2. — La Société de construction de locomotives et de machines de Winterthur a étudié et établi une locomotive d'essais type 131 tender à chaudière timbrée à 60 kilogrammes. La vapeur surchauffée produite par cette chaudière est utilisée en simple expansion dans un moteur à équicourant, double effet, à marche rapide (700 tours minute) à trois cylindres et à distribution par soupapes à un seul siège commandées par un arbre à cames. Ce moteur attaque par engrenage un faux essieu qui transmet le mouvement aux essieux accouplés par bielles d'accouplement.

La chaudière se compose d'un collecteur supérieur et de deux collecteurs inférieurs plus petits (voir *fig. 65*). La liaison entre ces collecteurs est assurée à leurs deux extrémités et au milieu par trois lames d'eau formées chacune de deux parois soudées sur leur pourtour et entretoisées.

L'espace compris entre les collecteurs et les deux lames d'eau arrière forme le foyer dont le ciel et les parois latérales sont constitués par des tubes horizontaux et verticaux reliant les collecteurs et mandrinés sur ces derniers. La lame d'eau arrière porte le gueulard et la porte du foyer.

La lame d'eau milieu formant paroi avant du foyer est tubée pour le passage des gaz de la combustion.

L'espace compris entre les deux lames d'eau avant est occupé par un surchauffeur et un réchauffeur d'eau d'alimentation.

L'alimentation se fait par pompe, la circulation de l'eau dans la chaudière se fait par la différence des températures, elle descend par la lame d'eau et les tubes avant et remonte par les tubes du foyer et la lame d'eau arrière.

Cette machine dont le principal mérite est la simplicité de la chaudière a été essayée en 1929 par l'O. C. E. M. sur le réseau de l'Est.

Les résultats intéressants obtenus par cette machine d'étude serviront à l'établissement d'une machine plus puissante.

Locomotive Maffei à chaudière Benson 3. — Cette locomotive est à turbines et à condensation. Dans le procédé de vaporisation pré-

1 *Ry Gaz.*, 11 avril 1930.

2 *R. G.*, Novembre 1928 ; — *Schweizerische Bauzeitung*, 2 et 9 juin 1928.

3 70^e anniversaire du P^r D^r Stodola Éditeur Orell Füssli. Zurich 1929 ; *Organ*, 1^{er} août 1928.

conisé par Benson. l'eau est transformée en vapeur au point critique et détendue à la pression d'utilisation. La vaporisation est une transformation continue de l'état liquide à l'état vapeur sans formation

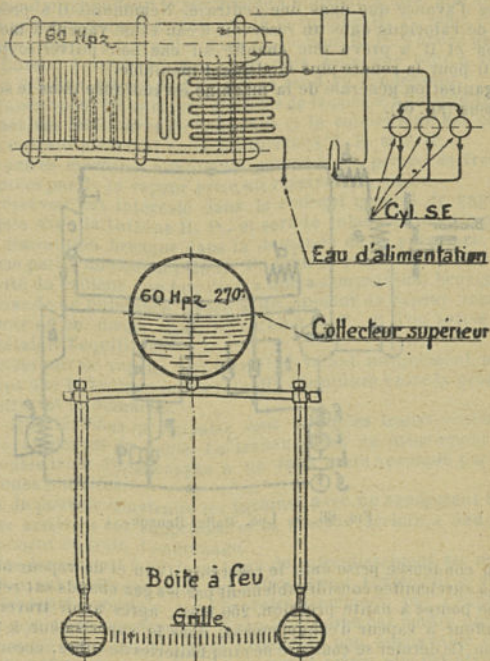


FIG. 65. — Chaudière Winterthur.

de bulles de vapeur. Ce procédé supprime les corps de chaudière, collecteurs d'eau et de vapeur qui pour les très hautes pressions deviennent difficiles à réaliser ainsi que les raccords délicats des tubes à ces collecteurs.

Par contre cette chaudière n'ayant pas de réserve de calorique, la

chauffe devra être extrêmement élastique et surveillée pour s'accorder aux variations de la puissance nécessaire. L'inventeur estime que ces variations sont plus faciles à prévoir sur une locomotive où elles ne dépendent que de la vitesse, du profil, de la charge, toutes choses connues d'avance que dans une centrale. Néanmoins il a prévu un volant de calorique dans un réservoir d'eau et de vapeur à moyenne pression et il a prévu une chauffe au charbon pulvérisé (ou au mazout) pour la rendre plus facilement maniable.

L'organisation générale de la machine est indiquée dans le schéma ci-dessous (fig. 66).

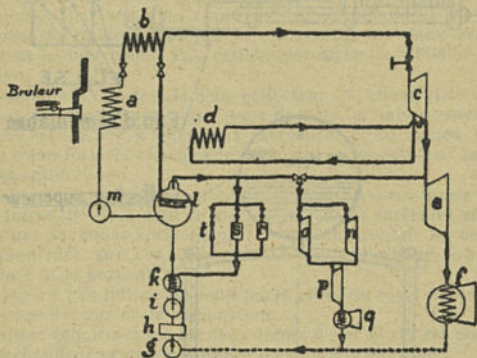


FIG. 66. — Loc. Maffei-Benson.

L'eau condensée prise dans le réservoir d'eau et de vapeur où elle est déjà surchauffée considérablement par les gaz chauds est refoulée par une pompe à haute pression, 250 Hpz., après avoir traversé un réchauffeur à vapeur d'échappement, dans le vaporisateur à haute pression. Ce dernier se compose de cinq batteries de tubes, accouplées en parallèle, formant la chambre de combustion qui entoure un brûleur à charbon pulvérisé.

Une soupape placée à la sortie du vaporisateur maintient la pression à une valeur supérieure à la pression critique. La température dans le vaporisateur est supérieure à la température critique, assez supérieure même pour que la vapeur ne revienne pas à l'état de vapeur saturée lors de la détente consécutive à la pression d'utilisation 150 Hpz. Dans le surchauffeur qui suit cette soupape la vapeur

est surchauffée au delà de 400° puis elle est utilisée dans une première roue Curtis de la turbine H. P. d'où elle sort à 37 Hpz, 260°. Un second surchauffeur la surchauffe à nouveau à 400°, elle retourne dans une seconde roue à réaction de la turbine H. P. pour en sortir à 18 Hpz, 320°; va travailler dans la turbine B. P. d'abord dans une roue Curtis. Jusqu'à 4,5 Hpz, 210° puis dans une roue à réaction jusqu'à 0,3 Hpz, titre 0,95 d'où elle se rend au condenseur.

La vapeur pour les turbines motrices de la pompe alimentaire H. P., les machines auxiliaires de chauffage et le condenseur est prélevée sur le courant principal entre les turbines H. P. et B. P.

Les autres machines auxiliaires pompe à air, pompe de frein sont alimentées par de la vapeur prise au réservoir de vapeur.

Ce réservoir est intercalé dans le courant général de vapeur, en parallèle avec la turbine H. P., et sert de volant de puissance. Lors d'une diminution brusque dans la demande de la puissance, on dérive une partie du courant de H. P. dans ce réservoir et on modère l'activité du brûleur; on fait face à une augmentation brusque dans la demande de puissance, grâce à un appoint de vapeur venant du réservoir qu'on dirige dans la turbine B. P. et l'on active le feu pour rétablir l'équilibre.

Le réservoir de vapeur doit servir de volant uniquement pendant le temps que le brûleur met à rétablir l'équilibre entre la production de vapeur et la demande.

Les deux turbines principales sont disposées transversalement à la voie, au-dessus du bogie. La transmission de mouvement a lieu par double train d'engrenages à un faux arbre accouplé par bielles aux roues motrices.

Afin de pouvoir construire les turbines avec un rendement élevé la turbine arrière a été supprimée et la marche arrière a lieu par un changement de train d'engrenage.

Le condenseur est à surface, l'eau de refroidissement est refroidie par l'air sur le tender dans un refroidisseur également à surface. Ce dispositif présente sur le refroidissement par évaporation l'avantage de ne pas dépenser d'eau, il absorbe par contre une puissance supérieure. Un avantage accessoire non négligeable est que l'eau de refroidissement étant toujours la même elle maintient toujours propres les surfaces du condenseur; s'il y a des fuites à ce dernier c'est également de l'eau propre qui y pénètre.

Avenir des locomotives à haute pression. — Nous avons montré que l'avantage des hautes pressions est lié à l'emploi des cycles à soutirage ou à résurchauffe. On ne pourra employer la haute pression qu'en recourant de toute nécessité aux chaudières à tubes d'eau qui n'ont pas, jusqu'à présent, donné de bons résultats sur les locomotives. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

qu'on arrivera à construire de telles chaudières qui se comporteront bien en service. En particulier en employant de l'eau distillée soit grâce à la condensation soit par le chauffage indirect on évitera les entartrages qui sont parmi les principales causes d'avaries.

L'emploi de cycles à soutirage ou à resurchauffe nécessite l'adjonction de dispositifs qui paraissent lourds ou encombrants. Il semble toutefois que le cycle à soutirage puisse donner des résultats grâce à l'injecteur à vapeur d'échappement, et qu'un resurchauffeur de la vapeur branché sur le réservoir intermédiaire des machines compound ne serait pas très difficile à installer ni très lourd. Des essais seraient à tenter dans ce sens.

Il ne faut pas perdre de vue toutefois qu'une amélioration théorique n'a de valeur industrielle que dans la mesure où il en résulte une diminution du prix de revient global. Les artifices compliqués propres à améliorer le rendement thermiques, entraînent, en général, des dépenses supplémentaires de premier établissement, d'amortissement, d'entretien, ainsi que des chances d'avarie qui désorganisent le service. Il faut bien s'assurer avant de les adopter que la machine simple que l'on possède n'est pas la plus économique. Malheureusement les dépenses indirectes, principalement la dernière, sont des plus difficiles à chiffrer. Il faut considérer qu'actuellement toutes les locomotives à haute pression construites ne sont que des locomotives d'essai.

Pour les questions concernant la haute pression on consultera : *La Production de la vapeur à haute pression*, par Roszak et Véron : *Chaleur et Industrie*, février 1927 et numéros suivants ; — *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, novembre 1926 et suivants.

Évolution visible dans la technique des centrales à vapeur, par E. Rauber. *La Revue industrielle*, 1925 ;

Compte rendu du Congrès de Rome de 1926 de l'Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique. — Rapports de MM. Le Herry et E. Rauber.

Utilisation technique des recherches récentes sur la vapeur d'eau. Étude publiée par la Compagnie de Fives-Lille, 1926.

Pour l'emploi des hautes pressions sur les locomotives, B. A. I., du Congrès des chemins de fer, mai 1926 ; *Engineering*, numéro du 13 août 1926, p. 158 ; *Railway and loc. Engineering*, décembre 1926 ; *Railway and loc. Engineering*, janvier 1925, mars 1926 ; *Glaser's Annalen*, 15 mai 1926.

Les constantes physiques et thermodynamiques. — *Les constantes thermiques*, publiées dans les bulletins techniques de la Société Babcock et Wilcox.

La vapeur à haute pression ; Opportunité de son emploi dans l'industrie, par M. Kammerer.

Bulletin des associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur. Janvier 1928

LOCOMOTIVES A TURBINE

La turbine à vapeur a un rendement supérieur à celui de la machine à piston, surtout parce qu'elle permet, grâce à la condensation, de pousser la détente de la vapeur beaucoup plus loin (à vrai dire on a songé à employer la condensation avec la machine à piston, mais cela conduirait à des dimensions de cylindres inacceptables)¹; parce qu'elle s'accommode facilement de l'emploi de vapeur très fortement surchauffée puisqu'on n'est pas limité par la décomposition des huiles de graissage; parce que l'influence défavorable des parois est nulle, un point de la paroi étant toujours en contact avec de la vapeur à la même température.

On a donc songé, en présence des grands avantages économiques offerts par la turbine et exploités dans les centrales², à l'appliquer à la propulsion des locomotives, on a malheureusement rencontré plusieurs difficultés.

Tout d'abord la condensation indispensable nécessite l'évacuation de l'énorme quantité de calories contenues dans la vapeur et qui n'ont pas été, soit transformées en travail, soit récupérées; or sur la locomotive on ne dispose pas comme à terre ou à bord des navires d'autant d'eau à basse température que cela est nécessaire, il faut évacuer ces calories dans l'atmosphère par l'intermédiaire de l'air, et c'est là la difficulté. On peut dire que *le problème de la locomotive à turbine est surtout un problème de condenseur*.

D'autres problèmes se posent encore, mais moins difficiles à résoudre :

Celui de la réduction de vitesse entre la turbine et les roues motrices, celui du démarrage, celui de la marche arrière (une turbine ne fonctionnant que dans un sens), celui du tirage de la chaudière qui ne peut plus être produit par la vapeur d'échappement.

Ces derniers problèmes ont été à peu près résolus, il n'en reste pas moins que la turbine, quoique moins sensible que le moteur Diesel aux variations de la vitesse de rotation, n'a un très bon rendement qu'aux environs d'une vitesse de rotation donnée; aux autres vitesses

¹ R. G., août 1907, p. 136; — V. D. I., 20 septembre 1924, p. 997; — G. A., 1^{er} mars 1927, p. 69; — T. M., février 1922, p. 79.

² Une locomotive moderne à surchauffe et réchauffage de l'eau, nécessite environ par cheval-heure *indiqué* 8 kilogrammes de vapeur et 1^{kg},2 de charbon, les turbines à condensation des centrales nécessitent seulement 4 kilogrammes de vapeur, 0^{kg},6 de charbon.

il faut consentir à un rendement moins bon, à moins d'interposer un changement de vitesse variable, ce qui en général n'a pas été fait.

La question de la marche arrière est facilement résolue si l'on passe par l'intermédiaire de la transformation électrique de l'énergie, mais ce n'est pas là la solution généralement adoptée. Elle est résolue pratiquement soit par l'interposition d'un train d'engrenages supplémentaires, soit plus souvent par l'adoption d'une turbine spéciale à rendement sacrifié, la marche arrière étant exceptionnelle.

La question du tirage a été résolue par l'adoption soit d'un ventilateur aspirant dans la boîte à fumée, soit d'un ventilateur soufflant dans un cendrier étanche.

Reste la question du démarrage où la turbine doit pouvoir à faible vitesse développer son couple moteur maximum. On l'a résolue par l'adoption de tuyères d'injection supplémentaires, toujours au détriment du rendement.

Enfin l'installation de la turbine entraîne l'emploi de nombreux auxiliaires : ventilateurs, pompes de circulation d'eau du réfrigérant du condenseur, graissage sous pression d'huile des paliers des turbines, refroidissement de l'huile de graissage, qui compliquent la locomotive et absorbent une part non négligeable de la puissance motrice.

Toutes ces difficultés n'ont pas rebuté les ingénieurs, et dans ces dernières années plusieurs locomotives à turbines ont été construites. Quelques-une d'entre elles présentent des dispositifs remarquablement ingénieux.

Henschell a construit pour la Reichsbahn une locomotive mixte (type P 8-10 wheels), la vapeur HP agissait dans des cylindres, la vapeur détendue agissait dans une turbine, montée avec le condenseur et réfrigérant sur un tender moteur.

Cet essai avait surtout pour but d'augmenter la détente de la vapeur.

On ne songe pas à persévérer dans cette voie.

Les principales locomotives à turbine proprement dites sont celles de

Belluzo, en Italie.....	1908
Raid Ramsay, en Angleterre.....	1910
Ramsay, en Angleterre.....	1921
Ljungström, en Suède.....	1921
Zoëly, en Suisse et en Allemagne (Krupp).....	1921-1924
Mac Loed, en Angleterre.....	1926
Imfeld et Ludwig (Maffei), en Allemagne.....	1926
Krupp à haute pression 60 kg. (chaudière Thornycroft-Schultz; turbines Zoëly).....	1926 ¹

¹ V. D. I., 1926, p. 1565 et 8 octobre 1927.

En outre Maffei construit (1939) une locomotive à chaudière Benson (250 kilogrammes) à turbines.

La machine *Ramsay*¹ est composée de deux châssis-moteurs, attelés entre eux, formant une locomotive jumelée 13 + 31.

Le châssis avant porte la chaudière à 14 kilogrammes à surchauffe, le châssis arrière le condenseur. La turbine principale (3.600 tours) est accouplée à un alternateur triphasé excité séparément par une dynamo à courant continu qu'entraîne une turbine auxiliaire. Deux moteurs triphasés à bague pour chaque châssis reçoivent le courant et actionnent par engrenage un faux essieu situé dans le même plan que les essieux-moteurs et accouplé par bielle avec eux.

Le condenseur est à surface, les tubes traversés par la vapeur forment une sorte de cage qui tourne lentement en baignant dans l'eau par sa partie inférieure, l'eau qui mouille le condenseur est évaporée dans les parties supérieures par un courant d'air produit par un ventilateur.

La puissance est de 1.100 chevaux, le poids total en ordre de marche (10 tonnes d'eau, 4 tonnes de charbon) est de 132 tonnes.

La machine *Ljungström*² est composée de deux châssis attelés entre eux; le premier du type 230, n'est pas moteur et porte la chaudière, le second, moteur, du type 031, porte les turbines et le condenseur.

La chaudière, timbrée à 20 kilogrammes, a une surface de grille de 2^m2,7, les tubes n'ont que 3 mètres de long et les gaz, encore chauds, qui en sortent, réchauffent l'air destiné à la combustion; cet air est forcé dans le cendrier par un ventilateur mû par une turbine auxiliaire à 10.000 tours de 40 chevaux.

¹ Sur la locomotive à turbines en général :

B. A. L., janvier 1911. — *L'emploi de la turbine à vapeur sur les locomotives* Organ, 15 février 1924. — WAGNER, *Die Turbolokomotive. Ihre Wirtschaftlichkeit Bauart und Entwicklung.*

B. A. L., octobre 1922, p. 1177; — V. D. L., avril 1922, p. 351; — Organ., 15 juillet 1922, p. 215; — *The Engineer*, 24 mars 1922.

² B. A. L., décembre 1922, p. 1324; — *Engineering*, 21 juillet-4-11-18 août 1922; — *Technique moderne*, n° 13, 1922 — n° 18, 1924; — 1^{er} avril 1925; — *The Locomotive*, 15 mars 1923; — 15 novembre 1926; *Railway Age*, 29 mars 1924; — V. D. L., 20 septembre 1924; — *Revue générale*, Juillet 1924; — Mars 1925; — Organ, 30 novembre 1924; — 30 juillet 1925; — *Railway Gazette*, 29 octobre 1925; — 10 septembre 1926; *Railway and loc. Engineering*, août 1926, p. 213, 23 décembre 1927; — *Railway Age*, 18 août 1928 (comparaison Suède, Argentine, London, Midland et résultats d'essais); — *Engineer*, 5-12-29 avril 1929; — R. G., décembre 1922; — *Revue générale*, 1924; — Mars 1925; — Avril 1927; — Avril 1928; — Février 1930.

Le condenseur est du type à surface à refroidissement direct par l'air. Ce refroidissement s'obtient en faisant passer la vapeur dans des éléments très plats, munis d'ailettes ; les ailettes de deux éléments voisins accolés se chevauchent, ménageant entre elles des conduits à travers lesquels l'air est chassé par des ventilateurs.

La turbine n'est pas une turbine du type Ljungström à courant de vapeur radial, mais une turbine à impulsion suivie d'une turbine à réaction dans lesquelles le courant de vapeur a une direction parallèle à l'axe. Elle développe 1.800 chevaux à 9.200 tours, ce qui correspond à la vitesse de 110 kilomètres à l'heure pour la locomotive. Sa position sur le véhicule qui ne porte pas la chaudière, nécessite l'emploi d'une canalisation flexible de vapeur à haute pression.

La turbine commande les essieux par une double réduction d'engrenage, et un faux essieu accouplé lui-même par bielles avec les roues motrices, le rapport de réduction total est de 22 à 1.

Le changement de marche s'obtient en insérant entre le dernier pignon et celui du faux essieu un pignon auxiliaire qui, dans la marche en avant, se trouve dégagé. La commande a lieu par huile sous pression.

Le bilan thermique est le suivant. Le réchauffage de l'air récupéré 7 0/0, le réchauffeur d'eau 14 0/0 des calories dégagées par le combustible.

Défalcation faite de ces calories récupérées, les 100 unités de chaleur produites par la chaudière se répartissent comme suit :

Pertes par les gaz chauds, les cendres, le rayonnement.....	18
Fuites à la turbine et rayonnement.....	3,5
Puissance absorbée par les ventilateurs.....	3,3
Chaleur rejetée au condenseur.....	60,5
Travail utile.....	14,7

Cette locomotive comporte un nombre considérable de dispositions tout à fait nouvelles et très ingénieuses.

Outre la première locomotive d'essais, en Suède, quatre locomotives de ce type, au moins, ont été construites, une pour le Japon, une pour les chemins de fer à voie de 1 mètre du Central Argentin (1925), une (Beyer Peacock) pour les chemins du Midland and Scottish Railway (1925), une quatrième de 2.000 chevaux, turbine à 1.000 tours, poids 145 tonnes pour les chemins de fer de l'État Suédois a été mise en service en mars 1927.

Dans ces modèles, le réchauffeur d'air primitif à tubes dans la boîte à fumée a été remplacé par le réchauffeur rotatif du type industriel de la Société Ljungström appliqué sur les navires.

La locomotive du L. M. S. est timbrée à 21 kilogrammes ; poids total à vide 143 tonnes, puis-

sance de la turbine 2.000 C. V. Puissance maximum utile au crochet 1.200 C. V. Consommation de charbon aux 100 tonnes par kilomètre remorquées 3^{ks},100. En cas de construction de 10 unités, le prix d'achat serait 70 0/0 plus élevé que pour une locomotive ordinaire (B. A. I., novembre 29).

Locomotive à turbine Ljungström sans condensation 1.

La Compagnie Suédoise Trafik Aktiebolag et Grangesberg-Oxelsund a commandé deux locomotives à turbine Ljungström sans condensation avec lesquelles elle espère réaliser une économie de 20 0/0 par rapport aux locomotives à pistons.

Ces locomotives de 3 mètres carrés de surface de grille sont timbrées à 13 kilogrammes et pèsent 91^{ks},5 dont 72 tonnes de poids adhérent. Elles sont du type 140. La turbine placée à l'avant de la boîte à fumées attaque par l'intermédiaire d'un engrenage simple un faux arbre qui transmet le mouvement par bielles aux quatre essieux accouplés.

Le tirage est provoqué par la vapeur d'échappement de la turbine dont la pression est de 0^{ks},400.

La locomotive à turbines Zoëilly² a été d'abord une locomotive d'études établie avec une locomotive des chemins de fer fédéraux suisses. Elle se compose d'une locomotive ten wheel, qui porte la chaudière, la turbine principale et le condenseur, attelée à un tender qui porte le combustible, l'eau et le réfrigérant de l'eau du condenseur. La turbine principale est une turbine Zoëilly à action à six étages, à 7.500 tours, 1.000 chevaux, placée à l'avant de la chaudière et commandant par un double train d'engrenages, réduction 1 à 7 et 1 à 4,1, un faux essieu accouplé par bielles aux essieux moteurs. Sur la turbine, des disques spéciaux forment une turbine pour la marche arrière.

Le condenseur est à surface à circulation d'eau. L'eau vient du tender, se réchauffe dans le condenseur et retourne au tender ou on la refroidit en la faisant tomber en pluie sur des claies, traversées par un violent courant d'air créé par un ventilateur. Cet air se charge d'humidité suivant sa température et son état hygrométrique, et l'évaporation d'une partie de l'eau de circulation refroidit le reste. On dépense ainsi une quantité d'eau égale environ à 0.8 de l'eau vaporisée par la chaudière; par contre, il suffit d'un ventilateur d'une puissance beaucoup plus faible que pour condenser la vapeur par

¹ *Engineer* 5-12-19 avril 1929; — 9 août 1929; — G. R. r., janvier 1930.

² B. A. I., décembre 1925; — mars 1926; — V. D. I.; 10 décembre 1921; — T. M., février 1922; — B. G., janvier et février 1925.

simple transmission des calories à l'air à travers une paroi, comme cela a lieu dans la locomotive Ljungström.

Deux locomotives Zoelly type Pacific de 2.000 chevaux ont été construites par Krupp ; à la suite d'essais à poste fixe, elles ont été modifiées (réchauffeur, tender-condenseur, buse de la turbine principale)¹, une locomotive est en service en 1930.

Locomotive Reid Mac Leod² de la North British Loc. Cy.

Cette locomotive se compose d'un châssis général, portant d'arrière en avant : la chaudière encadrée par les soutes, la cabine et le condenseur.

Ce châssis est porté à chaque extrémité par un bogie comprenant deux roues porteuses et deux roues motrices, on a ainsi une locomotive articulée du type 22 + 22. Chaque bogie porte une turbine, HP d'un côté, BP de l'autre, l'axe de chaque turbine est parallèle à la voie, il commande les deux roues motrices correspondantes par l'intermédiaire d'un engrenage réducteur droit et d'engrenages coniques. La marche arrière s'effectue par une turbine spéciale calée sur l'axe de chacune des turbines. Le tirage a lieu par air forcé dans le cendrier en marche normale et par aspiration dans la boîte à fumée lors de l'ouverture des portes du foyer.

Chaque turbine est de 500 chevaux à 8.000 tours/minute.

La condensation a lieu directement par le passage de la vapeur à travers des tubes de laiton. Ces tubes sont refroidis par un courant d'air, produit par un ventilateur et contenant en suspension un brouillard d'eau. La machine marche condenseur en avant.

Locomotive Imfeld et Ludwig, construite par Maffei pour les chemins de fer du Reich³.

Cette locomotive, qui est une locomotive Pacific, a été construite pour être comparée à la Pacific unifiée de la Reichsbahn à simple expansion de 4^m2,50 de surface de grille ; sa surface de grille est de 3^m2,50, son timbre de 22 Hzp, elle présente dans son ensemble toutes les dispositions de la locomotive Zoelly :

Turbine placée à l'avant de la chaudière, commandant par l'intermédiaire d'un train d'engrenages (rapport de réduction 1/24), un faux essieu accouplé par bielles aux essieux moteurs.

¹ *Railway Mechanical Engineer*, Février 1927. — R. G., Juillet 1927 ; — V. D. I., 8 octobre 1927 ; — A. G., 1^{er} avril 1930.

² *The Engineer*, 4 février 1927.

³ *Railway Mechanical Engineer*, février 1927 ; — G. C., 29 janvier 1927 ; — V. D. I., 20 novembre 1926 ; — 8 octobre 1927 ; — R. G., 1^{er} juillet 1927 ; — B. A. I., 1^{er} juillet 1927.

Condenseur à surface sur la machine, réfrigérant de l'eau de circulation du condenseur situé sur le tender, refroidissement par évaporation partielle de cette eau sous l'influence d'un courant d'air créé par un ventilateur.

Réalisation de la marche arrière par une turbine spéciale calée sur l'arbre de la turbine principale.

Obtention du tirage par un ventilateur aspirant à l'avant de la boîte à fumée.

Elle est munie de la surchauffe. Réchauffage de l'eau d'alimentation en deux étapes, à 90 puis 130°, en utilisant la vapeur d'échappement de la turbine principale et celle des turbines auxiliaires.

La locomotive pèse 20 tonnes par essieu accouplé (nouvelle charge maxima des chemins de fer du Reich) et au total 104 tonnes en ordre de marche, le poids du tender contenant le réfrigérant est de 68 tonnes. La chaudière est timbrée à 22 kilogrammes, elle est du type ordinaire.

La locomotive développe sur le faux essieu avec la tuyère d'injection supplémentaire de démarrage, 2.500 chevaux.

Avec les trois tuyères normales d'injection, la puissance est de 2.000 chevaux.

Ces conditions de puissance et de poids la rapprocheraient d'une locomotive Pacific à piston, en ce qui concerne la puissance spécifique.

Le *problème capital* qui se pose, pour toutes les machines à turbines, au point de vue du rendement thermique est de savoir : *quel degré de vide est obtenu par le condenseur à la suite de plusieurs heures de marche à pleine puissance.*

Ici, le réfrigérant diffère à peine du réfrigérant Zoelly sous sa dernière forme; (locomotive Zoelly-Krupp) dans les premiers essais de Zoelly, l'eau tombait en pluie dans une espèce de tunnel où circulait un violent courant d'air, les gouttelettes d'eau étaient emportées et vaporisées en dehors du tender, ce qui ne faisait pas baisser la température de l'eau restante. Dans une forme ultérieure, celle qui a été réalisée dans la locomotive construite par Krupp, on a cherché à éviter l'entraînement de l'eau, l'eau tombe sur des claies perforées garnies d'anneaux Raschig (tronçons de tubes de longueur égale au diamètre pour qu'ils se disposent naturellement dans des positions arbitraires et ne se collent pas l'un à l'autre suivant une génératrice).

Dans la locomotive Imfeld et Ludwig, l'eau s'écoule sur des plaques verticales soumises au courant d'air.

La contenance d'eau du tender est de 4^m.300.

Cette locomotive comporte en plus de la locomotive Zoelly le réchauffage de l'air de combustion.

Cette locomotive est en service en 1930 et l'assure, paraît-il, dans des conditions satisfaisantes.

Locomotive Krupp à haute pression, 60 kilogrammes.

La chaudière est à tubes d'eau du type Thornycroft.

Le moteur se compose de trois turbines, une turbine HP n° 1 et deux turbines BP n° 2 et 3, utilisant la vapeur d'échappement de la première.

La turbine HP, utilisée en permanence, a une courbe de rendement qui permet son utilisation rationnelle à des vitesses de 80 à 110 kilomètres à l'heure.

La turbine n° 2 a une courbe de rendement analogue, la turbine n° 3, un maximum de rendement de 40 à 80 kilomètres à l'heure.

Au moment du démarrage, la turbine HP calée directement sur l'arbre moteur est mise en marche en même temps que la turbine n° 3. Puis quand la vitesse de 80 kilomètres à l'heure est obtenue, la turbine n° 3 est déclenchée automatiquement et s'arrête tandis que la vapeur d'échappement de la turbine HP passe dans la turbine n° 2 calée sur l'arbre moteur et qui jusqu'alors tournait à vide.

La locomotive Maffet à chaudière Benson (250 kilogrammes) commandée par la Reichsbahn comportera une turbine HP et une BP avec réchauffage intermédiaire. La pression de la vapeur sera ramenée à 150 kilogrammes par centimètre carré pour son utilisation. Nous donnons dans le paragraphe Chaudière à haute pression, le principe du fonctionnement de cette locomotive.

Conclusion. — Nous ne pouvons pas donner de résultats d'essais, car nous ne connaissons pas de compte rendu d'essai *en service courant*. On cite des chiffres de consommation de 0^{kg},60 de charbon par cheval-heure indiqué, alors que la consommation d'une locomotive à piston à surchauffe est réellement d'environ 0^{kg},9 à 1^{kg},2.

Ces essais de réalisation de locomotive à turbine sont très intéressants, mais le refroidisseur qui, sous un faible volume et un faible poids, est capable de dissiper l'énorme quantité de calories cédées au condenseur, n'est pas encore trouvé, le serait-il que la locomotive ainsi constituée porterait encore un grand nombre d'éléments délicats, des pompes, une tuyauterie formidable, entraînant des risques d'avaries et d'immobilisation incompatibles avec un service régulier.

Nous ne croyons pas du reste qu'aucune des locomotives à turbines construites fasse un service régulier, nous entendons par là un service non interrompu par des séjours trop fréquents ou trop longs à l'atelier ¹.

¹ Lipetz, R. M. E., Juillet 1928.

LOCOMOTIVE MIXTE A PISTONS ET A TURBINE¹

En présence de l'impossibilité pratique de condenser la vapeur sur les locomotives à pistons en raison du trop grand volume à donner aux cylindres et désireux néanmoins d'améliorer le rendement de la vapeur par la condensation. On a imaginé d'employer la vapeur dans des cylindres à la pression de la chaudière et d'utiliser la vapeur d'échappement de ces derniers dans une turbine fonctionnant avec condenseur.

La locomotive à pistons avec tender moteur à turbine système Henschel-Zoelly a été construite sur ce principe. Les inventeurs se sont en outre proposés d'établir un dispositif qui puisse être appliqué à toute locomotive à pistons existante.

Sur cette locomotive la vapeur d'échappement des cylindres est conduite dans le tender moteur à turbine et le tirage est assuré par un ventilateur mu par une petite turbine à vapeur vive.

Le tender à turbine joue le rôle d'une locomotive à turbine recevant la vapeur d'échappement de la machine à piston. Il est du type 122, à deux roues motrices accouplées à un faux arbre mu par la turbine par l'intermédiaire d'engrenages.

Il porte le condenseur à surface, la vapeur à condenser circule dans des tubes sur lesquels ruisselle de l'eau dont l'évaporation est activée par un courant d'air créé par des ventilateurs.

La turbine à vapeur possède trois étages pour la marche avant et un pour la marche arrière.

Un servo-moteur à huile commandé par la distribution Walschaerts de la machine à piston dispose la turbine pour la marche avant ou la marche arrière, de plus il régle l'arrivée de vapeur d'échappement, des cylindres à la turbine de façon que cette dernière fonctionne dans des conditions avantageuses quel que soit le cran d'admission aux cylindres.

Cette locomotive est essayée par les chemins de fer allemands.

La difficulté de condenser la vapeur a conduit à un résultat vraiment surprenant. La Compagnie suédoise Trafik-Aktiebolag et Grangesberg-Oxelstund vient de commander deux locomotives Ljungström à 13 kilogrammes à turbines sans condensation *The Engineer*, (9 août 1929); — R. Gr., janvier 1930.

¹ Bulletin Escher Wyss. Mars avril 1930; — A. Gr., Édition du 1^{er} janvier 1927 du 50^e anniversaire.

LOCOMOTIVES ARTICULÉES 1

Conditions d'emploi. — L'augmentation du trafic conduit tous les pays à employer des locomotives de plus en plus puissantes, par conséquent de poids adhérent de plus en plus élevé. On est ainsi amené tout d'abord à disposer de toute la charge par essieu qui permet la voie (18,500 en France, maximum en Europe 20 tonnes; 42 tonnes en Amérique), ensuite à augmenter le nombre des essieux couplés, on est arrivé à avoir jusqu'à six essieux couplés pour des locomotives rigides à voie normale, ce qui semble actuellement être un maximum. Si l'on veut augmenter encore la puissance des locomotives, il faut de toute nécessité ou augmenter la charge permise par essieu ou prendre une locomotive articulée.

Le choix de la solution peut dépendre de considérations très diverses, en particulier des conditions financières de l'exploitation du réseau; mais toutes les fois que l'on voudra une solution réservant l'avenir, on devra de préférence renforcer la voie de façon à permettre une charge par essieu plus élevée et exploiter avec des locomotives rigides.

En effet, à poids total égal une machine articulée a du fait de sa chaudière relativement petite par rapport à ce poids total, une puissance maximum (pouvant être soutenue) plus faible que les deux locomotives normales qui seraient composées des deux châssis moteurs qui la constituent.

D'autre part : A puissance égale une machine normale, même une machine tender, est moins lourde qu'une machine articulée : dans cette dernière, en effet, la matière est mal utilisée par suite de la nécessité de supporter la chaudière par un châssis très important qui repose lui-même sur deux châssis de locomotives.

Toutes les fois donc qu'on pourra faire le service avec une machine normale il y aura intérêt à le faire.

On met en avant en faveur de la locomotive articulée sa facilité de passer dans les courbes de faible rayon ; il faudrait préciser à quelle vitesse. Des machines rigides à cinq essieux couplés convenablement établies peuvent passer dans des courbes de 90 mètres de rayon dans des conditions de stabilité parfaite, tandis que la constitution même de la locomotive articulée introduit dans son étude des points délicats qu'il semble bien difficile de résoudre d'une façon satisfaisante.

Chaque châssis d'une locomotive articulée, sous une de ses formes courante, est chargé à l'une de ses extrémités d'un poids constant : sa part du poids du châssis principal, à l'autre extrémité d'un poids

variable, celui des approvisionnements; la répartition du poids sur les essieux varie donc constamment et le bissel extrême se décharge à mesure que les approvisionnements s'épuisent (nous verrons cependant que les locomotives Fairlie échappent à cette critique).

D'autre part le châssis principal est monté sur les deux châssis moteurs par deux pivots dont l'un au moins doit être à crapaudine plane et d'assez grandes dimensions pour assurer l'équilibre transversal du châssis portant la chaudière, l'autre pivot devant permettre théoriquement tous les mouvements du deuxième châssis par rapport au premier devra être sphérique. Il arrive parfois que ces pivots, par suite des nécessités de la construction, ne sont pas au centre des châssis extrêmes, et ces derniers sont soumis d'une part à des efforts verticaux assez différents à droite et à gauche, d'autre part à des efforts latéraux. On voit sans insister davantage que pour réaliser une bonne circulation en courbe, un grand nombre de problèmes sont à résoudre, et la pratique peut seule montrer jusqu'à quel point ils sont convenablement résolus sur une machine donnée. Il est à notre avis plus difficile d'établir une locomotive articulée qui ne déraile pas qu'une locomotive ordinaire.

La construction de la machine articulée introduit en outre diverses complications : des joints de vapeur articulés, un double système de freinage, cylindres et timonerie; son prix d'achat est supérieur à celui d'une machine normale de même puissance; son entretien doit être au moins aussi coûteux que celui des deux machines tenders qu'elle remplace.

En résumé la locomotive articulée est une solution *exceptionnelle* et *anormale*. On est amené à l'employer lorsqu'on est arrivé à l'extrême limite de puissance imposée par le poids par essieu, mais plutôt que d'être ainsi obligé dans l'avenir à ne plus exploiter que par des locomotives articulées, il semble de beaucoup préférable de renforcer la voie et de conserver la machine normale qui, à puissance égale, est moins coûteuse d'achat et d'entretien, qui permet des vitesses plus élevées et qui, si elle est convenablement établie, est certainement au moins égale à la locomotive articulée au point de vue de la circulation en courbe et dans les appareils de voie.

Comme confirmation de cette conclusion : les Américains, qui ont employé beaucoup de locomotives Mallet, les abandonnent pour des locomotives rigides. Par exemple, la locomotive 261, construite pour l'Union Pacific Railroad remplace les machines Mallet 14 + 40 et remorquera le même tonnage à des vitesses supérieures; vitesse maxima 65 kilomètres à l'heure au lieu de 32; vitesse moyenne de service, 32 kilomètres à l'heure au lieu de 19.

Divers types de machines articulées. — Nous allons passer en revue les types principaux de locomotives articulées en ne considé-

rant que leurs caractéristiques essentielles, et en nous bornant aux types en usage actuellement, laissant de côté toute la partie historique et les détails de construction, renvoyant le lecteur à l'ouvrage très documenté, *les locomotives articulées* de M. Lionel Wiener (1926), duquel nous extrayons la plupart des renseignements qui suivent ¹.

On peut grouper les locomotives articulées en locomotives semi-articulées, locomotives articulées à bielles, locomotives articulées à engrenages.

Locomotives semi-articulées.

Dans la catégorie des locomotives semi-articulées peuvent prendre place des locomotives rigides dont certains essieux moteurs possèdent des dispositifs pour faciliter l'inscription en courbe; nous mentionnerons les systèmes :

Klien-Lindner, Shay, Luttermöller, Engerth, Klose, Hayans, Göldsdorf, Krauss-Helmholtz, Zara, mais le véritable type de la locomotive semi-articulée est la locomotive Mallet.

Locomotive Mallet. — Elle est caractérisée par deux trains de roues, le train arrière est solidaire de la chaudière, comme dans les locomotives rigides, il porte deux cylindres et un mécanisme de distribution. Le train de roues avant qui porte également deux cylindres forme un châssis mobile à la façon d'un bissel autour d'une charnière verticale situé à l'avant du train arrière.

La chaudière s'appuie à l'avant sur ce châssis, par un secteur circulaire plan. Le châssis avant est rappelé dans l'axe de la chaudière par des ressorts. En principe les cylindres du groupe arrière sont à HP, ceux du groupe avant à BP, la communication entre les deux groupes a lieu par une canalisation à rotule et à joint glissant, les organes de choc et de traction sont portés par les extrémités du châssis fixe arrière et du châssis mobile avant.

Elle comporte la plupart du temps un tender séparé.

La locomotive Mallet qui est apparue en 1888 s'est rapidement propagée en Europe, principalement sur les chemins de fer à voie étroite; elle a connu un très grand développement en Amérique sous sa forme compound. En raison du grand diamètre qu'exigent les cylindres HP des machines très puissantes, on semble se tourner maintenant du côté des locomotives Mallet à quatre cylindres HP. Cette

¹ Voir également l'article : *Description des types de locomotives*, par Coquer, dans la *Revue Générale de l'Électricité*, numéro du 15 janvier 1927.
 H. G., Juillet 1930.

disposition a l'inconvénient de faire passer dans les tuyaux articulés de la vapeur HP.

On a construit des locomotives Mallet à tender et Mallet à tender séparé pour voie normale et voies étroites.

Les premières locomotives Mallet étaient à petit nombre d'essieux couplés ; à mesure que la voie permettait des poids par essieux plus élevés, ces locomotives Mallet étaient remplacées par des locomotives rigides, mais on construisit alors des Mallet à plus grand nombre d'essieux.

Un inconvénient de la machine Mallet est le grand porte-à-faux de sa chaudière dans les courbes, qui encombre le gabarit, surtout avec les locomotives actuelles extrêmement longues ; de plus le point d'appui de la charge sur le train avant est très désaxé, on a essayé d'y remédier en faisant une chaudière articulée ; cet essai ne semble pas avoir été étendu.

Locomotives articulées proprement dites.

Locomotives jumelées. — Ce sont deux locomotives-tenders accouplées dos à dos qui ont été utilisées dans quelques cas spéciaux.

Locomotives Fairlie. — La locomotive Fairlie comporte une chaudière à deux corps cylindriques se réunissant au milieu en un seul foyer, deux cheminées aux deux extrémités : cette chaudière est portée par deux châssis moteurs. Entre les châssis moteurs on a la place nécessaire pour établir convenablement le foyer et le cendrier, le foyer étant central ne risque pas d'être découvert sur les pentes ; la machine est relativement courte ; il n'est pas besoin d'un châssis spécial pour supporter la chaudière et relier les deux châssis moteurs, l'appui sur ces châssis est central, la répartition du poids sur les essieux n'est pas influencée par la variation de poids des approvisionnements. Elles sont la plupart du temps à adhérence totale.

Locomotives Pechot-Bourdon. — Ces locomotives diffèrent peu des locomotives Fairlie ; l'organe central de choc et traction est articulé presque sur l'axe de rotation des bogies moteurs ; elles ont été employées en grand nombre pendant la guerre sur les chemins de fer stratégiques à voie de 0^m,60, où elles se sont parfaitement comportées.

Locomotive Fairlie modifiée à deux chaudières indépendantes. — Sur ce type on a séparé les deux corps de chaudières pour rendre la cabine centrale plus habitable, améliorer la visibilité et faciliter le service, on a donc deux foyers ; les deux chaudières sont réunies par un même châssis ; on conserve la plupart des avantages

de la disposition primitive, en particulier l'articulation au centre des bogies moteurs, et l'invariabilité de la charge. La locomotive est assez peu allongée pour que, par rapport à la locomotive Fairlie primitive, cet allongement ne soit pas gênant.

Locomotives Fairlie de la North British Co. — Il n'y a plus qu'un seul corps de chaudière du type courant ; des caisses à eau sont portées par le même châssis que la chaudière et sont situées aux deux extrémités de celle-ci.

Ces caisses à eau communiquent entre elles, le centre de gravité de l'ensemble ne change pas lorsque la provision s'épuise.

Le châssis supportant chaudière et caisse à eau repose au centre des trucks moteurs d'avant et d'arrière, la répartition du poids sur les roues est donc toujours la même, que les soutes soient pleines ou vides.

Les châssis moteurs sont rappelés dans l'axe du châssis principal par des ressorts situés à leur extrémité la plus proche du milieu de la machine. Le châssis principal est facilement démontable en trois tronçons portant respectivement la chaudière, les caisses à eau avant, les caisses à eau arrière.

Ces derniers tronçons sont ceux qui portent les pivots sur les trucks moteurs ; en faisant rouler ces dernières, on les écarte du tronçon milieu que l'on a préalablement soutenu.

Il en résulte une grande commodité pour l'entretien des différentes parties.

Locomotives Meyer. — La locomotive Meyer a une chaudière simple qui repose sur deux trucks moteurs : sur celui d'arrière par des appuis plans latéraux, sur celui d'avant par un pivot sphérique. Elle est caractérisée par ce fait que les deux trucks moteurs qui portent les appareils de choc et de traction sont reliés par une barre d'attelage qui transmet les efforts de choc et de traction sans passer par l'intermédiaire des pivots, comme cela a lieu pour le pivot avant dans les locomotives Garratt et Fairlie et pour les deux pivots dans les locomotives où les appareils de choc et de traction sont portés par le châssis de la chaudière.

Ce type de locomotive légèrement modifié a été construit par les ateliers Kitson de Leeds et Baldwin en Amérique et est très employé.

Dans les locomotives modernes la liaison par barre est supprimée entre les deux trucks moteurs. — Tous les approvisionnements sont portés par le même châssis que la chaudière. Les dernières locomotives de ce type construites de 1927 à 1929 sont des types 130 + 130 et 141 + 141. Les cylindres sont situés à l'extrémité de chaque truck opposée au

Locomotive du Bousquet du Nord Français. — Le châssis portant la chaudière et les approvisionnements repose sur le truck arrière par un pivot plan et sur le bogie avant par un pivot sphérique. Les appareils de choc et traction sont portés par le châssis principal.

Locomotive Garratt. — La chaudière de la locomotive Garratt est portée par un châssis qui repose et s'articule vers les extrémités intérieures des deux trucks moteurs, lesquels portent à l'autre extrémité les approvisionnements et les organes de choc et traction. La répartition du poids sur les différents essieux d'un truck varie à mesure que les approvisionnements s'épuisent.

Des essais comparatifs entre des locomotives « Fairlie modifiée » et Garratt de dimensions sensiblement identiques sont en cours sur les chemins de fer de l'Afrique du Sud.

Dans les locomotives Garratt-Union, le châssis qui porte la chaudière est prolongé vers l'arrière de façon à supporter également les soutes à combustible et la caisse à eau arrière. La caisse à eau avant continue à être portée par le truck avant.

En service ces locomotives ont prêté à de vives critiques. Il semble que les défauts que l'on a constatés soient imputables à un excès de charge de certains essieux.

Locomotives Golwé (Goldschmid-Weber). Haine Saint-Pierre Belgique. — La machine Golwe comporte comme les machines Garratt et Fairlietrois parties constitutives indépendantes. Comme sur la Garratt la partie centrale comprend la chaudière reposant sur des longerons latéraux ce qui permet d'avoir un foyer profond. Mais, à l'inverse de ce qui a lieu dans celle-ci, les trucks avant et arrière sont aussi rapprochés que possible du foyer qui plonge entre eux, d'où la possibilité de placer leurs pivots d'articulation vers le milieu de leur longueur. Les organes de choc et de traction étant portés par les trucks-moteurs.

Le truck avant ne porte aucun approvisionnement; la répartition de la charge sur ses essieux ne varie donc pas en cours de route.

Le combustible se trouve à l'arrière de la locomotive porté par le châssis principal ce qui facilite le travail de chauffe et permet l'application du chargement mécanique.

Seule la soute à eau est portée par le truck arrière. Voir R. G., janvier 1930.

Locomotives à transmission par engrenage. — Ces locomotives ne sont guère connues qu'en Amérique et rendent des services dans des exploitations de forêts, de plantations, de mines.

Le prototype est la locomotive à engrenages de Winterthur (1880) des chemins de fer du Sud de la France. Récemment Henschel a repris

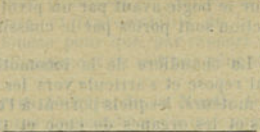


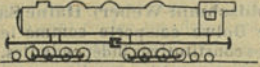
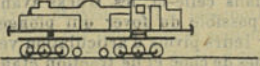
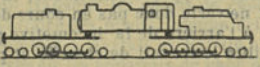

TYPES		NOTATION		
		FRANÇ ^E	ANGL ^{SE}	ALL ^{DE}
MEYER KITSON		131+131	262+262	1C1+1C1
FAIRLIE modifiée		141+141	282+282	1D1+1D1
MALLET		140+042	280+084	1D+D2
DU BOUSQUET		031+130	062+260	C1+1C
GARRATT		241+142	482+284	2D1+1D2
GOLWÉ		130+031	260+062	1C+C1

Fig. 67.

l'idée pour diminuer l'empatement rigide d'une locomotive à cinq essieux couplés, le cinquième essieu, au lieu d'être mû par bielle, l'est par engrenages.

Les types principaux sont les locomotives *Shay*, *Climax*, *Baldwin*, *Heissler*. Les cylindres, très souvent verticaux, actionnent un ou plusieurs arbres longitudinaux qui transmettent par engrenages le mouvement aux essieux des trucks moteurs.

LOCOMOTIVES SPÉCIALES

Locomotives à crémaillère. — Il est intéressant de dire quelques mots des locomotives à crémaillère, dont l'emploi tend de plus en plus à se développer dans les régions montagneuses.

L'effet utile des locomotives, c'est-à-dire le poids remorqué par celles-ci, diminue dans une forte proportion à mesure que la rampe augmente. Ainsi, avec un coefficient d'adhérence de $1/7$, la charge remorquée n'est plus que le double du poids adhérent de la machine pour une rampe de 41 millimètres par mètre, et la locomotive ne remorque plus que son poids sur une rampe de 63 millimètres.

Or, dans les pays de montagne, il peut y avoir intérêt à construire des chemins de fer avec des rampes très fortes, dans le but soit de rendre le chemin de fer possible, soit de diminuer les frais de premier établissement et de rémunérer les capitaux engagés.

Nous citerons, dans la première catégorie, les chemins de fer de montagne construits un peu partout, mais notamment en Suisse, où la ligne du Righi, avec rampes de 250 millimètres par mètre, a été le premier exemple de chemin de fer à crémaillère en Europe. Le chemin de fer du mont Pilate, près de Lucerne, est établi avec des rampes de 400 millimètres par mètre.

Dans la seconde catégorie, nous citerons, comme exemple, la ligne à voie de 1 mètre et rampes de 80 millimètres, du chemin de fer transandin, qui, en traversant la Cordillère des Andes, réunit l'océan Atlantique avec le Pacifique. Cette ligne a été inaugurée en 1910¹.

On a donc étudié le moyen d'accroître les limites de l'adhérence et on a créé le chemin de fer à crémaillère.

Ce système consiste à établir dans l'axe de la voie une *crémaillère* formée soit de fers en Ω fixés aux traverses et dont les montants verticaux sont réunis par les échelons, de section trapézoïdale (système Riggensbach), soit formée de plusieurs lames d'acier parallèles accolées dont la tranche supérieure est munie de dents croisées; les lames sont

¹ *Revue générale de l'Industrie*, Juin 1910, p. 100.

fixées dans des coussinets boulonnés sur les traverses (système Abt).

Avec cette crémaillère vient s'engrener un pignon fixé au châssis de la locomotive et mis en mouvement par les cylindres de celle-ci, si elle est à vapeur, ou par un moteur électrique.

La rampe, à partir de laquelle la crémaillère devient applicable, est assez difficile à fixer et dépend d'une foule de circonstances spéciales; on peut, néanmoins, admettre qu'à partir de 40 à 50 millimètres par mètre il y a avantage à employer ce système; toutefois cela dépend beaucoup du trafic de la ligne.

La crémaillère peut être établie sur toute la longueur ou sur certaines parties seulement de la ligne.

Les locomotives à crémaillère destinées à remorquer les trains peuvent également se diviser en plusieurs catégories :

1° Les locomotives dans lesquelles on renonce franchement à se servir de l'adhérence pour la traction. Les roues porteuses sont folles sur les essieux et la roue dentée supporte tout l'effort de traction. Comme exemple de ce système, nous citerons les machines du Righi, de Vitznau-Righi et du mont Pilate.

2° Les locomotives où on fait contribuer les roues porteuses au travail de la traction, en utilisant leur adhérence; dans ce cas, elles sont calées sur leur essieu et suivent le mouvement de la roue dentée, qui ne supporte plus qu'une fraction plus, ou moins grande de l'effort total de traction. C'est alors une machine mixte à un seul mécanisme pouvant marcher soit par adhérence seule, soit par adhérence et crémaillère. Dans ce cas, la roue dentée et les roues porteuses, liées ensemble, doivent avoir le même diamètre. Nous citerons comme exemple de ce type de machine : les locomotives à crémaillère d'Ostermundigen, de Wasseralfingen, de Friederichsseggen à la Lahn, de Langres et du Brünig.

En général, ces machines sont portées par deux essieux; les cylindres sont extérieurs et commandent par bielles et manivelles un arbre auxiliaire. Sur cet arbre sont calés, symétriquement par rapport à l'axe de la machine, deux pignons engrenant avec deux autres roues dentées de plus grand diamètre, accolées symétriquement de part et d'autre de la roue dentée motrice. L'axe de cette roue, à son tour, transmet son mouvement par bielles et manivelles aux roues porteuses.

Le rapport des vitesses entre l'arbre intermédiaire et les roues motrices est généralement de 1,75.

Dans le même ordre d'idées, M. Abt a créé, vers 1885, un autre type qui comprend deux mécanismes moteurs distincts. Les roues à adhérence sont commandées par deux cylindres extérieurs et les roues dentées motrices, généralement au nombre de deux, par deux autres intérieurs. On peut donc obtenir, dans les parties sans crémaillère, la vitesse que l'on désire, sans être gêné, comme dans le type précédent, par la connexion des roues à adhérence et crémaillère.

Cet avantage est compensé par une complication et une augmentation du poids des locomotives.

Lorsque ces dernières machines sont destinées à remorquer des trains lourds, elles sont supportées par 3 essieux couplés et 1 essieu porteur à l'arrière disposé en bissel. Le poids de quelques-unes de ces machines atteint 55 tonnes.

Nous citerons comme exemple de ces machines : les locomotives des chemins de fer de Blankenburg à Tanne, de Viège à Zermatt, de Lehesten à Erstelbruch, de Dicophtho à Calavryta et de l'Hollenthal.

Sur ces lignes à fortes pentes, les *freins* ont une importance capitale et ils doivent être simples, puissants et sûrs. Dans ce but, on emploie les freins à friction, qui se composent d'une poulie fixée sur l'essieu moteur et que peuvent venir enserrer deux mâchoires manœuvrées par le mécanicien à l'aide de tringles et leviers.

On se sert également du frein à air comprimé Riggenbach, qui permet de descendre avec une sécurité absolue les pentes les plus fortes. En fermant le robinet d'évacuation de l'air comprimé par le piston, on peut arrêter le train presque instantanément.

La ligne du Transandin que nous avons signalée et qui est un des plus beaux exemples de ligne à grand trafic comprenant des sections à traction à crémaillère, traverse la Cordillère des Andes à l'altitude de 3.207 mètres.

Du côté argentin on trouve six sections à crémaillère avec une rampe moyenne de 48 millimètres par mètre, une rampe maximum de 61 millimètres ; du côté chilien cinq sections à crémaillère avec une rampe moyenne de 69 millimètres par mètre, une rampe maximum de 80 millimètres. Ces sections à crémaillère sont séparées par des sections à adhérence d'une rampe moyenne de 10 millimètres du côté argentin, 20 millimètres du côté chilien.

Cette ligne à voie de 1 mètre vient d'être électrifiée (fin 1926). Les locomotives à vapeur chiliennes pesaient 88 tonnes en ordre de marche et remorquaient des trains de 120 tonnes ; elles représentaient donc 42 0/0 du poids total du train, les locomotives électriques pèsent 84 tonnes dont 72 tonnes de poids adhérent remorqueront 150 tonnes à 15 à 16 kilomètres à l'heure, vitesse notablement plus élevée que celle des locomotives à vapeur.

La traction se fait par courant continu à 3.000 volts ; la machine comporte quatre moteurs d'adhérence et deux moteurs de crémaillère.

La question du freinage a été particulièrement étudiée. Les locomotives comportent le freinage à air comprimé, automatique et non automatique, le freinage électrique, le freinage à main ¹.

¹ Bulletin de l'Association internationale, décembre 1925.

Pour l'étude des chemins de fer à crémaillère, on consultera utilement :

LÉVY LAMBERT, *Chemins de fer à crémaillère*. Encyclopédie Lechalas, 2^e édition, Gauthier-Villars; — STRUB, *Bergbahnen der Schweiz*, Editeur Bergmann, Wiesbaden.

Locomotive à vis sans fin. — M. Levis, ingénieur anglais, a imaginé de remplacer la crémaillère par une vis sans fin contre laquelle viennent s'appliquer des galets portés par la locomotive. La vis sans fin tourne constamment sous l'action d'une série de moteurs électriques; elle règne tout le long de la ligne, son pas est variable: court dans les stations, il est allongé le long de la ligne, d'où faible vitesse aux stations et plus grandes vitesses sur les autres points. La locomotive n'a, par suite, ni moteur, ni chaudière.

Locomotive à adhérence supplémentaire. — On a breveté, dès l'origine des chemins de fer, l'idée d'employer, pour franchir les fortes rampes, une locomotive à adhérence supplémentaire indépendante du poids: la locomotive portait, à cet effet, des roues horizontales pressées plus ou moins fortement contre un rail central qu'elles saisissaient latéralement. Une application intéressante de ce système a été faite par M. Fell pendant les travaux de percement du tunnel du mont Cenis, mais le mécanisme de la locomotive Fell était bien compliqué, son rendement était faible. La création des chemins de fer à crémaillère fit abandonner la locomotive à adhérence supplémentaire. Mais l'idée a été reprise, il y a quelques années à peine, par M. Hanscotte, ingénieur de la Compagnie de Fives, qui en a fait d'heureuses applications à des lignes de montagne (Clermont-Ferrand au Puy de Dôme, etc.). Grâce à des dispositifs nouveaux, que les ressources de la construction mécanique permettent maintenant d'exécuter avec facilité, grâce à l'emploi de l'air comprimé pour la commande des mécanismes, M. Hanscotte a créé une locomotive à adhérence supplémentaire qui donne, en service courant, de meilleurs résultats que l'exploitation par crémaillère ou par funiculaire.

DIMENSIONS PRINCIPALES DES LOCOMOTIVES DES RÉSEAUX FRANÇAIS

On trouvera dans le tableau suivant les dimensions principales de ces locomotives.

Certaines locomotives existent sur plusieurs réseaux différents, nous les avons réunies par une accolade dans la première colonne. Bien qu'elles soient semblables dans leur ensemble, les indications données pour le diamètre des roues et les poids diffèrent parfois. Ces indications sont celles qui sont données par les réseaux, qui ne comptent pas tous de la même façon : Les uns donnent le diamètre des roues et les poids en supposant que les bandages sont déjà usés d'une certaine quantité, les autres donnent ces renseignements en partant des bandages neufs. Par ailleurs, d'un réseau à l'autre, les machines ont pu subir des modifications qui changent les poids ; calorifuge, réchauffeur d'eau, etc.

Dimensions principales des locomotives françaises.

Locomotives	Année de construction	Réseau	Numéros des séries		Diamètre des roues	Surface de grille	Contenance	Nombre de cylindres	Diamètre des cylindres	Poids total en ordre de marche	Poids des adhérents	Effort de traction	P/F
			Anciens	Nouveaux		G	U				P	F	
T.S.	1908-1909	AdL	2-106	2-100	1.600	2 ^m 25	Γ ₂	12 ⁵	540	59.710	45.690	13.778	3,5
T.S.	1895-1901	℞	{ 1.350 4.001	3.994	1.350	{ 2.25 ^a 2.30	Γ ₂	12	450	48.350	39.175	11.339	3,5
T.S.	1903-1904	℞	{ 1.305 4.024	4.244	1.350	{ 2.25 ^a 2.30	Γ ₂	12	490	54.000	42.900	13.445	3,1
T	1901-1915	℞	7.290	7.051	1.350	1.53	Γ ₂	12	450	60.390	45.580	11.339	4,0
T	1904-1908	℞	7.512	7.300	1.500	1.73	Γ ₂	12	480	62.900	47.850	11.612	4,1
T	1907-1915	℞	7.704	7.703	1.500	{ 1.70 ^a 1.73	Γ ₂	12	540	66.320	50.830	14.697	3,5
T.S.	1896-1908	℞	778	4.001	1.350	{ 2.25 ^a 2.34	F ₂	12	HP 480 BP 680	50.140	40.400	9.699	4,2
T.S.	1902-1912	℞	{ 1.070 4.171	4.251	1.350	{ 2.25 ^a 2.30	F ₂	12	HP 500 BP 750	55.640	43.920	11.375	3,9

Locomotives type : 13.0.

T.S.	1909-1917	°	"	Chemicalice	7219	"	30.254	1.420	2.06	Γ_2	16	460	660	54.100	440.600	15.735	2.6
T	1898	°					751	1.350	1.58	Γ_2	12	430	630	52.840	41.770	10.554	4.1
T.S.	1904-1906	°					30.252	1.420	2.06	F_2	16	HP 410 BP 620	660	55.060	41.360	9.085	4.5
T.S.	1906	°					30.311	1.420	2.06	F_2	16	HP 450 BP 650	660	54.050	40.250	10.597	3.8
T.S.	1904-1908	Etat					130 001	1.510	2.16	F_2	15 ^k	HP 440 BP 660	600	49.000	38.300	8.059	4.8
T.S.	1908-1911	°					130 501	1.320	2.16	F_2	15	HP 480 BP 720	650	55.000	43.000	12.764	3.4
T.S.	1908-1912	°					130 601	1.440	2.20	F_2	15	HP 460 BP 680	640	55.800	47.000	10.397	4.6
T.S.	1895	Modi					2.851	1.610	2.26	Γ_2	8.5	450	650	50.000	39.200	6.949	5.7
T.S.	1898	°					2.865	1.610	2.26	Γ_2	10	450	650	51.400	40.200	8.175	4.9
T.S.	1900-1914	°					1.801	1.610	2.15	F_2	15	HP 450 BP 680	650	53.300	41.500	9.272	4.5
T.S.	1913	Modi					3.1501	1.750	2.40	Γ_2	12 ^k	570	680	"	"	15.150	"
T.S.	1887	°					3.395	1.664	2.12	F_3	14	HP 435 BP 500	700	47.400	40.600	8.629	4.7
T.S.	1913	°					3.1401	1.750	2.40	F_2	16	HP 500 BP 760	680	"	"	11.830	"

Dimensions principales des locomotives françaises.

Type (T, T.S., T.S.)	Date (Année)	Réseau	Numéros de série		Diamètre des roues	Surface de grille G	L Contour	Cimbré	Diamètre des cylindres	Boîte total en acier de maïsche	Boîte adhécent P	Effet de traction F	P F
			Anciens	Nouveaux									
T.S.	1914 1922	S.M.	1	130-A.1	1,650	2,32	Γ ₂	11 ^k	500	53,190	43,500	12,815	3,4
T	"	"	Chemise 5701	130-A.1	1,340	1,53	Γ ₂	12	450	60,740	46,120	11,425	4,0
T	"	"	Chemise 5751	130-BT.1	1,490	1,73	Γ ₂	12	480	63,410	48,510	11,590	4,2
T.S.	1885-1826	P.O.	"	1801	1,500	1,74 ou 1,78	Γ ₂	11 ^k	480	51,550	39,100	10,138	3,8
T.S.	1911-1912	"	"	601 ^s et 1946 ^s	1,350	2,43	Γ ₂	12	500	62,500	50,550	14,444	3,5
T.S.	1912-1913	"	"	1566 ^s	1,600	2,43	Γ ₂	12	500	63,600	50,550	11,250	4,5
T.S.	1914	"	"	1606	1,600	2,43	Γ ₂	12	500	62,800	50,000	11,250	4,4
T.S.	1899-1901	"	Chemise 4005	1834	1,300	2,254 2,30	Γ ₂	12	450	48,350	39,175	11,776	3,3
T.S.	1899-1906	"	Chemise 4004	1851	1,300	2,30 ou 2,32	Γ ₂	12	490	54,000	42,900	13,943	3,1
T	1894-1909	"	Chemise 7051	1861	1,300	1,53 ou 1,58	Γ ₂	12 (720,8)	430 ou 450	52,840	41,770	11,776	3,5
T	1910-1911	"	Chemise 7327	1869	1,300	1,53	Γ ₂	12	450 et 476	60,390	45,580	11,776	3,9
	1906-1908	"	"	1622	1,500	2,34	Γ ₂	12	IMP 400 1000	63,300	44,300	9,478	4,7

Date	Modèle	1901	1.350	2.34	F _z	16	H.P. 600 B.P. 680	52.300	43.200	10.531	4,3
1905-1910	°	1901	1.350	2.34	F _z	16	H.P. 600 B.P. 680	52.300	43.200	10.531	4,3
1906-1908	°	1965	1.300	2.254 2.34	F _z	12	H.P. 480 B.P. 680	50.010	40.610	10.072	4,0

Locomotives type : 1.3.1.											
1906	Est	V613	1.560	1.82	F _z	10 ^k	460	65.577	42.960	8.140	5,3
1924	°	"	1.420	2.06	F _z	13	510	77.461	47.670	15.716	3,0
1912	Est	Chemislee 1868 Est. Nord-Ouest	1.750	3.87	F _z	16 ^k	H.P. 360 B.P. 590	71.830	46.470	12.378	3,8
1916-1918	°	Chemislee 1912 Est. Nord-Ouest	1.600	2.06	F _z	12	540	78.580	50.140	13.996	3,6
1917-1918	°	Chemislee 1868 Est. Nord-Ouest	1.600	2.24	F _z	12	540	79.000	50.700	13.122	3,9
1908-1911	°	0.801	1.540	2.52	F _z	15	H.P. 540 B.P. 680	75.500	50.850	10.620	4,8

Locomotives type : 2.3.0.											
1906-1909	Atl.	901	1.380	2.75 2.80	F _z	16 ^k	H.P. 340 B.P. 560	67.130	46.330	9.819	4,7
1914	°	Chemislee 49	1.905	2.75	F _z	15	H.P. 430 B.P. 680	77.100	50.400	14.678	3,4
1903	°	Chemislee 3511	1.870	3.27	F _z	14	H.P. 355 B.P. 570	68.600	45.600	10.087	4,5

Dimensions principales des locomotives françaises.

Locomotive à vapeur T.S.	Année de construction	Récevoir	Numéros des séries		Diamètre des roues	Surface de gaille G	L no L S Compteur	L no L S Compteur	Diamètre des cylindres D _c	Vitesse max V _{max}	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent P	Effort de traction F	P F
			Anciens	Nouveaux										
T.S.	1904-1907	Act. L.	3321	384	1,870	3,27	F _a	16 ^d	HP 340 BP 570	640	69,600	46,400	10.628	4,4
T.S.	1913	∅	"	1101	1,980	2,95	F _a	15	HP 400 BP 610	660	82,510	51,110	12,241	4,2
T.S.	1914-1915	∅	"	1105	1,980	3,10	F _a	15	HP 400 BP 610	660	84,170	51,990	12,241	4,2
T.S.	1915-1916	∅	3806	1118	1,980	3,12	F _a	15	HP 400 BP 610	660	84,170	51,990	12,241	4,2
T.S.	1910-1911	∅	1002	1150	1,980	2,62	F _a	12	430	630	79,550	51,730	14,120	3,7
T.S.	1912-1913	∅	1003	1153	1,980	2,62	F _a	12	430	630	79,550	51,730	16,473	3,4
T.S.	1902-1903	∅	"	2301	1,850	2,75	F _a	16	HP 340 BP 560	640	65,600	45,600	10,508	4,4
T.S.	1905-1907	∅	3806	2331	1,640	2,62	F _a	15	HP 340 BP 570	640	64,930	42,920	11,665	3,7
T.S.	1911-1918	∅	2409	2350	1,750	3,32	F ₂	12	575 d 590	630	76,795	50,825	15,038	3,4
T.S.	1901	Est	"	3101	2,090	2,86	F _a	16 ^d	HP 340 BP 540 BP 560 BP 570	660	75,110	52,760	9,591	5,5
T.S.	1905-1912	∅	"	3103	2,090	3,16	F _a	16	HP 360 BP 590	680	79,140	54,530	11,744	4,6

T S.	1924	∅	"	3231	2.090	3.1356	F ₄	16	(HP 405 BP 590)	680	79.410	54.690	12.131	4.5
T S.	1924	∅	"	3240	2.090	3.1556	F ₄	20	(HP 405 BP 590)	680	"	"	14.266	"
T S.	1913	∅	{ Chemilice 44	3301	1.905	2.74	F ₄	15	(HP 430 BP 680)	630	77.100	50.400	14.679	3.4
T.S.	1909	∅	{ ∅ 15	3305	1.885	2.84	Γ ₂	12	610	630	72.700	47.700	14.923	3.2
S.	1903	∅	{ ∅ 3309	3357	1.870	3.28	F ₄	14	(HP 335 BP 570)	640	68.600	45.600	9.744	4.7
S.	1894-1901	∅	"	3401	1.750	2.51 ^{low} 2.55	F ₄	16	(HP 350 ^{low} BP 550)	640	69.300	49.790	11.644	4.3
S.	1900-1911	∅	"	3501	1.750	2.57	F ₄	16	(HP 350 ^{low} BP 550)	640	72.100	51.035	11.644	4.4
S.	1909-1918	∅	{ Chemilice 24,21	3311	1.750	2.62 2.68	Γ ₂	12	575 ^{low} 590	630	72.210	48.350	15.038	3.2
T	1898	∅	"	13.684	1.560	2.26	Γ ₂	11	460	600	67.120	49.040	8.952	5.5
T	1898	∅	"	13.693	1.560	2.26	Γ ₂	12	460	600	66.780	48.900	9.766	5.0
S.	1895	Clat	2301	230 991	1 ^m .680	2 ^m .60	Γ ₂	12 ^k	510 ^l 490	660	59 ^t .500	44 ^t .400	12.262	3.6
T.S.	1911	∅	"	230 321	1.750	2.42	Γ ₂	12.5	495	660	62.600	47.200	11.551	4.1
T.S.	1912	∅	"	230 371	1.750	2.78	Γ ₂	12	550	640	66.850	47.080	13.275	3.5
T.S.	1908	∅	{ Chemilice 24,12	230 943	1.750	2.62	Γ ₂	12	590	630	70.160	47.120	15.038	3.1
T.S.	1913-1918	∅	{ ∅ 24,13	230 944	1.750	2.62	Γ ₂	12	575	630	75.280	50.280	14.283	3.5

Dimensions principales des locomotives françaises.

Loc (Gend.) 1	Loc (Gend.) 2	Loc (Gend.) 3	Année de construction	État	Niveaux	Numéros des rails		Diamètre des roues	Surface de grille	Compartment	Cimbre	Diamètre des cylindres	Voies multiples	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent	Effort de traction	P/F
						Anciens	Nouveaux										
T.S.			1910-1918	État			230-960	1.580	2.72	Γ_2	13 ^k	550	600	69.900	48.200	14.958	3,2
T.S.			1912	0°			230-781	2.040	2.78	Γ_4	12	{E.430 {I.430	640	71.500	48.900	13.922	3,5
T.S.			1896	0°			230-914	1.640	2.50	F_6	13	{HP.380 {BP.610	660	57.200	40.800	13.053	3,1
T.S.			1899-1901	0°			230-915	1.870	2.66	F_6	14	{HP.380 {BP.610	640	66.800	46.400	11.595	4,0
T.S.			1906-1907	0°			230-934	1.640	2.62	F_6	15	{HP.340 {BP.570	640	64.990	42.920	11.668	3,7
T.S.			1901-1909	0°			230-985	1.650	2.30	F_6	14	{HP.380 {BP.600	560	64.430	44.880	11.252	4,0
T.S.			1901-1910	0°			230-001	1.750	2.42	F_6	15	{HP.350 {BP.550	640	60.100	43.700	10.770	4,1
T.S.			1898	0°			230-101	1.750	2.45	F_6	14	{HP.350 {BP.550	640	60.300	42.500	10.052	4,2
T.S.			1902	0°			230-126	1.750	2.45	F_6	15	{HP.350 {BP.550	640	60.800	42.900	10.770	4,0
T.S.			1908-1912	0°			230-141	1.750	2.80	F_6	15	{HP.350 {BP.550	640	65.000	48.300	10.770	4,5
T.S.			1901-1907	0°			230-501	1.940	2.45	F_6	15	{HP.350 {BP.550	640	66.000	46.700	9.625	4,9
T.S.			1907-1908	0°			230-571	1.940	2.80	F_6	15	{HP.350 {BP.550	640	68.360	49.760	9.625	5,2

T.S.	1908-1912	0°	"	230.619	1.910	2.80	F _u	16	HP 380 BP 550	640	59.700	50.000	10.275	11,9
T.S.	1908-1912	0°	3801	230.801	1.850	3.10	F _u	16	HP 360 BP 600	640	75.100	53.100	11.955	4,4
T.S.	1895-1901	0°	Chemilice Direct	230.901	1.600	2.10	F _u	13	HP 350 BP 550	640	58.800	41.700	10.689	3,9
T	1897-1901	0°	0.701	32.001	1.540	1.80	Γ ₂	12	460	600	60.400	45.000	9.893	4,6
T	1895-1901	0°	0.715	32.016	1.540	1.80	Γ ₂	12	520	600	63.000	44.900	12.642	3,6
T.S.	1896	0°	"	1301	1.750	2.46	F _u	14 ^k	HP 350 BP 550	640	57.500	41.700	10.052	4,0
T.S.	1898-1910	0°	"	1303	1.750	2.49	F _u	15	HP 350 BP 550	640	61.400	45.400	10.770	4,2
T.S.	1896	0°	"	1401	1.600	2.46	F _u	14	HP 350 BP 550	640	56.500	40.700	10.994	3,7
T.S.	1899-1904	0°	"	1402	1.600	2.49	F _u	15	HP 350 BP 550	640	59.900	44.100	11.779	3,8
T.S.	1910-1914	0°	"	3501	1.750	2.78	Γ	12	590	640	75.400	54.000	15.276	3,5
T.S.	1921	0°	"	3701	1.750	2.62	Γ	12	575	630	75.280	50.280	14.283	3,5
T.S.	1897-1912	0°	"	3078	1.750	2.58	F _u	15 ^k	HP 350 BP 550	640	63.400	45.130	10.770	4,2
T.S.	1908-1913	0°	"	3513	1.750	2.76	F _u	16	HP 350-380 BP 550	640	70.820	51.010	12.447	4,1
T.S.	1907	0°	"	3999	2.040	3.06	F _u	16	HP 390 BP 560	640	73.810	53.730	10.675	5,0

Dimensions principales des locomotives françaises.

L	Année Construction	Réacteur	Numéros des séries		Diamètre des roues	Surface de la gâche	L Cylindres	Diamètre des cylindres	Poids total en ordre de marche	Poids adhésif		Effort de traction
			Anciens	Nouveaux						P	F	
S.	1900-1909	90°	3401	230 A.1	1.650	2.48	F ₄	15 ^k {E 540 E 340	60.710	43.350	10.990	4,0
T.S.	1904-1909	0°	2601	230 B.1	2.000	2.98	F ₄	1540 {E 3000-370	73.200	51.000	10.135	5,0
S.	1910-1914	0°	2430	230 C.1	1.790	3.08	F ₄	1590 {E 370	73.460	50.960	12.556	4,1
S.	1898-1900	0°	B.3261	230 D.1	1.500	2.45	F ₄	1360 {E 590	59.300	44.940	14.105	3,2
S.	1910-1912	90°	"	171 ^o	2.000	2.73	F ₂	500	68.800	49.800	9.750	5,1
T.S.	1899-1900	0°	"	1701	1.710	2.38	F ₄	HP 350 BP 550	59.000	42.600	13.670	3,1
T.S.	1900	0°	"	1772	1.710	2.49	F ₂	510	63.700	48.000	12.047	4,0
T.S.	1913-1914	0°	"	3201	2.000	2.73	F ₂	500	68.800	49.800	9.750	5,1
T.S.	1903-1908	0°	"	4001	1.800	3.10	F ₄	HP 360 BP 600	75.300	54.600	15.845	3,5
T.S.	1915-1926	0°	"	4201	1.710	2.73	F ₂	500	67.800	48.600	11.403	4,3

Locomotives type : 2.3.1.

T.S.	1909	Atl.	S-12	1301	2,040	3,722	F ₄	15 ^k	HP 380 BP 600	660	82,200	48,000	11,023	4,4
T.S.	1922	∅	S-14	1311	1,940	4,27	F ₄	16	HP 420 BP 640	650	96,500	55,700	14,429	3,9
T.S.	1919	Col	"	31001	1,940	4,27	F ₄	16 ^k	HP 420 BP 640	650	96,680	55,390	14,429	3,9
T.S.	1908	Stat	6001	231,001	1,940	4,00	F ₄	16 ^k	HP 400 BP 660	640	90,700	53,550	13,901	3,9
T.S.	1908-1918	∅	Chemische 3602	231-981	1,870	4,53	F ₄	15	HP 425 BP 650	610 670	92,100	51,000	14,385	3,5
T.S.	1909-1914	∅	Chemische 2001	231-997	1,800	3,95	F ₄	15	HP 420 BP 620	612	85,000	47,600	13,240	3,6
T.S.	1910	∅	6501	231,011	1,850	4,00	F ₄	16	HP 380 BP 600	640	91,000	52,000	12,468	4,3
T.S.	1911-1922	∅	"	231,501	1,940	4,27	F ₄	16	HP 420 BP 640	650	97,750	57,300	14,465	4,1
T.S.	1921	Midi	"	3101	1,940	4,00	F ₂	13 ^k	630	650	89,100	54,000	17,287	3,1
T.S.	1910	∅	"	3001	1,940	4,02	F ₄	16	HP 370 BP 620	650	90,000	54,000	12,314	4,4
T.S.	1910	∅	"	3051	1,940	4,02	F ₄	16	HP 400 BP 620	650	91,300	54,000	13,088	4,1
T.S.	1912	Nord	"	3,151	2,040	3,722	F ₄	16 ^k	HP 410 BP 600	660	85,570	49,170	12,427	3,9
T.S.	1923	∅	"	3,1201	1,900	3,50	F ₄	16	HP 440 BP 620	660 690	94,500	55,500	15,101	3,7

Dimensions principales des locomotives françaises.

Locomotives	Grande Circulation	Réseau	Numéros des séries		Diamètre des roues	Surface de grille G	L Contour	Cimbre	Diamètre des cylindres	Diamètre de piston	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent	Effort de traction		P F
			Anciens	Nouveaux									P	F	
T.S.	1902-1911 1912	P.M.	6101	231-A	2700	4,25	F ₄	12 ^h	480	650	92.820	56.500	17.971	3,1	
				231-E	2.000	4,25	F ₄	12	HP 510 BP 650	650	93.270	55.500	13.311	4,2	
				231-B	2.000	4,25	F ₄	14	HP 470 BP 650	650	93.230	55.500	13.982	4	
				231-C	2.000	4,25	F ₄	16	HP 440 BP 650	650	91.740	55.500	14.856	3,7	
T.S.	1922-1925	∅	6304	231-D	2.000	4,25	F ₄	16	HP 440 BP 650	650	93.170	55.500	14.856	3,7	
T.S.	1921	P.O.	"	3591	1.900	4,70 ^{m²}	F ₂	12 ^h	620	650	94.500	54.600	15.785	3,4	
T.S.	1902-1921	∅	"	3501	1.900	4,27	F ₄	16	HP 420 BP 640	650	93.200	53.100	14.445	3,7	
T.S.	1907-1908	∅	"	4501	1.800	4,27	F ₄	16	HP 390 BP 640	650	90.000	52.305	14.370	3,6	
T.S.	1910	∅	"	4571	1.800	4,27	F ₄	16	HP 420 BP 640	650	92.200	52.650	15.245	3,4	
T.S.	1922-1923	∅	"	3644	1.900	4,27	F ₄	16	HP 420 BP 640	650	96.100	56.600	14.445	3,9	

T	1915-1918	Act.L.	T-18	84.01	1.7650	2.742	Γ_2^k	12. ^k	560	630	105. ^t 030	46. ^t 470	14.368	3.23
T		\varnothing	T-17	83.01	1.650	1.96	F_u	14	HP 340 BP 550	640	86.500	42.000	10.124	4.1
T	1904-1909	Ext	"	33.901	1.580	2. ^m 57	F_u	16. ^k	HP 350 BP 550	640	95. ^t 810	49. ^t 250	12.314	4
	1909-1911	Mod	"	38.01	1.664	2. ^m 50	Γ_2^k	12. ^k	460 ^m 540	600	86. ^t 160	40. ^t 000	12.617	3.16
	1911	\varnothing	"	3.1101	2.040	4.28	F_u	16	HP 440 BP 620	640 750	111.700	54.000	14.327	3.8
	"	\varnothing	"	"	1.664	2.20	Γ_2^k	14	480	600	87.815	46.865	11.630	4
	1913-1914	P.L.M	53.01	232.A.T.1	1.7650	2. ^m 48	F_u	16. ^k	HP 355 BP 565	650	94.100	49. ^t 500	12.508	4
	1908-1914	\varnothing	55.01	232.E.T.1	1.650	3.08	F_u	16	HP 370 BP 580	650	103. ^t 860	54.000	13.344	4

Locomotives type : 0.4.0.

T.S.	1899-1916	Act.L.	G-7 ¹	4.304	1.750	2. ^m 25	Γ_2^k	12. ^k	520	630	"	53. ^t 500	16.354	3.3
T.S.	1895-1909	\varnothing	G-7 ²	4.321	1.250	2.25	F_2	12	HP 530 BP 750	630	"	52.900	12.752	4.1
T.S.	1915-1918	\varnothing	G-8 ¹	5.001	1.350	2.63	Γ_2^k	14	600	660	"	67.930	24.640	2.8

Dimensions principales des locomotives françaises.

Année de construction	Classe	Construction	Réserve	Numéros des séries		Diamètre des roues	Surface de grille	Contenance du tender	L'arbre à vapeur	Diamètre des cylindres	Vitesse en km/h	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent	Effort de traction	P F
				Anciens	Nouveaux										
S	S	1906-1912	Atl.	G. 8	5380	1.350	2 ^m 39	Γ_2	12 ⁶	600	660	"	57.270	21.120	2,7
T	T	1910-1918	\varnothing	T. 13	7902	1.250	1.70	Γ_2	12	500	600	"	60.860	14.400	4,2
S	S	1866-1894	Est	"	501	1.260	1 ^m 92	Γ_2	9 ⁵ 110 ⁶	500	660	"	52.230	13.096	4,0
S	S	1886-1893	\varnothing	Chemisice 238	4702	1.295	2.10	Γ_2	13	508	660	"	48.500	17.098	2,8
S	S	1895	\varnothing	Chemisice 4622	4704	1.250	2.29	Γ_2	12	HP 530 BP 750	600	"	51.500	12.144	4,2
S	S	1898-1918	\varnothing	Chemisice Divers	4706	1.250	2.25	Γ_2	12	520	600	"	53.710	15.575	3,4
T.S.	T.S.	1906-1913	\varnothing	Chemisice Divers	4801	1.350	2.39	Γ_2	12	600	660	"	56.300	21.120	2,7
T.S.	T.S.	1915-1918	\varnothing	Chemisice Divers	4240	1.350	2.62	Γ_2	14	600	660	"	66.880	24.640	2,7
T	T	1907-1912	\varnothing	"	4901	1.260	2.28	Γ_2	13	480	660	"	64.090	15.690	4,1
Maille 2 + 2	Maille 2 + 2	1895-1907	\varnothing	Chemisice Divers	4751	1.260	1.96	Γ_4	13	HP 390 BP 600	600	"	56.880	15.356	3,7
\varnothing	\varnothing	1868-1890	\varnothing	Chemisice Divers	4761	1.240	2.07	Γ_4	12	HP 420 BP 600	600	"	60.500	17.387	3,5

T.S.	1853-1884	Cial	4001 4040	040 001	1 ^m 390	2 ^m 08	Γ_2	9 ^e d ¹⁰ e	540	660	"	53.000	15 154	3,5
T.S.	1913-1918	Ø	Clemence 63 ^e	040 901	1.350	2.62	Γ_2	14	600	660	"	67.850	21.640	2.8
Garfil 020-020	1899-1903	Ø	Clemence 1260	040 912	1.240	2.08	Γ_4	12	(HP 420 BP 650)	600	"	60.500	17.387	3.5
T	1914-1922	Ø	"	4.0 001	4.300	1.80	Γ_2	12	480	600	"	63.700	12.761	5.0
T	1918	Ø	Clemence X	40 901	4.260	1.73	Γ_2	13	480	630	"	58.740	14.976	3,9
T	1917	Ø	Clemence T	40 903	4.150	1.50	Γ_2	13	486	560	"	60.600	11.935	4,1
T.S.	1853-1859	Midi	"	701 15	1 ^m 310	1 ^m 90	Γ_2	8 ^e 5	500	650	"	46.000	10.544	4,4
T.S.	1873-1888	Ø	"	2.006	1.210	1.90	Γ_2	9	540	610	"	56.200	13.250	4.2
T.S.	1903-1916	Ø	"	2.051	4.210	1.82	F_2	15	(HP 460 BP 700)	610	"	60.000	12.211	4,9
T.S.	1908	Ø	"	2101	4.210	1.82	F_2	15	(HP 480 BP 710)	610	"	60.800	12.851	4,7
T	1892	Ø	"	421	4.210	1.80	Γ_2	10	540	610	"	57.000	14.700	3,9
T.S.	1881-1891	Nord	"	4001	1 ^m 300	2 ^m 43	Γ_2	10 ^e	500 en 530	650	"	44.700	14.045	3,2
T.S.	1882-1890	Ø	"	4101	1.300	2.13	F_4	12	(HP 380 BP 650 ^d 640)	650	"	52.800	17.476	3.0
T	1871-1879	Ø	"	4301	1.300	2.13	Γ_2	8,5 en 10	500	650	"	50.000	12.500	4.0

Dimensions principales des locomotives françaises.

Locom à Vap. Séparé TS	Année Construction	Révision	Numéros de Série		Diamètre de l'axe	Surface de la gâche	Contenance de l'eau	L ² SE	Grande roue	Diamètre des cylindres	Vitesse mètre	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent P	Effort de traction F	P F
			Anciens	Nouveaux											
..	1874	Noté	..	..	1,260	1 ^m .99	Γ ₂	8,5	460	660	..	42,600	9,121	4,5
T	1890-1891	∅	..	4401	1,260	1,99	Γ ₂	11	480 ou 490	660	..	43,700	13,834	3,2	
..	1901	∅	..	..	1,260	2,30	Γ ₂	12	480	660	..	50,050	14,482	3,5
T	1870-1872	∅	..	4547	1,190	1,45	Γ ₂	8,5	460	600	..	41,000	9,069	4,5	
..	1859	∅	..	..	..	1,78	Γ ₂	7,5	480	480	..	36,800	7,787	4,7
..	1862-1866	∅	..	4551	1,065	1,775	Γ ₂	7,5	480	480	..	45,400	8,825	5,1	
..	1884-1885	∅	..	..	..	2,64	Γ ₂	10 et 8,5	500	650	..	44,700	12,500	3,5
T.S.	1880-1882	∅	..	4636	1,300	2,13	Γ ₂	8,5 et 10	500	650	..	44,000	10,625	4,1	
T.S.	1867-1872	∅	..	4801	1,300	2,13	Γ ₂	8,5 et 10	500	650	..	44,200	12,500	3,5	
T.S.	1866-1873	∅	..	4851	1,300	2,13	Γ ₂	8,5 et 10	500	650	..	44,200	10,625	4,1	

T.S.	"	4 0 0 1	4 A 1	1,260	2 ^m .08	Γ_2	9 ^d 10 ^s	540	660	"	54,350	15.274	3.6
T.S.	"	4 1 35	4 A 126	1,260	2.08	Γ_2	11	540	660	"	54,220	16.801	3.2
T.S.	1893-1895	3 2 11	4 B 1	1,500	2.45	F_4	15	HP 360 BP 390	650	"	55,540	14.105	3.9
T.S.	1892-1910	3°	4 C 1	1,300	2.10 1.250	F_4	15	HP 340 BP 520	650	"	54,640	13.314	4.1
T.S.	1902-1908	3°	4 D 1	1,300	2.30	F_4	15	HP 360 BP 520	650	"	55,560	13.944	4.0
T.S.	1921	3°	Chemotice 4 E 1	1,340	2.62	Γ_2	14	600	660	"	68,380	24.824	2.8
T.S.	1889	3°	4 F 1	1,260	2.21	F_4	15	HP 360 BP 540	650	"	58,980	15.043	3.9
T.S.	1889	3°	4 H 1	1,500	2.45	F_4	15	HP 340 BP 540	650	"	57,740	12.090	4.8
T	1922-1925	3°	4 A M 1 4 B M 1	1,300	2.32	Γ_2	11	580	650	"	69,000	18.502	3.7
T	1928	3°	4 D M	1,300	2.29	Γ_2	10	610	650	"	74,000	18.600	4
T.S.	1863-1897	P.O.	1102	1,260	1 ^m .59 1.184	Γ_2	8 ^k	520	650	"	51,980	11.159	4.6
T.S.	"	3°	1111 ^s	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
T.S.	1894-1916	3°	Chemotice G 7 ¹	1,200	2.25 1.279	Γ_2	12	520	630	"	53,500	17.035	3.1
T.S.	1906	3°	Chemotice G 5 spéciale	1,200	2.50	F_2	14	HP 540 BP 810	660	"	55,720	17.240	3.2
T.S.	1901-1907 1908	3°	Chemotice G 7 ²	1,200	2.25 1.228	F_2	12	HP 530 BP 760	630	"	52,900	13.280	4.0

Dimensions principales des locomotives françaises.

Loc. Gén. + Loc. à Cend. + État T.S.	Année de Construction	Réseaux	Numéros des Séries		Diamètre des roues	Surface grille	Compteur L no S ^m	Cimbre	Diamètre des cylindres	Vitesse en km à l'heure	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent P	Effet de traction F	$\frac{P}{F}$
			Anciens	Nouveaux										
T.S.	1918-1919	Del.	G.14	{ 5701 5801	1,420	3,03	Γ_2	13 ^e	533	710	75,480	68,040	18,466	3,7
T.S.	1920 en provenance de l'Etat	Est	"	40001	1,440	3,16	Γ_2	12 ^e	590	650	73,220	64,010	18,855	3,4
T.S.	1919 en provenance de l'Etat	D ^e	"	40104	1,420	2,99	Γ_2	13,5	533,4	711,2	77,220	70,170	19,237	3,6
"	1910-1912	D ^e	"	4071	1,400	2,80	F_4	16	HP 415 BP 635	650	74,730	66,080	19,227	3,4
T.S.	1902-1906	D ^e	"	4002	1,400	2,80	F_4	16	HP 390,395 415,415 BP 600,610 600,610	650	75,920	67,290	18,025	3,7
T.S.	1913-1917	Etat	"	110-101	1,440	3,16	Γ_2	12 ^e	590	650	76,000	66,000	18,855	3,5
T.S.	1917-1920	D ^e	100 145-A.164	140-501 140-1001	1,440	3,17	Γ_2	12	584	660	74,500	63,500	18,758	3,4
T.S.	1917-1920	D ^e	B.1	110-1101	1,420	3,03	Γ_2	13	533	711	75,480	68,040	18,450	3,6
T.S.	1896	D ^e	2055	110-901	1,160	2,45	Γ_2	12	540	560	65,400	55,000	14,650	3,96

Locomotives type: 1.4.0.

T.S.	1908	°	4501	140.001	1.370	2.80	F ₂	16	HP 588 BP 750	700	66.000	56.400	14.756	3.8
T.S.	1899	°	2085	140.906	1.270	3.07	F ₄	14	HP 356 BP 610	660	67.400	57.000	16.870	3.4
T.S.	1915, 1918	°	5505	140.908	1.270 d 1.300	3.30	F ₄	16	HP 400 BP 620	600 760	76.900	64.000	19.337	3.3
T.S.	1918	Midi	"	4101	1.400	3.21	F ₂	12 ⁶	584	660	75.900	66.000	19.004	3.5
T.S.	1901, 1907	°	"	4001	1.400	2.80	F ₄	15	HP 390 BP 600	650	72.800	65.700	16.384	4.0
T.S.	1890	Nord	"	4120	1.300	2.74	F ₂	12 ⁶	570	650	56.900	46.900	19.500	2.4
T.S.	1890	°	"	4118	1.500	2.14	F ₄	12	HP 380 BP 660	650	55.085	45.115	17.400	2.6
T.S.	1912, 1913	°	"	4161	1.550	3.22	F ₄	16	HP 420 BP 570	640 700	82.325	72.270	16.087	4.5
T.S.	"	°	"	"	1.410	3.03	F ₂	13	533	711	74.790	67.940	18.642	3.6
T.S.	1923, 1924	S.F.M.	OCEM	140 A1	1.650	3.00	F ₂	11 ⁶	580	650	70.880	59.280	18.553	3.2
T.S.	1921	°	"	140 G.1	1.410	3.03	F ₂	13	533	711	74.790	67.940	18.642	3.6
T.S.	1921	°	"	140 H.1	1.440	3.17	F ₂	12	584	660	72.610	62.720	18.623	3.4

Dimensions principales des locomotives françaises.

Loc. Gén. T. Loc. Gén. T. Loom. à Cond. Départ. T.S.	Année Construction	Réserve	Numéros des Séries		Diamètre de roues	Surface de grille	Compteur SE	Cimbre	Diamètre des cylindres	Vitesse en km/h	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent	Effort de traction	P F
			Anciens	Nouveaux										
T.S.	"	S.L.M.	ALVF	1140 K.1	1,440	3 ^m 16	Γ_2	12 ^k	590	650	73,850	64,990	18,855	3,4
T.S.	1910-11-12	S.L.M.	4295	1140 B.1	1,500	3,08	F_4	16	HP 380 BP 600	650	73,480	63,970	15,617	4,1
T.S.	1914-1922	°	3741	1140 E.1	1,650	3,08	F_4	16	HP 380 BP 600	650	74,770	65,600	14,197	4,6
T.S.	"	°	"	1140 F.1	1,500	3,08	F_4	16	HP 400 BP 600	650	73,570	63,800	16,293	3,9
T.S.	1912 et 1913	°	4175	1140 D.1	1,500	3,08	Γ_4	12	460	650	70,700	61,840	21,994	2,8
T.S.	1913	°	4271	1140 C.1	1,500	2,98	F_4	16	HP 400 BP 580	650	70,810	61,560	15,680	3,9
T.S.	1918	P.O.	"	7001	1,700	3 ^m 20	Γ_2	12 ^k	584	660	74,320	64,430	19,296	3,3
T.S.	1918	°	"	7101	1,372	3,10	Γ_2	13	533	711	74,630	67,510	19,139	3,5
T.S.	1904-1906	°	"	5001	1,500	3,10	F_4	16	HP 390 BP 600	650	74,600	66,300	15,951	4,2
T.S.	1907-1911	°	"	5028	1,500	3,10	F_4	16	HP 410 BP 620	650	75,800	67,100	17,279	3,9

Locomotives type: 1.4.1.

T.S.	1913-1914	S.L.M.	1001	141 A.1	1 ^m .650	4 ^m .25	F ₄	16 ^k	1 ^m .510 ^m E-720 ^m	650 700	93.530 93.530	69.500 69.500	23.441 2.98
T.S.	1917	∅	1013	141 B.1	∅	4.30	F ₄	∅	∅	∅	93.530	69.960	23.441 2.98
T.S.	1919-21-23	∅	1130	141 C.1	∅	4.25	F ₄	∅	∅	∅	94.700	69.800	
T	1915-16-17	Oct.L.	T 114	8501	1 ^m .350	2 ^m .50	Γ ₂	12 ^k	600	660	94.410	63.030	21.120 2.97
T	1910-12-13	Oct	"	4401	1 ^m .580	2 ^m .42	Γ ₂	14 ^k	550	660	89.440	59.500	17.690 3.35
T	1912	∅	Chemische 8508	4651	1.350	3.70	Γ ₃	15	490	630	"	"	25.210 "
T	1912-14-15 16-17-18	∅	Chemische 8502	4656	1.350	2.50	Γ ₂	12	600	660	94.610	63.060	21.120 2.97
T	1911-1923	P.O.	"	5301	1 ^m .350	2 ^m .73	Γ ₂	12 ^k	600	650	92.700	68.000	20.800 3.3
T	1921-1922	∅	"	5616	1.600	2.77	Γ ₂	12	620	700	99.000	74.450	20.181 3.5
T.S.	1917	∅	"	5801	1.600	3.80	Γ ₂	12	620	700	90.100	69.200	20.181 3.4
T.S.	1918-1919	∅	"	5811	1.600	4.70	Γ ₂	12	620	700	92.000	69.450	20.181 3.4
T.S.	1921-22-23	Clat	"	111001	1 ^m .650	3 ^m .80	Γ ₂	12 ^k	620	700	87.000	66.280	19.570 3.0

Dimensions principales des locomotives françaises.

Type (Loc. à vapeur)	Année	Construction	Réseau	Numéros des séries		Diamètre des roues	Surface de grille	Longueur du cylindre	Diamètre des cylindres	Diamètre du piston	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent	Effet de traction	
				Anciens	Nouveaux								P	F
T	1922	Etat			42.004	1 ^m .514	2 ^m .80	Γ_2	12 ^k	600	95 ^t .70	72 ^t .270	18.233	3.9
T	1915-18	Etat		Alambic 8502	42.901	1.350	2.50	Γ_2	12	600	94.440	63.030	21.120	3
T.S.		Nord			4.1101	1 ^m .650	4 ^m .30	F_4	16 ^k	$\left\{ \begin{array}{l} H = 510 \\ E = 720 \end{array} \right.$	93 ^t .530	69 ^t .960	23.441	2.98
<i>Locomotives type : 2.4.0.</i>														
T	1913-192	Midi			4.501	1 ^m .600	3 ^m .10	Γ_2	12 ^k	630	93 ^t .500	70 ^t .500	19.050	3.7
T.S.	1907-1911	N.M.P.		4701	240A.1	1 ^m .500	3 ^m .08	F_4	16 ^k	$\left\{ \begin{array}{l} HP 380 \\ BP 600 \end{array} \right.$	75 ^t .700	59 ^t .920	15.617	3.8
<i>Locomotives type : 2.4.1.</i>														
T.S.	1924	Etat			41001	1 ^m .550	4 ^m .43	F_4	16 ^k	$\left\{ \begin{array}{l} HP 460 \\ BP 610 \end{array} \right.$	113 ^t .460	74 ^t .430	15.720	4.8

T.S.	1924	P.L.M.	O.C.E.M.	241 A	1790	5.700	F ₄	16 ^E	$\left\{ \begin{array}{l} H=510 \\ E=720 \end{array} \right.$ (E=720)	116.860	74.000	21.609	3,4
<i>Locomotives type: 2.4.2.</i>													
T	1926	P.L.M.	O.C.E.M.	242 AT	1.650	3.508	F ₄	16 ^E	$\left\{ \begin{array}{l} HP. 420 \\ BP. 630 \end{array} \right.$	119.750	65.000	16.330	4
<i>Locomotives type: 0.5.0.</i>													
T.S.	1910-1918	AdL	5413	5401	1.700	$\frac{2.604}{2.365}$	Γ ₂	12 ^K	630	660	71.490	22.453	3,22
T.S.	1914	∅	835	5436	1.170	2,58	Γ ₂	13	620	612	73.840	26.131	2,82
T	1913-1914	∅	"	8101	1.350	2,26	Γ ₂	12	610	660	76.470	21.830	3,5
T.S.	1905	Est	Chemotice 811	5005	1.250	2.83	F ₂	15 ^E	$\left\{ \begin{array}{l} HP. 565 \\ BP. 860 \end{array} \right.$	72.330	17.896	4,04	
T.S.	1909-1913	∅	Chemotice 825	5006	1.250	2,58	Γ ₂	12 et 13	620	612	72.970	24.466	2,98
T.S.	1905-1906	Est	Chemotice 811	050.901	1.250	2.83	F ₂	15 ^E	$\left\{ \begin{array}{l} HP. 565 \\ BP. 860 \end{array} \right.$	73.880	17.896	4,13	
T	1910-1918	∅	Chemotice 2025	050.901	1.260	2,30	Γ ₂	12	620	630	77.200	23.064	3,35

Dimensions principales des locomotives françaises.

Locomotive Lacm. à Cond. Dép. et S.	Date de Construction	Réseau	Numéro des Série(s)		Diamètre des roues	Surface de gaille C	Contour L SE	Girafe	Diamètre des cylindres	Diamètre total en ordre de marche	Poids adhérent P	Effort de traction F	P F
			Anciens	Nouveaux									
T	1908.1914	Midi	"	5001	1 ^m .350	2 ^m .72	Γ_2	12 ^k	630	"	88.200	23.285	378
T.S.	1921.1922	P.L.M.	Chemissee 5101	5.A.1	1 ^m .299	3 ^m .42	Γ_2	14 ^k	590	"	66.860	23.725	2.80
T.S.	1922	"	Chemissee 5001	5.B.1	1.390	2.62	Γ_2	12	630	"	71.560	22.615	3,16
T	"	"	Chemissee 5801	5.A1.1	1.340	2.25	Γ_2	12	610	"	80.430	21.993	3,65
T.S.	1917-1918	P.O.	Chemissee G.10	5526	1 ^m .350	2 ^m .65	Γ_2	12 ^k	630	"	71.490	23.285	3,07
T.S.	1905-1907	"	Chemissee X1 ^m	5532	1.165 2.1.200	3.06à 3.30	Γ_2	12	620	"	72.500	24.247	2,98
T.S.	1909-1915	"	Chemissee X1 ^v	5535	1.150.1 1.350	2.56à 3.31	F ₂	13	HP 590 BP 860	"	72.420	18.197	3,98
T.S.	1916-1918	"	Chemissee X1 ^{IV}	5550	1.190.1 1.350	3.25.1 3.25	F ₂	13	HP 590 BP 860	"	72.350	18.045	4,01
T	1908-1909	"	"	5504	1.310	2.72	Γ_2	12	630	"	87.500	23.995	3,65

Locomotives type : 1.5.0.

T.S.	1905-1910	Atl.	G-11	5501	1.350	2 ^m .77	F ₄	15 ^e	HP 300 BP 600	650	75.560	66.920	16.991	3.9
T.S.	1915	0°	G-12	5551	1.400	3.28	F ₃	14	560	660	98.800	84.940	31.046	2.73
T.S.	1917-1919	0°	G-12	5563	1.400	3.90	F ₃	14	570	660	93.100	80.000	32.165	2.5
T.S.	1919-1920	0°	G-12	5651										
T.S.	1917	Est	Chemise 5554	5015	1.250	4 ^m .50	F ₃	13 ^e	560	600	"	"	29.352	"
T.S.	1916-1917	0°	Chemise 5552	5101	1.400	3.25	F ₃	14	560	660	96.510	83.340	31.046	2.59
T.S.	1918	0°	Chemise 5573	5151	1.400	3.90	F ₃	14	570	660	90.280	78.820	32.165	2.15
T.S.	1917	0°	Chemise 1165	5201	1.400	3.31	F ₃	14	560	660	97.910	83.590	31.046	2.70
T.S.	1924	0°	"	5211	1.400	3.25	F ₃	14	560	660	96.710	82.440	31.046	2.65
T.S.	1912	Nord	"	5001	1.550	3 ^m .22	F ₄	16 ^e	HP 490 BP 680	640/700	99.070	88.370	21.452	4.1
T.S.	1913	0°	"	5002	1.550	3.22	F ₄	12	E 550 I 1.530	640/700	98.280	88.100	30.000	2.94
T.S.	1909-1913	P.O.	"	6001	1.350	3 ^m .80	F ₄	16 ^e	HP 460 BP 660	620/680	85.200	76.900	21.480	3.58
T.S.	"	Etat	OCEM.	"	1.510	4 ^m .00	F ₂	14 ^e	660	700	90.200	80.900	28.370	2.86

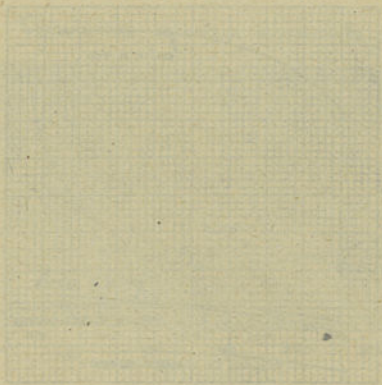
Dimensions principales des locomotives françaises.

Locom. à vapeur Genr. T. atrapé T.S.	Année de Construction	Réseau	Numéros des Locomotives		Diamètre des roues	Surface de la gâche	Compartment No 1	L Gimble	Diamètre des cylindres	Long. Total	Poids total en ordre de marche	Poids adhérent P	Effort de traction F	P F
			Anciens	Nouveaux										
T	1912 1924	Est	5001	17350	3 ^m 28	F ₂	14 ^e	630	660	120 ^t 126	90 ^t 336	27165	3.3	
														<i>Locomotives type : 1.5.1.</i>
T	1909	Est	6101	17455	3 ^m 000	F ₄	16 ^e	HP400 BP630	680	109 ^t 440	93 ^t 910	18.607	5.2	
														<i>Locomotives type : 3.1.+1.3.</i>
T	1905.1911	Nord	6121	17455	3 ^m 000	F ₄	16 ^e	HP400 BP630	680	105 ^t 720	90 ^t 370	18.607	4.9	
T.S.	1908	Est	6001	17272	3 ^m 80	F ₄	15 ^e	HP444 BP711	660	94 ^t 560	83 ^t 560	24.941	3.4	
														<i>Locomotives type : 1.3.+3.</i>

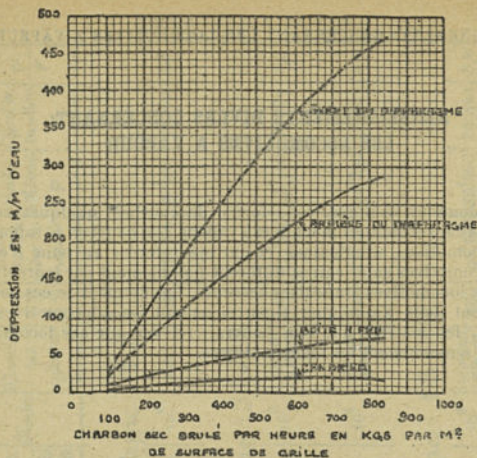
RENSEIGNEMENTS DIVERS CONCERNANT LES LOCOMOTIVES A VAPEUR

Nous donnons ci-après, sous forme de courbes, quelques renseignements concernant les machines à vapeur. Ces courbes se rapportent à des locomotives américaines et ont été relevées au banc d'essais.

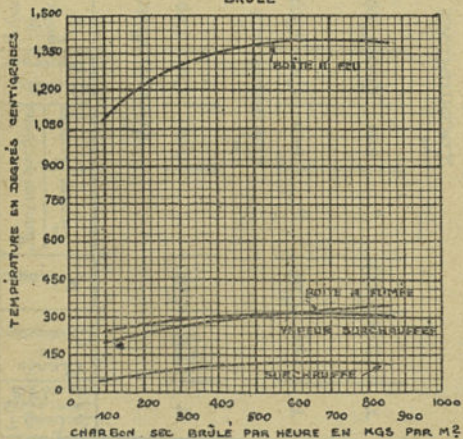
Les locomotives américaines diffèrent notablement par leurs dimensions des locomotives françaises *actuelles*. Les données de ces courbes ne peuvent donc s'appliquer rigoureusement à nos locomotives. Néanmoins, les courbes que l'on pourrait relever sur nos locomotives auraient sensiblement les mêmes allures.



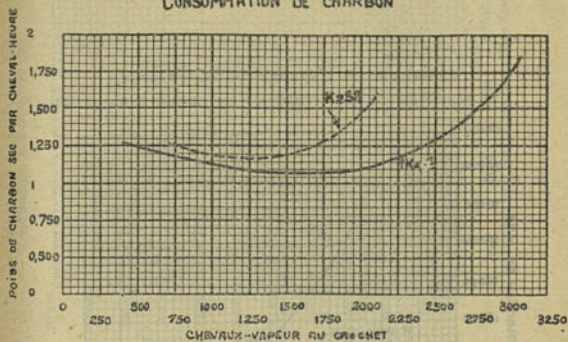
INTENSITÉ DE LA DÉPRESSION EN FONCTION DU COMBUSTIBLE BRÛLÉ



VARIATIONS DE TEMPÉRATURE EN FONCTION DU COMBUSTIBLE BRÛLÉ



CONSOMMATION DE CHARBON



CONSOMMATION DE VAPEUR SURCHAUFFÉE

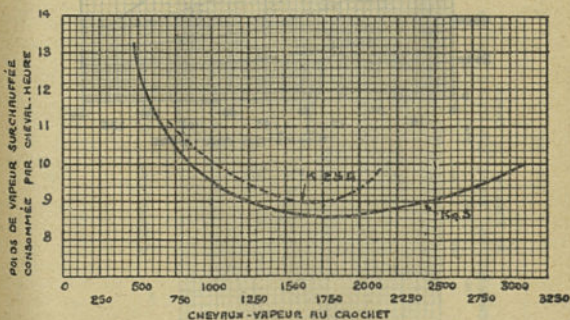


FIG. 60.

VARIATION DE L'EFFORT DE TRACTION EN
FONCTION DE LA VITESSE ET DU DEGRÉ D'ADMISSION

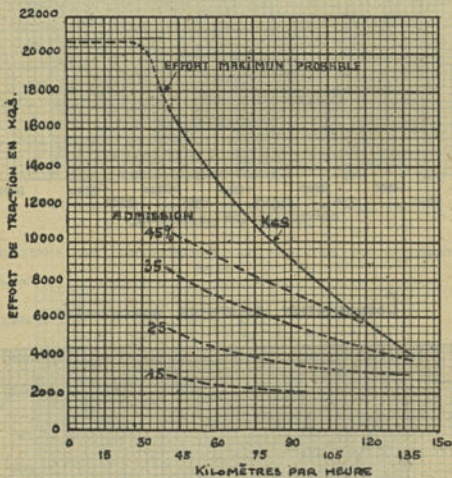


FIG. 70.

COURBE D'ÉVAPORATION

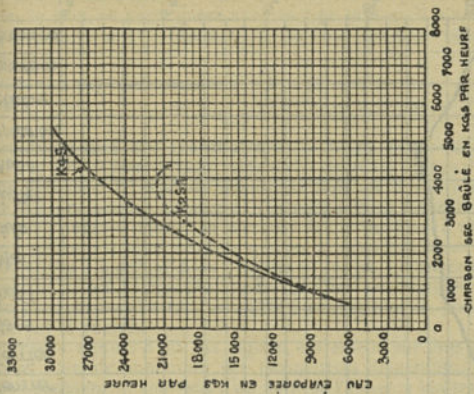


Fig. 72.

COEFFICIENT D'ÉVAPORATION

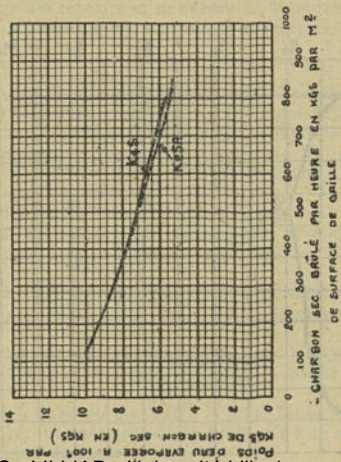
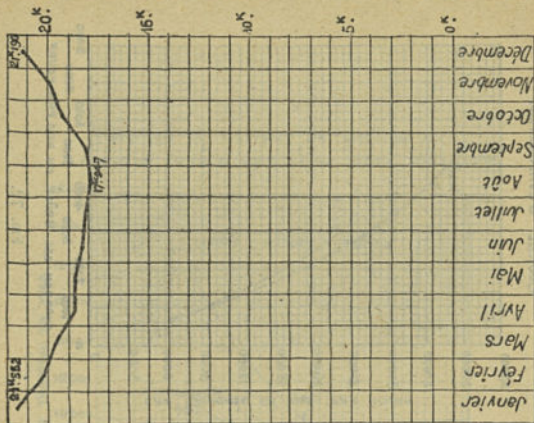


Fig. 71.

CONSUMMATION DE COMBUSTIBLE
PAR KM DE MACHINE



CONSUMMATION DE COMBUSTIBLE
PAR 100 TONNES KILOMÉTRIQUES

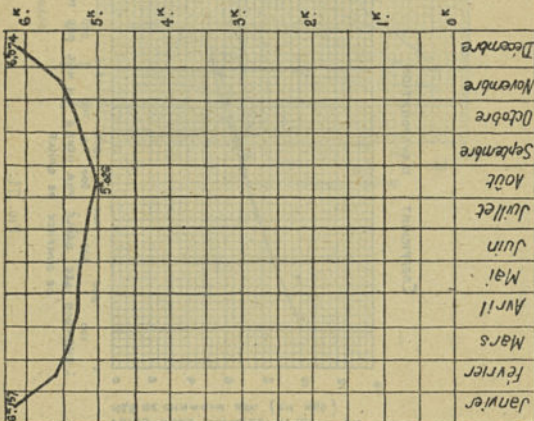


Fig. 73 et 74.

Digitized by Google

Prix des locomotives. — Les locomotives se payent au kilogramme, le prix ne varie guère avec le type tant qu'il s'agit de locomotives comparables : locomotives de voie normale et de types récents.

En 1929, on a payé ces locomotives. . . 9 fr. 60 — 9 fr. 35

En 1930, — — — — — 10 fr. 75 — 9 fr. 60. — 9 fr. 95

Parcours annuel des locomotives. — Le parcours annuel des locomotives est excessivement variable suivant les réseaux et suivant les périodes. Il dépend essentiellement du rapport entre le nombre des locomotives du parc et l'importance du trafic à assurer.

Pour une situation donnée le parcours des locomotives à voyageurs est bien supérieur à celui des locomotives à marchandises. En 1928 les locomotives à marchandises d'un grand réseau ont parcouru chacune environ 20.000 kilomètres tandis que les locomotives à voyageurs en parcouraient 60.000. Ces chiffres sont faibles ils étaient plus élevés avant la guerre.

Le parcours annuel n'est pas réparti également sur tous les mois de l'année. Comme le nombre des locomotives disponibles d'un réseau est sensiblement constant d'un bout de l'année à l'autre, le parcours moyen de chacune d'elles, augmente avec le trafic. L'allure de ce dernier varie suivant les réseaux et la nature de leurs transports. D'une façon générale on constate un minimum en Janvier, Février et une pointe en Septembre.

Tenders. — Les tenders sont composés en France d'un châssis résistant supportant une caisse contenant l'eau et le combustible, caisse qui ne participe pas à la résistance de l'ensemble. Toutefois les derniers tenders du Nord inaugurent, suivant l'exemple des voitures métalliques, un système de construction dans lequel la caisse à eau participe à la résistance de tout le véhicule.

La capacité en eau des tenders augmente sans cesse avec la puissance des machines, elle est passée de 16 mètres cubes et moins, à 20, 25, 30, 32 et 35 mètres cubes. La capacité en charbon est de 7 à 8 tonnes.

Le poids d'un tendér en ordre de marche est approximativement supérieur de 5 tonnes au double du poids de son approvisionnement d'eau.

Le nombre des essieux des tenders a augmenté avec leur poids, les tenders de 30 mètres cubes sont à quatre essieux, souvent à deux bogies.

Pour éviter la solution de continuité entre la plate-forme du tender et celle de la locomotive, un tablier mobile porté par l'un des véhicules repose sur le tablier de l'autre.

Le fait d'avoir un tablier formé de deux parties, locomotive et tender, qui se déplacent latéralement et verticalement l'un par rapport à l'autre est gênant pour le personnel et en particulier pour le travail de chauffe. Pour remédier à cet inconvénient l'Est a prolongé vers l'arrière le tablier de la locomotive; ce prolongement permet la suppression du tablier du tender.

Le système est complété par un attelage entre locomotive et tender à une seule cheville portée par la locomotive à laquelle vient s'attacher par une articulation à rotule, permettant en outre un déplacement vertical, un timon porté par le tender. Ce dernier ne peut plus que pivoter autour de la cheville d'attelage. Tout déplacement latéral entre locomotive et tender est supprimé. Le dispositif est très apprécié du personnel.

Prix des tenders. — Les tenders se payent au kilogramme. En 1930 un tender de 20 mètres cubes à bogies pesant :

A vide, 28 tonnes se paye environ.....	4 fr. 35 le kilogramme
Un tender de 35 mètres cubes 29.500 kg..	4 fr. 72 —

En mai 1930 :

Un tender de 30 mètres cubes à 2 bogies..	5 fr. 20 le kilogramme
— de 25 — à 3 essieux.	5 fr. 45 —

CHAPITRE IX

TRACTION PAR MOTEURS A COMBUSTION INTERNE AUTOMOTRICES ET LOCOTRACTEURS

(Voir *Agenda* 1929).

Nous donnons ci-après la liste de quelques automotrices et locotracteurs à *moteur Diesel* européennes les plus récentes.

On essaye en Allemagne une locomotive Diesel comprenant un moteur de 1.200 C. V. comprenant de l'air à 7 kilogrammes à air utilisé dans des cylindres comme de la vapeur.

Liste d'automotrices et de locomotives

CONSTRUCTEUR	EXPLOITANT	MOTEUR	PUISSANCE et nombre de tours	TRANSMISSION
I. — Automotrices				
D. E. V. A. Société générale d'Électricité de Vasteras (Suède) et Société Atlas Diesel	Chemins de fer Suédois	Polar-Deva	de 75 à 90 CV	Électrique
Sulzer et Brown Boveri	Chemins de fer fédéraux Suisses	Sulzer 4 cylindres	250 CV à 550 t.	Électrique
H. A. W. A. Hannoversche Waggonfabrik aktiengesellschaft	Chemins de fer Néerlandais	M. A. N. 6 cylindres	90 CV à 1.200 t.	Mécanique Mylius
Beardmore	Chemin de fer de Saint-Sébastien à Pampelune	Beardmore	200 CV. à 1.200 t.	Électrique
Weg'man à Cassel	Chemins de fer du Reich	M. A. N.	90 CV à 1.200 t.	Mécanique Soden
II. — Locomotives				
D. E. V. A.	Chemins de fer Suédois	Polar-Deva	120 CV 600 t.	Électrique
	Cb. de fer Tunisiens Ch. de fer économiques	id.	75 CV 600 t.	id.
Sulzer	Chemins de fer Tunisiens	Sulzer	250 CV à 550 t.	Électrique
Fiat-Brown Boveri	Chemins de fer de Calabre	Fiat	440 CV à 500 t.	Électrique
Crochat	Sénégal	M. A. N. 6 cylindres	90 CV à 1.200 t.	Électrique
Winterthur	Chemins de fer du Siam	Winterthur	200 CV à 500 t.	Mécanique à huile s/presse 5 vitesses

tracteurs à moteur Diesel.

POIDS	BIBLIOGRAPHIE	OBSERVATIONS	REPRÉSENTANT ET ADRESSE
motrices.			
"	G. C. 16/10/1920 R. G. 9/23 et 3/24	"	Matériel Naval et Industriel 75, Boulevard Raspail Paris
57 t. à vide	Revue B. B. C. 4/1926 G. C. 14/8/1926	50 voyageurs assis à bogies	C ^{ie} de Constr. Mécanique Procédé Sulzer 12, Rue Boissy-d'Anglas Paris
17 t.	H. A. W. A.	35 voyageurs assis à 2 essieux	Muller et C ^{ie} 6, Rue de Milan Paris
29 t. à vide	Engineering 19/10/1928	2 bogies voie de 1 m.	Beardmore 36, Victoria Street Westminster
21 t. 5	Organ 15/3/1928	46 voyageurs assis	"
tracteurs.			
55 t. env.	R. G. 1/1921 9/1923 3/1924	voie de 1 m.	Matériel Naval et Industriel 75, Boulevard Raspail Paris
18 t. env.	A été essayé sur la ligne de Valmondois-Marines	voie de 1 m. à 3 essieux	"
"	R. G. 7/1927 G. C. 1/1928	2 bogies voie de 1 m.	C ^{ie} de Constr. Mécanique Procédé Sulzer 12, Rue Boissy-d'Anglas Paris
14 t. à vide	Rivista Technica 5/1924 B. B. C. 5/1925	à bogies voie de 0 ^m ,900	"
"	A été essayé sur la ligne de Valmondois-Marines	à 2 essieux voie de 1 m.	30, Rue de Tilsitt Paris
22 t. à vide	Winterthur et Chemin de fer du Siam	à 2 essieux voie de 1 m.	G. Angst 2, Rue de Vienne Paris

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE X

TRACTION ÉLECTRIQUE

Nous avons réservé le nom de traction électrique aux modes de traction qui empruntent la puissance à une source d'électricité extérieure laissant ainsi de côté la traction par accumulateurs, toute spéciale, ainsi que la traction par moteur thermique à transmission de puissance électrique.

Le nombre de systèmes théoriquement réalisables peut être classé en neuf catégories ¹ et pratiquement en cinq, quatre systèmes ne paraissant pas présenter d'intérêt pratique. Ces systèmes possibles sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

¹ Voir : *L'Électrification des Chemins de fer français*, par M. H. PARODI (Revue Générale de l'Électricité, numéro du 23 décembre 1926).

FORME DU COURANT UTILISÉ		NOM du système	APPLICATIONS TYPIQUES
dans les lignes de contact	dans les moteurs de traction		
Triphasé 3.000 à 6.000 v. 16 2/3 p : s	Triphasé Monophasé Continu	Triphasé	Chemins de fer de l'État Italien. Pas d'application. Pas d'application.
Monophasé 11.000 à 22.000 v. 16 2/3 p : s et 25 p : s	Monophasé	Monophasé	Chemins de fer Allemands, Autrichiens, Suisses, Sué- dois, Norvégiens. New York - New Haven Hartford
	Triphasé	Monophasé- Triphasé ou « Splitphase »	Norfolk and Western. Virginian Railway.
	Continu	Monophasé- Continu	New York - New Haven Hartford ¹
Continu 600 à 5.000 v. fréquence nulle	Triphasé Monophasé Continu	Continu	Pas d'application. Pas d'application. Chemins de fer Français, Anglais, Belges, Hollan- dais, Espagnols, Chiliens, Brésiliens, Argentins, Ja- ponais, Australiens, Ma- rocaïns. etc. Chemins de fer de Butte- Anaconda and Pacific, Chicago-Milwaukee and Saint-Paul (Etats-Unis). Chemin de fer de Turin- Lanzo-Certés (Italie).

¹ Des essais d'un système monophasé continu ont été exécutés par la Com-
pagnie P.-L.-M. plusieurs années avant la guerre. Voir : *Traction électrique
par courant alternatif monophasé transformé sur la locomotive en cou-
rant continu*, par M. A UVERT, ingénieur principal à la Compagnie P.-L.-M.
(Revue générale des Chemins de fer, numéro d'octobre 1905.)

Bien que l'électrification d'une partie des chemins de fer de l'État Italien suivant le système triphasé constitue une application très importante de ce système, on peut dire que deux systèmes seulement se partagent généralement l'électrification des lignes de chemins de fer; le système continu et le système monophasé; M. H. Parodi, dans l'article cité ci-dessus (*L'Électrification des Chemins de fer français. — Revue générale de l'Électricité* du 25 décembre 1926) donne une explication de cet état de chose. D'après M. Parodi, il paraît possible, malgré la diversité des conditions locales de production et de transmission d'énergie, de dégager deux conceptions distinctes de l'électrification des chemins de fer, dont l'application entraîne le choix du système de traction: continu ou monophasé. D'une part, la politique choisie par la France et suivie par un grand nombre de pays (Angleterre, Belgique, Hollande, Japon, etc.), savoir: les usines génératrices produisent du courant triphasé de fréquence industrielle et alimentent les industries diverses et les chemins de fer au moyen d'un réseau unique de lignes de transmission d'énergie à haute tension; cette conception entraîne généralement, pour la traction, le choix du système continu. D'autre part, la politique de l'Allemagne, suivie par la Suisse, l'Autriche, la Norvège, la Suède, savoir: les usines génératrices et les lignes de transmission d'énergie sont divisées en deux réseaux distincts dont l'un dessert les diverses industries, l'autre les chemins de fer; cette conception entraîne, pour la traction, le choix du système monophasé de faible fréquence, les industries étant alimentées en courant triphasé de fréquence industrielle. La politique de la France et des nombreux États qui l'ont suivie est celle où il est le mieux tenu compte des intérêts généraux du pays.

§ 1. — Système triphasé.

a) **Système à deux conducteurs aériens.** — C'est le système appliqué sur les chemins de fer de l'État Italien; il comporte l'emploi de trois conducteurs dont deux sont aériens et isolés; le troisième est constitué par la voie. La tension de distribution de l'énergie ne peut guère être poussée au delà de 6.000 volts (maximum réalisé sur le Great Northern), car l'écartement des deux conducteurs isolés est limité par les dimensions du gabarit du chemin de fer; cette tension est de 3.000 volts sur les chemins de fer italiens.

Les moteurs de traction sont des moteurs triphasés asynchrones du type d'induction. Ces moteurs peuvent être construits pour fonctionner à une tension assez élevée. Sur les chemins de fer de l'État Italien, ils fonctionnent à la tension de la ligne (3.000 volts), sans l'intermédiaire de transformateurs statiques placés sur les loco-

motives. Le réglage de la vitesse des moteurs peut être obtenu par les procédés suivants : contrôle rhéostatique (insertion de résistances dans le rotor); modification du nombre de pôles du stator; groupement des moteurs en cascade.

Le système triphasé présente une certaine complication dans la distribution de l'énergie, puisqu'il exige une double ligne aérienne; il manque de souplesse dans le réglage de la vitesse; mais il se prête aisément au fonctionnement en récupération et, pour cette raison, convient bien aux lignes à profil accidenté. Enfin, ce système, comme tous les systèmes à courants alternatifs, provoque des perturbations dans les lignes à courants faibles placés le long des voies ferrées, lignes téléphoniques en particulier.

b) Système à trois conducteurs aériens. — Ce système n'a plus qu'un intérêt historique; il a été employé lors des essais de traction à grande vitesse, qui ont été exécutés, de 1901 à 1903, sur la ligne de Marienfeld à Zossen (près de Berlin) par Siemens et Halske et par l'A. E. G. C'était la première fois que les rails de la voie n'étaient pas utilisés comme conducteurs et que l'énergie était transmise aux locomotives par trois conducteurs aériens.

§ 2. — Système monophasé.

Le système monophasé, qui ne comporte qu'un seul conducteur aérien, le second étant constitué par la voie, permet l'utilisation d'une tension de distribution beaucoup plus élevée que le système triphasé, allant jusqu'à 15.000 volts (Chemins de fer fédéraux suisses et Chemins de fer suédois). Un ou plusieurs transformateurs placés sur les locomotives abaissent la tension à la valeur convenable pour l'alimentation des moteurs (300 volts en général).

Les moteurs de traction sont des moteurs monophasés à collecteurs dont il existe une très grande variété de types, en raison des diverses solutions apportées par les inventeurs aux difficiles problèmes que posent ces moteurs, principalement sous le rapport de la compensation et de la commutation : moteurs série-compensé d'Erlikon, de Siemens-Schuckert, ... moteur série Lammé à connexions résistantes, moteur à répulsion compensé de Marius Latour, de Winter-Eichberg, etc. Le réglage de la vitesse est très simple; il est obtenu par la variation de la tension aux bornes des moteurs, grâce à des prises de tension différentes, faites sur les secondaires des transformateurs abaisseurs de la locomotive.

Le système monophasé est d'une grande simplicité dans la distribution de l'énergie; le réglage de la vitesse y est très souple; il se

prête au fonctionnement en récupération, quoique d'une manière bien plus compliquée que le système triphasé ; mais le matériel moteur est lourd et les moteurs ont un couple pulsatoire qui rend délicat le problème de la transmission des efforts aux roues motrices.

Le système monophasé provoque de très graves perturbations dans les lignes à courants faibles voisines du chemin de fer. On ne peut guère les faire disparaître que par l'éloignement ou la mise sous câble des lignes perturbées, ou encore par des dispositifs supprimant ces perturbations, tel, par exemple, que l'emploi de transformateurs-suceurs et d'un fil de contre-tension dont une application intéressante a été faite sur la ligne de Perpignan, à Villefranche, de la Compagnie des chemins de fer du Midi¹.

§ 3. — Système monophasé-triphasé.

Ce système est d'une application très restreinte. Il a été employé dans des conditions spéciales où la distribution de l'énergie devait être faite à haute tension par un fil unique et où un service très dur de lourds trains de marchandises faisait craindre que des moteurs monophasés ne soient pas assez robustes. Dans ce système, le courant monophasé est transformé en triphasé sur la locomotive, au moyen d'un convertisseur de phases, appareil rotatif qui engendre une tension décalée de 90° sur la tension monophasée, de telle sorte que (à la manière de la disposition di-triphasée « Scott »), le vecteur qui représente la tension produite par le transformateur de phases soit perpendiculaire sur le vecteur qui représente la tension monophasée et appliqué au milieu de celui-ci.

Le système monophasé-triphasé, avec une distribution monophasée et des moteurs de traction triphasés, participe aux avantages et inconvénients, signalés plus haut, des systèmes monophasés et triphasés.

§ 4. — Système monophasé continu.

Le système monophasé-continu n'a que très peu d'applications, jusqu'à présent, il n'a guère donné lieu qu'à des essais, dont le but était de réunir les avantages des moteurs à courant continu aux

¹ Voir : *Application des transformateurs-suceurs à la ligne monophasée de Perpignan, à Villefranche, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi*, par Ch. DACHARY (*Revue générale de l'Électricité*, numéro des 8 mars et 7 avril 1917).

avantages que présente le courant monophasé en ce qui concerne la distribution à haute tension.

Ce système conduit à l'emploi de locomotives dont le poids est trop élevé.

Sur le chemin de fer New-York-New Haven-Hartford, on a fait, en 1914, l'essai d'une disposition consistant dans la transformation du courant monophasé en courant continu, par un redresseur à vapeur de mercure placé sur la locomotive; les résultats n'ont pas été satisfaisants, aucune application pratique n'a été réalisée.

§ 5. — Système continu ¹.

Le système continu est le système le plus anciennement employé et celui qui a reçu les plus nombreuses applications.

Les moteurs série à courant continu sont des moteurs robustes et leur technique est bien au point; ils peuvent être construits pour fonctionner dans de très grandes limites de tension; ils se prêtent bien au freinage électrique, soit sur résistances (freinage rhéostatique), soit par récupération de l'énergie.

Les tensions d'alimentation, dont l'unification tend à se faire sur les valeurs de 750, 1.500 et 3.000 volts, avec de larges tolérances en plus ou en moins, varient, dans les installations actuelles, de 550 à 4.500 volts.

Les tensions voisines de 750 volts conviennent aux tramways, aux métropolitains et aux lignes de banlieue où les intervalles séparant les trains sont très courts. Les tensions voisines de 1.500 volts conviennent aux grandes lignes de chemins de fer à grand trafic (c'est la tension adoptée pour l'électrification des grands réseaux de chemins de fer français). Pour les services à trafic relativement faible, la tension de 3.000 volts paraît indiquée.

Les modes de distribution employés avec le système continu sont: le troisième rail (jusqu'à 1.500 volts) ou la ligne aérienne; le pôle positif de la distribution est constitué par un conducteur isolé (troisième rail ou ligne aérienne) et les rails de la voie forment le conducteur négatif. On a appliqué également des modes de distribution à deux conducteurs isolés (ligne aérienne et troisième rail ou deux lignes aériennes) avec tension totale appliquée entre ces deux conducteurs et point milieu de la distribution connecté à la voie. Ce procédé a pour objet de diminuer les difficultés d'isolement des mo-

¹ Voir l'article déjà cité de M. H. PARON: *L'Électrification des Chemins de fer français* (*Revue générale de l'Électricité*, numéro du 25 décembre 1926).

teurs; la tension par rapport à la terre étant réduite de moitié; cependant l'emploi de deux lignes aériennes complique beaucoup l'équipement.

Le système continu se prête à un réglage suffisamment souple de la vitesse grâce aux différents couplages des moteurs de traction qu'il est possible de réaliser: en série pour les petites vitesses, en parallèle pour les grandes vitesses; si le nombre des moteurs le permet, on peut, entre ces deux couplages, utiliser le couplage série-parallèle pour les vitesses moyennes; enfin, par une réduction plus ou moins importante du champ des moteurs, obtenue par le shuntage des circuits inducteurs, on peut, à chaque couplage, obtenir plusieurs échelons de vitesses.

Un inconvénient que peut présenter le système continu, surtout pour la traction urbaine, réside dans l'attaque, par électrolyse due aux courants vagabonds, des conduites métalliques enfouies dans le sol. Pour éviter ces courants vagabonds, la voie de roulement doit être éclissée électriquement avec soin, de manière que sa résistance électrique soit très faible. Dans les systèmes à deux conducteurs isolés, dont il est question ci-dessus, les courants vagabonds sont pratiquement éliminés.

1° Système continu à la ligne aérienne, à tension de 550 à 600 volts. — Ce système est employé couramment pour les tramways.

2° Système continu à troisième rail à tension de 600 à 800 volts. — Le système à troisième rail, à tension de 600 volts, est employé sur les plus anciennes lignes de chemins de fer électriques: Paris-Invalides à Versailles (chemins de fer de l'État), Paris-Orsay à Juvisy (chemins de fer P.-O.), Chemin de fer Métropolitain de Paris, etc. Ce système est encore employé par les chemins de fer de l'État sur ses lignes de banlieue nouvellement électrifiées.

La ligne à voie étroite de Villefranche-de-Confient à Bourg-Madame (chemins de fer du Midi) est équipée avec troisième rail à 800 volts.

3° Système continu à deux conducteurs de courant isolés. — On trouve deux sortes d'applications de ce système:

a) *Ligne aérienne et troisième rail.* — C'est la disposition du chemin de fer souterrain Nord-Sud de Paris. Entre la ligne aérienne et le troisième rail est appliquée une tension de 1.200 volts, le point neutre de la distribution étant connecté aux rails de roulement. La ligne aérienne est à + 600 volts et le troisième rail à - 600 volts par rapport au sol; IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

b) *Deux lignes aériennes.* — Ce dispositif est appliqué sur les tramways de Grenoble à Chapareillan (tension totale de 1.200 volts entre conducteurs, soit ± 600 volts entre chaque conducteur et la terre) et sur le chemin de fer de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure (tension totale de 2.450 volts entre conducteurs, soit ± 1.200 volts entre chaque conducteur et la terre).

4° **Système continu des Grands Réseaux de chemins de fer français à 1.500 volts.** — C'est après un voyage d'études en Amérique d'une commission d'ingénieurs de traction des Grands Réseaux, et conformément aux conclusions du rapport de M. Mauduit sur la traction électrique aux États-Unis et de l'étude faite par l'Office Central d'Études de Matériel de chemins de fer, que fut décidée l'adoption du courant continu à 1.500 volts pour l'électrification des chemins de fer français.

L'énergie électrique est reçue, sous forme de courant triphasé à haute tension dans des sous-stations situées le long des voies électrifiées, à une distance moyenne de 20 kilomètres l'une de l'autre, et transformée, dans ces sous-stations, en courant continu à 1.500 volts.

Les Compagnies du Midi, de Paris-Orléans et de Paris-Lyon-Méditerranée sont les plus engagées dans les travaux d'électrification.

La Compagnie du Midi poursuit un programme qui comprend l'électrification de plus des trois quarts de son réseau.

Les sous-stations de traction sont équipées, les unes avec des commutatrices à 750 volts (deux en série) ou à 1.500 volts, les autres avec des redresseurs à vapeur de mercure.

Les lignes de contact sont à suspension caténaire avec un seul fil de contact et un fil auxiliaire de suspension. La prise de courant des locomotives est faite uniquement par pantographes.

Les lignes électrifiées sont desservies par des locomotives (type BB) de 1.000 chevaux de puissance continue et 1.250 chevaux de puissance unihoraire, à deux bogies moteurs; chaque essieu est attaqué par un moteur au moyen de deux jeux d'engrenages à simple réduction. Selon le type des engrenages, ces locomotives peuvent atteindre des vitesses de 55 kilomètres à l'heure (locomotives à marchandises) ou 74 kilomètres à l'heure (locomotives à voyageurs). Le freinage peut être obtenu par récupération. Ces locomotives pèsent 74¹/₂. La Compagnie du Midi fait construire un autre type de locomotive à deux bogies et trois essieux moteurs (type 2C2) pour trains de grande vitesse, d'une puissance continue de 1.800 chevaux et unihoraire de 2.250 chevaux, dont les premières étaient en essai au début de 1927.

En mars 1930, la Compagnie du Midi exploite électriquement 918 kilomètres de ligne : Bordeaux-Hendaye, 249 kilomètres, Pau à la

frontière, 106 kilomètres, Dax-Toulouse, 302 kilomètres, Perpignan-Villefranche et à la tour de Carol, 109 kilomètres.

La Compagnie de Paris à Orléans a entrepris l'électrification d'un certain nombre de ses lignes.

Les sous-stations de traction sont équipées avec des commutatrices à 750 volts (deux en série).

Les lignes de contact sont à suspension caténaire avec fil auxiliaire de suspension à deux fils de contact. Entre Paris-Austerlitz et Brétigny, un troisième rail est connecté en parallèle avec la ligne caténaire.

Les locomotives peuvent capter le courant par pantographes sur la ligne aérienne et par frotteurs sur le troisième rail.

Les locomotives sont du type BB à deux bogies moteurs du poids de 70 à 75 tonnes, d'une puissance continue de 1.370 chevaux et unihoraire de 1.670 chevaux. Le freinage peut être obtenu par récupération.

La Compagnie d'Orléans a fait construire également une machine à deux bogies et six essieux moteurs (2CC2) du type Gearless d'une puissance continue de 2.100 chevaux et unihoraire de 3.000 chevaux, deux machines Ganz à deux bogies et quatre essieux moteurs (2D2), à transmission de mouvement par bielles, d'une puissance continue de 3.600 chevaux et unihoraire de 4.000 chevaux et deux machines Brown-Boveri à deux bogies et quatre essieux moteurs (2D2) à transmission par engrenages et dispositif d'entraînement Buchli, d'une puissance continue de 3.000 chevaux et unihoraire de 3.600 chevaux. Ces machines sont destinées aux trains à grande vitesse.

En mars 1930, les lignes exploitées sont celles de Paris-Vierzon par Orléans à quatre voies (200 kilomètres) et celles de Brétigny-Dourdan. La Compagnie se propose d'électrifier Vierzon-Brives, 300 kilomètres et Orléans-Tours, 114 kilomètres.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a procédé à l'électrification de la ligne de Culoz à Modane et étudie l'électrification des lignes Marseille-Vintimille et Cannes-Grasse.

Les sous-stations sont équipées avec des commutatrices à 750 volts (deux en série).

Les voies sont équipées partiellement avec lignes de contact à suspension caténaire, partie avec troisième rail.

Les locomotives peuvent capter le courant par pantographes sur la ligne caténaire et par frotteurs sur le troisième rail. Elles ont une puissance continue de 1.800 chevaux et unihoraire de 2.300 chevaux, et sont à transmission par engrenages avec moteurs suspendus par le nez pour les machines à petite vitesse, et avec moteurs jumelés entraînant un arbre creux entourant l'essieu pour les machines à grande vitesse. Toutes ces locomotives peuvent fonctionner, en traction comme en récupération, suivant trois couplages différents des mo-

teurs donnant trois régimes de vitesses. A chaque couplage, en traction, on dispose de deux crans de shuntage des moteurs, ce qui donne au total neuf vitesses de marche dite « économique », c'est-à-dire sans résistances de démarrage insérées dans le circuit des moteurs de traction. Ces locomotives possèdent un dispositif automatique pour empêcher le freinage à air sur la machine pendant la récupération et un autre dispositif de freinage automatique du train lorsqu'il y a raté de récupération.

5° Systèmes continus à 2.400 et 3.000 volts. — Le « Butte, Anaconda and Pacific Ry » (États-Unis) a électrifié plusieurs de ses lignes en courant continu à 2.400 volts, avec ligne de contact caténaire.

Le « Chicâgo, Milkwaukee and Saint-Paul Ry » a électrifié la partie montagnaise de sa ligne transcontinentale en courant continu à 3.000 volts, avec ligne caténaire à deux fils de contact. Les locomotives sont à freinage par récupération d'énergie 1.

6° Système continu à 4.500 volts. — La ligne de Turin à Lanzo et à Cérés (Italie) est électrifiée en courant continu à 4.500 volts. Bien que cette installation soit peu importante (la ligne n'a que 43 kilomètres de longueur), elle est très intéressante, tant en raison de la tension élevée à laquelle les locomotives reçoivent le courant que par les dispositions adoptées pour l'équipement. Une seule sous-station de transformation placée vers le milieu de la ligne comporte deux groupes moteurs-générateurs et un redresseur à vapeur de mercure qui fonctionne parfaitement. La ligne de contact est du type caténaire simple. Les locomotives ont leur contrôleur commandé mécaniquement et les circuits de contrôle y sont à peu près inexistants ; elles possèdent le freinage rhéostatique.

∴

Il résulte de l'exposé succinct qui précède, concernant l'électrification des chemins de fer, qu'on peut considérer dans les installations de traction électrique trois parties principales : sous-stations, lignes de contact, locomotives.

Les sous-stations monophasées peuvent être équipées avec des transformateurs statiques. Dans les sous-stations pour le courant continu, il faudra installer des machines rotatives (commutatrices ou groupes moteurs générateurs), à moins d'employer des redresseurs à vapeur de mercure.

1 Voir *La Traction électrique aux États-Unis*, par M. JAPIOT et FERNAND (Extrait des *Annales des Mines*, 1921, Dunod, à Paris).

Les lignes de contact pour les chemins de fer sont à suspension caténaire, simple ou avec câble porteur auxiliaire, et à un ou deux fils de contact.

Les locomotives possèdent des moteurs à suspension par le nez jusqu'à la vitesse de 80 kilomètres à l'heure environ ; pour les vitesses plus grandes, on emploie des moteurs jumelés avec transmission par engrenages et arbres creux entourant l'essieu et modes d'entraînement divers des roues motrices. Les systèmes de transmission par bielles ont été surtout employés par les chemins de fer fédéraux suisses, mais il semble que, maintenant, cette administration donnerait la préférence aux systèmes de transmissions par engrenages.

Avantages de l'électrification. — Avant la guerre l'électrification n'avait été envisagée que pour répondre à des besoins tout à fait spéciaux : exploitation des lignes de banlieue, des lignes de montagnes à fortes rampes, traversée des souterrains de grande longueur.

Devant la nécessité dans laquelle la France s'est trouvée après guerre de réduire au maximum ses importations et en particulier celles de charbon on a été amené à chercher une utilisation aussi grande que possible de l'énergie produite par les chutes d'eau. Les chemins de fer pouvaient assurer les frais de l'organisation de ces chutes et avaient par l'électrification de la traction le moyen d'utiliser leur puissance.

Trois réseaux : le Midi, le P. L. M., le P. O. desservant des régions montagneuses riches en forces hydrauliques établirent un programme général d'électrification portant sur un ensemble de près de 9.000 kilomètres soit le cinquième du réseau d'intérêt général français et se décomposant en :

Midi.....	3.300 kilomètres sur	4.233
P.O.	3.000	— 7.469
P.L.M.	2.500	— 9.807
Total	8.800	

Ce programme a été officiellement approuvé en 1920 par le ministère des travaux publics. En Mai 1929, 1.236 kilomètres étaient exploités avec la traction électrique.

Midi.....	871 kilomètre
P.L.M.....	135 —
P.O.....	230 —
Total.....	1.236 —

Le Midi a en cours d'électrification 650 nouveaux kilomètres de lignes. L'État a financé 1.236 kilomètres de banlieue.

Pour des raisons spéciales le Nord et l'Est n'ont pas envisagé l'électrification.

Actuellement ce n'est encore que pour les lignes à très grand débit ou à très fortes rampes que l'électrification est intéressante. C'est pour ces lignes qu'elle a été envisagée.

Avantages techniques de l'électrification. — Ce sont : pour voyageurs la suppression des fumées et des escarbilles.

Pour le personnel, un service moins pénible pour la conduite des machines, la suppression du danger d'asphyxie dans les souterrains de grande longueur.

Pour le réseau, la suppression des dangers d'incendies occasionnés par les escarbilles, la suppression du transport intérieur et de la manutention du combustible et des cendres, la suppression des installations de prise d'eau, une capacité plus grande d'utilisation des locomotives.

Pour les lignes de banlieue en particulier pour lesquelles on peut trouver facilement des locomotives électriques présentant une grande marge de puissance, pour lesquelles on peut former des rames à unités motrices multiples, l'électrification par la plus grande accélération qu'elle permet aux départs augmente la vitesse commerciale et le débit de ligne, les manœuvres dans les gares en cul-de-sac sont supprimées, d'où meilleure utilisation des voies à quai, augmentation de rendement du personnel et du matériel.

Avantages financiers. — Suppression de l'achat de charbon, suppression des frais de transport et de manutention du charbon et des cendres.

Meilleur rendement du personnel de conduite. Diminution du personnel de préparation.

Ces avantages ont comme contre-partie :

Les charges annuelles d'intérêt et d'amortissement correspondant aux dépenses d'installation des sous-stations, ligne de transport, ligne de contact, éclissage électriques des voies.

Dépenses de production ou d'achat d'énergie électrique, de conduite et d'entretien des sous-stations, des lignes de transport et des lignes de contact.

Dépenses supérieures d'achat des locomotives électriques.

On n'est pas encore définitivement fixé sur les frais d'entretien et de renouvellement du matériel fixe et moteur, quoi qu'il en soit l'ensemble des dépenses n'est pas proportionnel au trafic et l'expérience prouve qu'au delà d'un certain trafic les économies procurées

par la traction électrique sont supérieures aux charges nouvelles qu'elle entraîne.

Quoi qu'il en soit, même si l'électrification ne se soldait pas par un bénéfice pour les réseaux il en résulterait pour la nation le bénéfice de n'avoir pas acheté du charbon à l'étranger.

D'autre part l'électrification des réseaux est favorable à la diffusion de la force motrice électrique et par suite au développement de l'industrie.

Électrification en Amérique. — A titre de comparaison nous mentionnerons qu'aux États-Unis, il y a un peu plus de 400.000 kilomètres de ligne, ce qui représente un total de 675.000 kilomètres de voie avec environ 63.000 locomotives. L'ensemble des lignes électrifiées a une longueur de 2.680 kilomètres, soit 6.420 kilomètres de voie avec 450 locomotives électriques et 1.780 automotrices. De nouveaux projets en construction donneront 370 kilomètres de plus de lignes électrifiées soit 1.160 kilomètres de voie¹. Il y a donc environ 1 0/0 de voie électrifiée.

Prix des locomotives électriques. — Les 200 locomotives B. B. du P. O. ont été payées en moyenne en 1926-1927 11 fr. 70 le kilogramme.

En 1930 ces machines seraient payées environ 18 francs le kilogramme. Il faut compter actuellement un prix de 18 à 20 francs le kilogramme.

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie relative à la traction électrique est très abondante. On peut signaler parmi les ouvrages ou articles de revue particulièrement intéressants, en plus de ceux qui ont été cités plus haut :

Chemins de fer électriques, par M. BACHELLERY, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer du Midi (J.-B. Bailière, éditeur).

Note sur l'électrification des chemins de fer du Midi, par MM. LÉBOUCHER, ingénieur en chef et LEDOUX, ingénieur principal des services techniques du matériel et de la traction des chemins de fer du

¹ Mémoire de M. George Gibbs, à l'Assemblée annuelle de la National Electric Association, le 5 juin 1929; *Les Chemins de fer et les Tramways*, Août 1929. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Midi (*Revue générale des chemins de fer*, numéros de mars, mai, juin, juillet, août 1923, Dunod, éditeur).

Note sur la première étape du programme d'électrification partielle du Réseau P.-L.-M., par M. JAPIOT, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction des chemins de fer P.-L.-M. (*Revue générale des chemins de fer*, numéro de novembre 1923, Dunod, éditeur).

Électrification partielle du Réseau de la Compagnie d'Orléans, par M. PARODI, directeur honoraire des services d'électrification, ingénieur-conseil de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans (*Revue générale des chemins de fer*, divers numéros de novembre 1925 à mars 1927, Dunod, éditeur).

La traction électrique aux États-Unis de 1920 à 1926, par M. JAPIOT, *Annales des Mines*, 12^e série, t. XII, juillet 1927.

La traction électrique sur les chemins de fer, par M. P. LEBOUCHER, (T. M., 1^{er} janvier 1930).

Les locomotives électriques à grande vitesse du P.-L.-M., par M. JAPIOT (R. G., Décembre 1929).

Locomotives électriques à 1.500 volts

NOMBRE de locomotives	ANNÉE de mise en service	SÉRIE	CONSTRUCTEURS	DIAMÈTRE des roues motrices	NOMBRE DE MOTEURS	PUISSANCE des moteurs Champ maximum		EFFORTS de traction Champ maximum	
						Régime continu	Régime unihoraire	Régime continu	Régime unihoraire
						CV	CV	kg	kg
Paris									
1° A voyageurs et à marchandises.									
80	1925-26	E. BB. 1	Société d'Études	1,240	4	1.320	1.640	7.760	10.33
80	1925-26	E. BB. 101	Batignolles-Oerlikon	1,350	4	1.500	1.720	8.400	9.88
40	1926	E. BB. 201	Alsacienne	1,350	4	1.240	1.420	7.200	8.87
	1926	E. BB. 209		1,350	4	1.320	1.680	7.520	10.33
16	1927	E. BB. 225	Const. Électr. France	1,350	4	1.240	1.500	7.200	9.50
2° A grande vitesse.									
1	1926	E. 2D2.401	Société Ganz	1,750	4	3.380	4.200	13.000	17.20
1	1926	E. 2D2.402							
2	1926	E. 2D2.501	Électro-mécanique Brown-Boveri	1,750	4	3.200	3.600	13.000	15.20
1	1925	E. 2CC2.601	Société d'Études	1,200	6	2.040	2.710	6.060	8.90
Paris à Lyon									
1	Ces locomotives ne sont pas en service régulier.	242. AE. 1	Alsacienne	1,600	8	2.200	2.450	8.000	12.100
1		242. BE. 1	Batignolles-Nantes Oerlikon	1,600	8	2.440	2.720	11.600	13.400
4		262. AE. 1	id. 1	1,600	12	4.800	5.336	13.000	18.000

1 Cette locomotive est actuellement, comme l'a fait remarquer M. Japiot (*La Houille* entendu, les « trains de locomotives » obtenus en attelant l'une derrière l'autre et

des grands réseaux français.

MODE	POIDS	POIDS	DISPOSITIONS DES ESSIEUX	SCHÉMAS
de		adhé-		des
Transmission	total	rent	et des moteurs	cabines
Orléans.				
Engrenages susp ^{ns} par le nez	69.200	69.200		
id.	76.700	76.700		
id.	77.400	77.400		
id.	78.000	78.000		
id.	73.200	73.200		
Bielles hyperstatiques	129.950	72.000		
Bielles isostatiques	131.730	72.000		
Engrenages « Büchli »	125.000	72.000		
« Gearless » commande directe	117.650	76.140		
la Méditerranée.				
Engr ^{ns} élastiques	130.090	71.500		
Engrenages et bielles élastiques	124.540	73.500		
id.	158.000	108.000		

Manche, juillet-août 1929), la plus puissante au monde, en ne comptant pas, bien nombre quelconque de machines fonctionnant en unités multiples.

NOMBRE de locomotives	ANNÉE de mise en service	SÉRIE	CONSTRUCTEURS	DIAMÈTRE des roues motrices	NOMBRE DE MOTEURS	PUISSANCE des moteurs Champ maximum		EFFORTS de traction Champ maximum	
						Régime continu	Régime unitaire	Régime continu	Régime unitaire
						CV	CV	kg	kg
Paris à Lyon									
1		161. AE.1	Société d'Études	1,250	6	2.220	2.450	9.000	12.300
1	Ces locomotives ne sont pas en service régulier.	161. BE.1	id.	1,250	6	2.220	2.450	14.100	19.300
8		161. BE.2	id.	1,250	6	2.220	2.450	14.100	19.300
9		161. CE.1	Alsacienne Constr. Électriques	1,400	6	2.125	2.366	12.400	18.500
1		161. DE.1	Fives-Lille Électro-mécanique	1,440	6	2.130	2.366	11.750	17.000
1		161. DE.2	id.	id.	id.		2.366	11.750	17.000
Midi									
10	1926-28	E.4001	Const. Électr. France	1,400	4	1.000	1.400	10.000	12.800
50	1923-28	E.4501	C. E. F.	1,400	4	1.000	1.400	5.000	8.000
17	1928	E.4101	C. E. F.	1,400	4	1.000	1.400	7.600	12.300
<i>Locomotives électriques à grande vitesse.</i>									
10	1928	E.3101	C. E. F.	1,750	6	1.500	2.100		
Est									
10	1900	5001 (1 ^{re} série)	{Locomotion Électrique (modifiées par le ré- seau en 1926).	1,350	4	90	150	800	2.100
30	1922	Z.6001 (2 ^{me} série)	Schneider et Cie	1,200	4	125	250	1.200	4.400

MODE	POIDS	POIDS	DISPOSITIONS DES ESSIEUX	SCHÉMAS
de	total	adhé-	et des moteurs	des
Transmission		rent		cabines
<i>à la Méditerranée (suite).</i>				
Engrenages susp ^{ns} par le nez id. id.	118.940 121.990 122.000	96.350 108.300 103.800		
Engren ⁺ élastique	125.000	106.400		
Engrenage susp ^{ns} par le nez Engrenage rigide	129.480 129.480	110.330 110.330		
Engrenages susp ^{ns} par le nez Engrenages Engrenages	68.500 68.500 76.000	68.500 68.200 76.000		
Egr ^{ns} coniques moteurs verticaux	105.600	57.000		
Eagrenages	52.000	52.000		
Engrenages susp ^{ns} par le nez	63.000	63.000		

TROISIÈME PARTIE

MATÉRIEL DE TRANSPORT

Préliminaires. — Le matériel de transport se compose de *voitures* destinées au transport des voyageurs, de *fourgons* et de *wagons* affectés au transport des marchandises.

Les voitures ou wagons sont formés de deux éléments: 1° le *train*, comprenant le châssis proprement dit, les essieux, les roues, les boîtes à graisse, les ressorts et les appareils d'attelage; 2° la *caisse*.

CHAPITRE XI

TRAIN OU CHASSIS

§ 1. — Caractères généraux.

Le matériel roulant des chemins de fer se distingue de celui en usage sur les routes par les caractères généraux suivants:

1° Application de mentonnets ou boudins aux bandages de roues, afin de maintenir celles-ci dans la voie;

2° Calage des roues sur les essieux, en vue de donner plus de solidité à l'ensemble de l'essieu et des deux roues;

3° Conicité des bandages, pour racheter la différence des parcours effectués par chaque roue, dans les courbes, et maintenir le véhicule dans l'axe de la voie en alignement droit;

4° Parallélisme plus ou moins absolu des essieux, dans un but de simplification et de solidité;

5° Position des roues sous les caisses qui débordent latéralement, ce qui permet de donner à ces dernières la plus grande largeur possible;

6° Application de la charge sur des fusées extérieures aux roues; on a ainsi une grande stabilité.

§ 2. — Châssis.

On a substitué l'acier au bois employé au début des chemins de fer, il n'est pas douteux que l'emploi du métal augmente sensiblement le poids mort du véhicule mais il augmente en même temps la solidité et la durée, tout en diminuant le prix de revient.

Pour les voitures à voyageurs, certaines Compagnies, notamment en Angleterre, préfèrent toutefois les châssis en bois. Avec ceux-ci et les roues Mansell, à centre en bois, elles prétendent obtenir un roulement plus doux et moins de sonorité.

Depuis quelques années, on construit des châssis de wagons en tôle emboutie ; on en fait aussi en fers creux, c'est-à-dire de forme tubulaire.

§ 3. — Essieux.

Parties de l'essieu. — On appelle *essieu monté* l'ensemble de deux roues montées sur un *essieu axe*. Dans un essieu axe, on considère trois parties: les *fusées*, sur lesquelles porte la charge ; les *portées de calage*, où sont fixées les roues ; le *corps* de l'essieu, partie qui est entre les roues.

Efforts. — Les essieux, lorsqu'ils sont en mouvement, se trouvent soumis à des efforts qui peuvent être classés en cinq groupes ;

1^o Efforts de flexion dus à ce que la charge portant sur les fusées ne passe pas par les points d'appui des roues sur les rails ;

2^o Efforts de cisaillement au droit des mêmes points ;

3^o Efforts de flexion résultant des chocs des boudins sur les rails ;

4^o Efforts de torsion provenant de la résistance au roulement appliquée à la jante des roues ;

5^o Efforts de torsion dus aux parcours sur les courbes.

Quelques-uns de ces efforts peuvent être déterminés par le calcul, mais il en est qui échappent à toute analyse, et ne peuvent être évalués même approximativement ; tels sont les chocs des rails sur les boudins.

En raison de la rotation de l'essieu, ces efforts agissent constamment en des points différents ; les fibres de l'essieu sont alternativement tendues et comprimées par suite des efforts de flexion dus à l'application de la charge. Cette répétition d'efforts alternatifs diminue considérablement la résistance de l'essieu aux parcours, ainsi

que l'ont montré les expériences de Wœlher¹. C'est pour cela que les Compagnies de chemins de fer mettent au rebut d'office les lots d'essieux ayant un certain temps de service, lorsque ces lots commencent à présenter des cas de rupture.

Dimensions. — Les dimensions des essieux sont déterminées par des règles empiriques desquelles on déduit non seulement le diamètre que doit avoir la fusée pour résister à la charge qu'elle doit porter, mais encore la surface qu'elle doit présenter, eu égard à cette charge, pour que la matière lubrifiante interposée entre la fusée et le coussinet ne soit pas expulsée par la pression.

Charge limite au point de vue graissage. — Soient :

r , rayon de la fusée, en millimètres ;

l , longueur de la fusée, en millimètres ;

P , la charge sur la fusée, en kilogrammes ;

p , la pression par cm^2 à ne pas dépasser pour maintenir un bon graissage (15 à 20 kilogrammes pour la grande vitesse, et 20 à 30 kilogrammes pour les véhicules de petite vitesse) ;

K , la portion, en centimètres carrés, de la surface du coussinet reposant sur la fusée [on admet généralement $K = 0,85 \left(\frac{2rl}{100} \right)$].

On devra avoir :

$$P = Kp \leq \frac{0,85 (2rl) \times p}{100}$$

C'est ainsi qu'un essieu ayant une fusée de 100 millimètres de diamètre, 200 millimètres de longueur, pourra être chargé, sans crainte de chauffage sur chacune de ses fusées, de :

$$P_1 = \frac{0,85 \times 100 \times 200 \times 30}{100} = 5.100 \text{ kilogrammes en petite vitesse ;}$$

$$P_2 = \frac{0,85 \times 100 \times 200 \times 20}{100} = 3.400 \text{ kilogrammes en grande vitesse.}$$

Charge limite au point de vue de la flexion. — On peut considérer la fusée comme un solide encastré à une de ses extrémités et libre à l'autre ; les conditions de résistance de ce solide sont données par la formule classique :

$$X = \frac{RI}{V}$$

¹ Couche, *Valeur pratique pendant et exploitation technique des chemins de fer*, t. II, p. 121.

dans laquelle on a :

$$\text{le moment de flexion : } X = \frac{Pl}{2};$$

$$\text{le moment d'inertie : } I = \frac{\pi r^4}{4},$$

la plus grande distance à la fibre moyenne : $V = r$;

l'effort par millimètre carré de section de la fusée : R .

On a donc :

$$\frac{Pl}{2} = R \times \frac{\pi r^4}{4} \times \frac{1}{r} = \frac{\pi R r^3}{4},$$

d'où :

$$P = \frac{\pi R r^3}{2l} \quad \text{et} \quad r = \sqrt[3]{\frac{2Pl}{\pi R}}$$

On fait généralement $l = 4r$, de sorte qu'il est facile, à l'aide des formules précédentes, de déterminer P , si l'on connaît r et l , ou, inversement, de déterminer r et l , si l'on connaît P .

En prenant les essieux de l'exemple précédent, et en admettant que l'on fasse travailler le métal à 5 kilogrammes par millimètre carré pour la petite vitesse et à 3^k5,500 pour la grande vitesse, ce qui donne toute sécurité, on aurait :

$$P_3 = \frac{3,14 \times 5 \times 50^3}{200 \times 2} = 4.901 \text{ kilogrammes en petite vitesse;}$$

$$P_4 = \frac{3,14 \times 3,5 \times 50^3}{200 \times 2} = 3.434 \text{ kilogrammes en grande vitesse.}$$

Dans chaque cas, on choisit le plus petit des deux nombres P_1 ou P_3 et P_2 ou P_4 ; en petite vitesse les fusées de l'essieu en question seront chargées à 4.901 kilogrammes (on a trouvé 5.100 pour la résistance au chauffage), et, en grande vitesse, à 3.400 kilogrammes (au lieu de 3.434, chiffre trouvé pour la résistance à la flexion).

Pour les essieux supportant une charge variant entre 6 et 14 tonnes, c'est-à-dire 3 à 7 tonnes par fusée, les dimensions des fusées varient entre 85 millimètres et 130 millimètres de diamètre sur 170 à 280 millimètres de longueur; le diamètre au milieu varie entre 120 et 160 millimètres: le diamètre à la portée de calage varie entre 150 et 200 millimètres.

En général, la pression statique d'une roue de véhicule ne doit pas, sous pleine charge, dépasser 7 tonnes. Elle pourra atteindre 8 tonnes sur les sections dont la voie et les ponts offrent une résistance suffisante.

Le bureau de la Conférence pour l'unité technique des voies ferrées publie périodiquement des feuilles donnant : *l'écartement maximum des essieux extrêmes* ; — *la charge maxima par roue* ; — *le gabarit de chargement* — des véhicules admis à circuler sur les chemins de fer en trafic international. D'après ces feuilles, la charge maxima admise par roue est :

Etat.....	7.350 kilogrammes ¹	
Nord.....	7.500 ²	—
Est.....	7.350 ¹	—
P.-L.-M.....	7.500 ³	—
Midi.....	8.350	—
P.-O.....	7.600 ⁴	—

Conditions de fabrication et d'essai. — En France, la fabrication des essieux en acier pour voitures et wagons fait l'objet d'un cahier des charges unifié ⁵.

Écartement des essieux ; empattement. — L'écartement des essieux descend rarement au-dessous de 3 mètres ; il atteint 5^m,50 et 5^m,70 pour les voitures à deux essieux de dimensions ordinaires.

Pour les voitures à trois essieux, dont le nombre se développe, sinon en France, du moins à l'étranger et notamment en Angleterre, l'espacement varie entre 5^m,600, 7^m,250 et 8^m,400.

Enfin, lorsqu'il s'agit de voitures très longues qui nécessitent l'emploi de quatre essieux et plus, on a recours aux bogies, sur les centres desquels repose la caisse. Chaque truck, ou bogie se compose de deux ou trois essieux et peut pivoter autour de son centre en per-

¹ La longueur du wagon doit être telle que la tare ajoutée à la charge utile donne un poids maximum de 5.250 kilogrammes par mètre courant de wagon.

² A la condition que l'écartement de deux essieux consécutifs d'un même véhicule sans bogies ou de deux essieux voisins de deux véhicules attelés ne descende pas au-dessous de 3 mètres. Dans le cas où cet écartement serait inférieur à 3 mètres, la charge de 15.000 kilogrammes devrait être diminuée dans le rapport de cet écartement à celui de 3 mètres.

³ La longueur du wagon doit être telle que la tare ajoutée à la charge utile donne un poids maximum de 5.400 kilogrammes par mètre courant hors tampons ; au-dessus de cette limite une décision spéciale doit intervenir.

⁴ La longueur du wagon doit être telle que la tare ajoutée à la charge utile donne un poids maximum de 4.000 kilogrammes par mètre courant de wagon. (Pour les wagons pesant plus de 4.000 kilogrammes par mètre courant, la mise en circulation sur le réseau doit être précédée d'un avertissement préalable.)

⁵ Voir *Recueil des cahiers des charges unifiés* (Dunod, éditeur).

mettant alors aux essieux de prendre la position radiale. Dans ce cas, l'espacement des essieux extrêmes peut atteindre 14 mètres et même 17^m.70, comme dans les voitures à bogies de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée dont la longueur de caisse est de 20^m.56.

Dans le matériel à marchandises, le nombre des essieux est également réduit à deux, sauf pour certains transports spéciaux exigeant, par leur masse indivisible, plus de quatre points d'appui sur la voie; pour la facilité des manœuvres sur plaques tournantes dans les gares, leur écartement extrême varie en général de 2^m.50, minimum accepté par la Conférence de Berne pour le matériel en construction, à 4^m.500, mais il dépasse notablement cette cote sur les wagons de grande capacité que l'on construit de plus en plus aujourd'hui. Ces wagons ne pouvant pas tourner sur les plaques, leur longueur n'est plus limitée par le diamètre de celles-ci.

Aux termes du B. O., l'empatement fixe (abstraction faite des bogies) devra être d'au moins 2^m.5 et ne pourra pas dépasser 4^m.5 pour les véhicules neufs.

Écartement des essieux extrêmes, actuellement admis par les compagnies françaises :

État.....	8,5 m.
Nord.....	8,5
Est.....	9,0
P.-L.-M.....	8,4
Midi : Mende à la Bastide et Bertholène à Espalion.....	4,5
— toutes les autres lignes.....	9,0
P.-O.....	8,5

Ces écartements sont soumis à des réductions, si les véhicules ont des essieux rigides, — c'est-à-dire ne comportant que les jeux stricts de montage — et à des augmentations, suivant que les jeux sont plus grands.

Essieux convergents et jeux des essieux. — Divers systèmes plus ou moins ingénieux, mais aussi plus ou moins compliqués, ont été étudiés pour faciliter la circulation dans les courbes de ces longues voitures à essieux parallèles. Les Allemands ont étudié les *Lenkachsen* dont la convergence est obtenue par différents systèmes de balanciers reliant ensemble les essieux pour les obliger à prendre une position radiale¹. Ce système, adopté par le *Verein*, est appliqué à un certain nombre de voitures du réseau allemand; mais, à la suite d'expériences faites en Hollande et sur le réseau de l'Alsace-Lorraine,

il a été reconnu qu'en laissant un certain jeu entre les boîtes à huile et les plaques de garde, on obtenait une radialité suffisante et une très grande stabilité des voitures même aux très grandes vitesses.

C'est à ce dernier système qu'on s'arrête généralement aujourd'hui en ménageant un jeu transversal à l'essieu.

Lorsqu'il s'agit de voitures à trois essieux, l'essieu du milieu seul a du jeu transversalement; les deux essieux extrêmes n'en ont pas, mais suivant l'empatement total, ils peuvent avoir du jeu dans le sens longitudinal pour assurer leur radialité.

D'après le B. O., quand plus de deux essieux se rattachent à un châssis commun, il faut, si l'empatement dépasse 4 mètres, que les essieux du milieu aient un jeu suffisant pour que le véhicule puisse passer sans inconvénient dans les courbes de 180 mètres de rayon. Les essieux dont les roues sont dépourvues de boudins ne doivent toutefois pas avoir de jeu.

§ 4. — Roues.

La roue se compose, le plus souvent, d'un corps de roue calé sur l'essieu et d'un *bandage* appliqué sur le corps de roue avec ou sans interposition d'un faux cercle entre le bandage et la jante du corps de roue.

Le diamètre des roues au roulement, c'est-à-dire non compris le boudin, est généralement de 0^m,930 à 1^m,050, avec bandages neufs.

Bandages. — Le bandage des roues, d'une épaisseur variant entre 55 et 75 millimètres, porte une saillie, mentonnet ou boudin, de 0^m,030 environ de hauteur, suffisante pour les maintenir sur la voie.

Les bandages sont en acier Martin. Le métal doit, suivant la qualité G ou H, résister à un effort de traction de 70 et 90 kilogrammes par millimètre carré avec allongement de 14 ou 8 0/0. Les autres conditions de fabrication et d'essais se trouvent spécifiées, en ce qui concerne les chemins de fer français, dans le *Recueil des cahiers des charges unifiés*¹.

En prévision du passage dans les courbes, les bandages sont coniques, de manière à atténuer la différence de parcours fait par les deux roues et à corriger les effets du déplacement latéral dû à la force centrifuge. La conicité est ordinairement de 1/20.

La question de la conicité des bandages est encore très controversée. En Amérique, les bandages ont été longtemps cylindriques et, récemment encore, différents essais ont été faits en Europe avec ce type. Mais, aujourd'hui, les ingénieurs américains font usage de bandages

légèrement coniques et les autres essais ne paraissent pas avoir donné de résultats bien concluants. La conicité paraît cependant préférable, au moins dans les courbes.

Pose des bandages. — Le bandage est fretté à chaud : le serrage, c'est-à-dire l'excès du diamètre de la jante sur le bandage, à la température ordinaire, est de 1^{mm},5 par mètre du diamètre.

Il existe une grande variété de systèmes de fixation des bandages sur les jantes¹. Le mode de fixation par agrafes continues se développe de plus en plus.

Corps de roues. — Sur le matériel à marchandises les roues généralement employées aujourd'hui sont à rayons ; elles sont généralement en acier moulé ; on emploie aussi des roues à centres pleins, en acier laminé ou en acier moulé. Toutes ces roues sont bandagées. Les roues en fonte coulées en coquille, longtemps proscrites par quelques Compagnies des chemins de fer, ont été admises, sous certaines réserves, par la Conférence de Berne¹.

Sur le matériel à voyageurs les roues à rayons faisant effet de ventilateur ont l'inconvénient de soulever des tourbillons de poussière ; on leur préfère des roues à centres pleins, avec âme plane ou mieux ondulée. Toutes les roues sont également bandagées.

Écartement des roues. — L'écartement des roues des essieux, la largeur et l'épaisseur des bandages, l'écartement extérieur des boudins, leur hauteur, le jeu qu'ils présentent dans la voie sont soumis à des maxima et à des minima adoptés par la Conférence de Berne.

Conditions de fabrication et d'essai. — Les grandes compagnies des chemins de fer français suivent pour la fabrication de corps de roues en acier moulé, ou en acier soudé, les conditions spécifiées par leurs cahiers des charges unifiés².

§ 5. — Ressorts.

La suspension des caisses sur ressorts, indispensable pour les voitures à voyageurs, au point de vue de la conservation de la voie, des véhicules et des essieux, est également appliquée aux wagons à marchandises, malgré la faible vitesse de leur marche habituelle. Leur

¹ Voir, dans la *Revue des Chemins de fer* d'avril 1891, une étude complète sur ce sujet.

² Voir le *Recueil de ces cahiers des charges* (Dunod, éditeur).

emploi est, d'ailleurs, rendu obligatoire par les dispositions arrêtées par la Conférence de Berne.

Le ressort repose en son milieu sur la boîte à huile et est chargé à son extrémité par les longerons du châssis. Les ressorts sont formés de lames d'acier superposées, dont le nombre est variable et dépend de la flexibilité qu'on veut avoir.

Généralement, on réalise une deuxième suspension des caisses, en interposant entre elles et le châssis des rondelles en caoutchouc ou quelquefois des ressorts à boudins.

Les ressorts des voitures de 1^{re} classe, très flexibles, ont de 1^m,80 à 2^m,50 de longueur ; ceux des wagons ont environ 4 mètres. La flexibilité des ressorts est très variable ; on peut compter qu'elle est de :

60 à 145 millimètres	par tonne	pour les voitures ;
30 à 40	—	pour les fourgons ;
14 à 20	—	pour les wagons.

La section de l'acier servant à la fabrication des ressorts a généralement 7 à 8 centimètres de largeur sur 9 à 13 millimètres d'épaisseur, on en rencontre assez souvent de 9 à 10 centimètres de largeur et de 12 à 14 millimètres d'épaisseur.

Le poids d'un ressort ordinaire est de 100 à 140 kilogrammes pour les voitures et de 50 à 70 kilogrammes pour les wagons,

La théorie des ressorts a été donnée par M. Philips, dont on suit toujours les formules ¹. Un recueil de formules pratiques pour le calcul des ressorts a été publié par M. Nachtergal, ingénieur (2^e édition, 1913).

La fourniture de l'acier pour ressorts fait l'objet d'un cahier des charges unifié suivi par les grandes compagnies des chemins de fer français ².

§ 6. — Graissage.

Les fusées des essieux des véhicules ont besoin d'être fréquemment lubrifiées et mises à l'abri de la poussière soulevée par le passage du train ; de là la nécessité de les enfermer dans des boîtes à huile dont les types sont extrêmement variés.

D'une manière générale, on diminue la largeur des coussinets, c'est-à-dire la longueur de l'arc cylindrique embrassé par le coussinet sur la fusée, et on fait les coussinets en métal blanc, en bronze garni

¹ *Annales des Mines*, 1852., t. 1^{er}.

² Voir le recueil édité par Dunod.

de métal blanc, ou simplement en bronze mou, comportant plus de plomb que d'étain. Mais comme la réduction de largeur facilite la montée des coussinets sur les fusées dans les manœuvres à la gravité ou simplement dans les chocs, on est conduit à ajouter des talons de butée qui sont portés par les coussinets ou par les boîtes et qui s'opposent à tout déplacement des fusées par rapport aux coussinets dans le sens longitudinal; ces talons se mettent à hauteur de l'axe des fusées.

On emploie presque partout aujourd'hui pour le graissage des fusées d'essieux des véhicules, des huiles minérales (mazout, schiste, naphte, huiles américaines), soit pures, soit comme au P.-L.-M. mélangées avec de l'huile de colza soit mélangées entre elles comme au Nord.

§ 7. — Attelages.

Les chocs produits par les différences de vitesse dont sont animés les véhicules, pendant leur marche et lors de leur démarrage, sont amortis par des appareils élastiques, qui doivent être résistants et très flexibles lorsqu'il s'agit de voitures à voyageurs.

Il n'y a plus d'exemples de wagons à tampons secs, formés par les saillies des brancards en bois; les véhicules de cette catégorie sont exclusivement réservés au transport du ballast. Il est, d'ailleurs, interdit de les admettre dans la composition des trains renfermant des voyageurs.

Les appareils élastiques consistent, suivant le système employé :

1° En ressorts indépendants et spéciaux pour le choc et pour la traction ;

2° En ressorts uniques non conjugués ;

3° En ressorts uniques conjugués pour la traction et pour le choc.

Les ressorts sont, soit des ressorts à lame, soit des ressorts en spirales; à chaque extrémité du châssis, l'un des tampons est généralement plat et l'autre bombé. On a tendance maintenant à mettre les deux tampons bombés.

Les wagons sont attelés par des crochets à tendeurs et par des chaînes de sûreté; sur le matériel étranger, les chaînes sont souvent supprimées; le tendeur permet de serrer l'attelage et d'atténuer le mouvement de lacet et d'oscillation que prennent souvent les voitures à voyageurs dans les trains à marche rapide.

Dans les voitures et les fourgons à bagages de l'Ouest français, qui sont à ressorts uniques conjugués pour la traction, par exemple, l'amplitude limite de la course est de 0^m,22 pour les tampons et 0^m,065

pour les ressorts de traction : on la réduit à 0^m,115 et 0^m,035 pour les voitures à impériale, qui doivent être soustraites autant que possible au recul produit par la réaction des ressorts après l'arrêt. Sur les voitures de la Compagnie P.-L.-M., qui emploie le système à ressorts indépendants, la course des tampons est 0^m,1-0 et la course de traction 0^m,050.

Les attelages des voitures et wagons doivent satisfaire aux dispositions adoptées par la Conférence de Berne.

Attelages automatiques. — Les chemins de fer américains ont adopté, en 1893, l'accouplement automatique entre les véhicules. C'est un attelage *central* qui sert à la fois pour le choc et pour la traction. L'intérêt que présente l'automatisme de l'accouplement est discuté : la réunion du choc et du tamponnement en un seul organe placé dans l'axe de la voie semble théoriquement n'avoir que des avantages, mais il faut savoir si ces avantages ne sont pas, du fait des appareils employés, compensés par des inconvénients.

En Europe, ce système (employé sur quelques lignes à voie étroite, dont le matériel ne peut avoir à s'accoupler avec celui d'autres réseaux) n'a encore donné lieu qu'à des essais. Un concours d'attelages automatiques a eu lieu en Italie en 1910.

En France, des essais avaient été tentés avec un attelage dû à M. Boirault. Par arrêté du 10 mai 1912 un concours international a été ouvert dans le but de voir s'il ne conviendrait pas d'organiser, comparativement aux essais de l'autocoupleur Boirault, des essais pratiques d'un ou plusieurs appareils de même nature.

A la suite de ce concours, on a retenu les trois autocoupleurs Pavia-Casalis, Piedanna, Lambert, Leduc, auxquels on ajouta l'autocoupleur Henricot, avec tête américaine. Les quatre appareils ont été soumis, en 1920-1921, à des essais comparatifs sur 25 wagons, en vue de déterminer dans quelle mesure ils répondaient aux conditions imposées par le programme. On soumit aux mêmes épreuves l'appareil fixe Boirault. A la suite de ces essais préliminaires, il ne resta en concurrence que les autocoupleurs Boirault et Henricot.

Une deuxième série d'essais également restreints eut lieu en 1923-1924 avec ces deux appareils auxquels les inventeurs avaient apporté certaines modifications reconnues nécessaires par l'expérience.

D'un autre côté, des expériences avaient été faites, en 1912-1913, sur une zone du réseau de l'État avec un appareil *amovible* Boirault, qui s'adapte sur le crochet de traction de l'attelage ordinaire. En 1923-1924, on fit de nouveaux essais avec un appareil amovible Boirault modifié.

En 1924, on fit également des essais avec l'autocoupleur Willison.

Par arrêté du 17 février 1925, fut constituée une « Commission d'examen des appareils d'attelage automatique », à la suite d'essais portant sur les appareils Willison, Henricot, Boirault, la commission

a posé dans les réunions de Lugano des principes qui doivent servir de base à la recherche d'une solution complète du problème.

Il faut remarquer que si la question du remplacement des attelages put être résolue facilement par des réseaux insulaires comme ceux du Japon, ou comme elle pourrait l'être au cas où elle présenterait des avantages, par ceux de la Grande-Bretagne, elle ne pourrait l'être pour les réseaux européens qu'à condition d'être généralisée. C'est pourquoi elle fait l'objet d'une étude par une commission spéciale de l'Union internationale des Chemins de fer.

Dans tous les cas, quelle que soit la solution envisagée, si l'adoption d'un attelage automatique, donc central venait à être décidée, l'application ne pourrait se faire qu'à une date très éloignée après renouvellement d'une partie notable du stock du matériel roulant et consolidations importantes du reste de ce matériel, la constitution des véhicules actuels ne se prêtant pas à l'installation du tamponnement central.

CHAPITRE XII

CAISSE

§ 1. — Voitures à voyageurs.

Types de voitures. — En France, les voitures sont généralement à compartiments séparés, mais les dispositions des portières donnant accès dans ces compartiments sont différentes selon qu'il s'agit de voitures affectées à des trains à arrêts fréquents, ou de voitures affectées à des trains de longs parcours sans arrêts.

Dans les voitures des services à arrêts fréquents chaque compartiment est desservi par des portières latérales afin de faciliter le classement des voyageurs.

Dans les voitures des services à arrêts peu fréquents il n'y a de portières qu'aux extrémités des voitures : l'accès des compartiments est assuré par un couloir allant d'une extrémité à l'autre, couloir sur lequel ouvrent tous les compartiments. Ces voitures à couloirs sont munies, en bout, de soufflets de communication qui permettent d'assurer l'intercirculation d'un bout à l'autre du train, de sorte qu'en intercalant une voiture-restaurant dans le train, on peut supprimer les arrêts pour les buffets aux heures des repas.

Tous les trains rapides et express sont aujourd'hui composés de voitures à intercirculation et à bogies.

Construction de la caisse. — Pour la construction de la caisse, on emploie généralement le chêne et le frêne et quelquefois le teck, pour les membrures et la charpente ; le sapin, pour les planchers, les cloisons et les voligeages ; la tôle d'acier, pour le revêtement extérieur. Quelques Compagnies continuent à employer le teck au lieu de la tôle pour les revêtements extérieurs. On commence à faire des caisses entièrement métalliques.

Première classe. — Les classes sont, en général, au nombre de trois. En France, les anciennes voitures de 1^{re} classe, à sièges capitonnés en drap (qui ont 3 ou 4 comparti-

ments, renfermant chacun 8 places. On compte 0^m,60 à 0^m,65 de largeur par place ; la hauteur est de 1^m,90 à 2^m,10 ; la distance des cloisons de séparation des compartiments est de 2 mètres à 2^m,20. Le poids des voitures à 4 compartiments varie entre 11 et 14 tonnes.

On tend de plus en plus à remplacer ces anciennes voitures par d'autres plus grandes et plus confortables avec W.-C., cabinets de toilette, chauffage à vapeur ou à eau chaude, etc. ; il en sera question plus loin, au paragraphe *Matériel lourd*.

Deuxième classe. — Les anciennes voitures de 2^e classe, à sièges recouverts en drap, sont à 4 compartiments, renfermant chacun 10 places, soit en tout 40 places. La largeur totale intérieure est de 2^m,50 environ, soit 0^m,50 par place ; la distance des cloisons de séparation est de 1^m,60 environ ; la hauteur est de 1^m,90. Le poids varie de 7 à 10 tonnes.

Troisième classe. — Les anciennes voitures de 3^e classe, à sièges en bois, renferment 5 compartiments de 10 places, soit 50 places. On compte 0^m,45 à 0^m,50 de largeur par place, 1^m,20 de distance entre les cloisons et 1^m,75 à 1^m,80 de hauteur. Le poids varie de 7 à 8 tonnes pour les voitures ordinaires à 50 places et s'élève à 14 tonnes pour les voitures des types récents à 7 compartiments de 10 places.

Mixtes. — Les différentes Compagnies emploient des voitures mixtes de types très variés, destinées principalement à la composition des trains circulant sur les embranchements de peu de longueur et à faible trafic : il existe ainsi des voitures de 1^{re}, 2^e et 3^e classes, de 2^e et 3^e classes, et des fourgons avec un compartiment de 2^e et un compartiment de 3^e classes.

Coupés, salons et voitures-lits. — Sur la plupart des grandes lignes françaises, une partie de l'effectif des voitures de 1^{re} classe contient soit des compartiments ordinaires dont les sièges se transforment en couchettes pendant la nuit, soit des compartiments de luxe munis de fauteuils ou de canapés qui se transforment également en lits pour la nuit.

Des wagons-salons peuvent être mis à la disposition des voyageurs, sur demande spéciale, par la plupart des Compagnies françaises.

Des voitures avec terrasse et compartiment central circulent régulièrement sur certaines lignes parcourues par les touristes.

Voitures à étages. — Les voitures à impériales ouvertes ou fermées sont depuis longtemps en usage sur les banlieues de l'État, du Nord et de l'Est. Elles offrent 72 places, dont 32 en haut.

Les voitures à deux étages fermés sont en usage sur la banlieue de

l'Est, elles sont de 3^e classe et renferment 40 places à chaque étage. Leur poids est de 7.400 kilogrammes.

Il y a aussi des voitures mixtes à deux étages et à circulation centrale à l'étage, renfermant, en bas, 8 places de 1^{re} classe, 20 de 2^e et 10 de 3^e; en haut, 40 places de 3^e classe, soit en tout 78 places; le poids est de 7.600 kilogrammes.

Bureaux ambulants. — La poste dispose, à certains trains, de voitures aménagées de manière à pouvoir servir de bureaux ambulants, et on utilise la durée du trajet pour les manipulations qui précèdent la distribution: dans ces bureaux, l'entretien du châssis incombe aux Compagnies et celui de la caisse à l'Administration des Postes. Le poids total d'un bureau ambulant du type ordinaire est de 7 tonnes environ; mais, depuis quelque temps, l'Administration des Postes a mis en service des bureaux ambulants de 14 mètres de longueur de caisse montés sur 2 essieux, dont le poids est de 17 tonnes à vide et de 22 tonnes en charge, et des bureaux de 18 mètres de longueur de caisse montés sur 2 bogies.

Matériel lourd. — La tendance générale est d'augmenter la stabilité et la solidité des voitures à voyageurs et de les rendre aussi confortables que possible.

Les nouvelles voitures sont longues, larges et hautes, le plus souvent à bogies; elles sont à couloir longitudinal avec plates-formes aux extrémités et sont munies en bout de soufflets de communication qui permettent d'assurer l'intercommunication dans les trains; elles sont pourvues de cabinets de toilette avec eau chaude et eau froide et water-closet; elles sont chauffées par la vapeur et sont éclairées à l'électricité. Ces perfectionnements sont appliqués aux voitures de toutes classes; dans les voitures à compartiments de luxe (salons et lits-salons), on prévoit même un cabinet de toilette avec water-closet par compartiment pour que les voyageurs n'aient pas à sortir dans le couloir.

Le poids mort est de ce fait très augmenté; aussi les trains sont-ils de plus en plus lourds et nécessitent-ils des machines de plus en plus puissantes.

On construit couramment des voitures à bogies ayant jusqu'à 22 mètres de longueur totale, 3 mètres de largeur de caisse et 3^m,750 de hauteur; leur poids varie de 35.000 kilogrammes à 42.000 kilogrammes. Le poids des voitures métalliques dépasse même ces chiffres et atteint 45.000 kilogrammes.

Les voitures de première classe ainsi établies comportent sept ou huit compartiments; celles de deuxième classe en comportent huit ou neuf, et celles de troisième classe en comportent neuf ou dix.

Prix des voitures. — Alors que le prix des locomotives ne varie guère avec le type le prix des voitures varie suivant le nombre des compartiments et des aménagements prévus.

En 1929, on a payé des voitures métalliques les prix suivants :

Voitures A ⁶ C ⁶	environ	620.000	francs
— C ¹¹	—	550.000	—
— C ⁴ D.....	—	490.000	—

§ 2. — Fourgons et wagons.

Le matériel à marchandises est établi d'après les mêmes principes que le matériel à voyageurs.

On s'attache aujourd'hui à réduire, autant que possible, la spécialisation des types de wagons, dont la multiplicité est un obstacle à la bonne et facile répartition du matériel.

Parmi les véhicules spéciaux circulant dans les trains de voyageurs, on doit citer les fourgons à bagages, les trucks à équipages, les wagons-écuries et les wagons à lait.

Fourgons. — L'agent du train qui occupe le fourgon y est installé de manière à pouvoir faire le travail des feuilles de route pendant le voyage, surveiller de la vigie où il est placé la marche du train et serrer rapidement le frein. Il est mis en communication avec le mécanicien par une corde aboutissant à une cloche ou à un sifflet placé sur le tender.

La caisse est construite soit en bois, soit en fer : sa longueur, qui était de 5 à 6^m,50 pour les anciens fourgons, est généralement beaucoup plus grande pour les nouveaux. Elle atteint 10 à 13^m,50 pour les fourgons à 2 ou 3 essieux et 18^m,50 environ pour les fourgons à bogies.

La tare varie de 7 à 10 tonnes pour les anciens fourgons, de 11 à 20 tonnes pour les nouveaux à 2 ou 3 essieux et elle atteint 30 à 35 tonnes pour ceux à bogies.

Le prix des fourgons, très variable suivant le type, s'établit généralement à la pièce, mais on peut se faire une idée de la valeur en tablant actuellement sur des prix au kilogramme de 3 francs environ pour les fourgons à 2 ou 3 essieux et de 4 francs environ pour ceux à bogies.

On construit des fourgons à intercirculation avec portes en bout, pour le service des trains de voyageurs et aussi pour le service des messageries ; dans ce dernier cas, l'intercirculation permet aux agents des trains de clas

Trucks à équipages. — Ce sont des plates-formes découvertes, à quatre roues, sur lesquelles on maintient les voitures à l'aide de courroies et de sabots montés sur des barres spéciales appelées barres d'enrayage. Leur longueur varie de 4^m,50 à 6^m,55 et leur tare de 5 tonnes à 8 tonnes.

Pour le transport des automobiles, on emploie des wagons fermés dont les dimensions intérieures sont en rapport avec celles des véhicules à transporter. Ces wagons ont à chaque bout de grandes portes à deux battants et des ponts à rabattement qui permettent de charger et de décharger les automobiles à quai en les faisant rouler sur leurs propres roues. La tare de ces wagons varie de 9.000 à 10.000 kilogrammes.

Écuries. — Les écuries sont disposées de manière à recevoir les chevaux en travers ou longitudinalement. Dans le premier cas, on place cinq stalles et trois ou six dans le second. Les stalles ont 0^m,75 à 0^m,95 de largeur et 3^m,07 de longueur; on y adjoint généralement un compartiment pour le palefrenier. La tare varie de 6 tonnes à 12 tonnes suivant les types.

Wagons couverts et fermés. — Le type courant du wagon à marchandises est le wagon couvert et fermé, à 2 essieux, à portes roulantes; il convient aux marchandises de valeur ou à celles craignant les intempéries. On le fait généralement avec volets sur les côtés afin de pouvoir l'utiliser aussi pour les transports de bestiaux; ces volets une fois fermés peuvent être condamnés de l'intérieur de manière à rendre le wagon complètement clos pour assurer les passages en douane.

Aujourd'hui les wagons couverts et fermés à 2 essieux sont tous construits pour un chargement de 20.000 kilogrammes; la capacité de la caisse est de 45 mètres cubes environ, et la tare varie de 10.000 à 11.000 kilogrammes.

Les wagons couverts plus anciens ne portent que 8.000 à 12.000 kilogrammes de charge; leur poids à vide varie de 5.000 à 8.000 kilogrammes.

Wagons à primeurs. — **Wagons frigorifiques.** — Les wagons à primeurs et les wagons frigorifiques sont des wagons couverts dérivés des précédents, mais qui comportent des dispositions spéciales en vue des transports auxquels on veut les affecter.

Les wagons à primeurs, par exemple, sont munis de persiennes supplémentaires dans le bas de la caisse, sur les faces et sur les bouts, pour permettre d'aérer convenablement la marchandise transportée.

Les wagons frigorifiques, au contraire, sont dépourvus de tout volet ou persienne. Le plancher est double

toiture avec matière isolante, de manière à bien isoler la marchandise transportée de l'air extérieur : ils sont généralement porteurs de bacs à glace destinés à maintenir à l'intérieur une température toujours basse. Dans certains de ces wagons frigorifiques, le froid artificiel est produit à l'aide d'un compresseur actionné par l'essieu et qui agit sur un gaz liquéfié.

Wagons-plates-formes. — Les wagons plates-formes sont des wagons plats, comme leur nom l'indique, mais le plus souvent ils ont des bords peu élevés, de 0^m,200 à 0^m,400 ; ces bords ainsi que les bouts peuvent généralement être rabattus en totalité ou par parties, pour faciliter les chargements.

Le type normal des plates-formes est le wagon à 2 essieux que l'on a fait d'abord avec plancher de 5^m,500 de longueur, pour chargements de 10 tonnes et que l'on établit maintenant avec plancher de 7^m,500 de longueur, pour des chargements de 20 tonnes : le poids à vide est de 6.000 kilogrammes environ pour les wagons de 10 tonnes et de 7.500 kilogrammes environ pour ceux de 20 tonnes.

On construit de plus en plus des plates-formes de grande longueur pour les chargements de rails, grands bois, fers pour ciment armé, etc... Ces plates-formes, dont la longueur du plancher atteint 18 à 20 mètres, sont montées sur bogies et peuvent porter 40 tonnes de charge : leur poids à vide est de 20 à 21 tonnes. Elles sont plates, sans bords, mais généralement munies de ranchers pour retenir les chargements : les bouts de 0^m,200 à 0^m,400 de hauteur sont disposés pour être rabattus.

Wagons-tombereaux. — C'est le type de wagon qui, bâché au besoin, s'applique aux transports les plus variés.

Il est généralement monté sur deux essieux. La hauteur des bords varie de 1 mètre à 1^m,50 ; les côtés sont percés de portes permettant les chargements et déchargements ; parfois les bouts sont aussi disposés pour l'ouverture, avec articulation dans le haut, afin de permettre les déchargements par bout soit à la pelle, soit au basculeur. Normalement employés aux transports de houille, les wagons-tombereaux ont été établis d'abord pour des chargements de 10 tonnes : leur tare était alors de 6 à 7 tonnes : on les construit maintenant pour des chargements de 20 tonnes avec tare de 9 tonnes à 9,500.

On construit aussi des wagons-tombereaux de plus grande capacité, pouvant porter 40 et même 50 tonnes ; ils sont alors montés sur bogies ; mais le grand wagon-tombereau est moins répandu et est d'un usage plus limité que le grand wagon plate-forme : il n'y a que les usines très importantes qui peuvent recevoir des trains de charbon composés de wagons de grande capacité ; pour le service commercial, le wagon à 2 essieux du port de 20 tonnes est bien préférable.

Comme poids des wagons de grande capacité, on peut compter sur 500 kilogrammes de poids mort pour 1.000 kilogrammes de charge utile. On a cependant fait des wagons plus légers dont le poids mort atteint à peine 350 kilogrammes pour 1.000 kilogrammes de charge utile; mais ce sont des cas spéciaux qui ne sont pas entrés dans la pratique courante.

Wagons divers et spéciaux. — En dehors des wagons couverts, plats et houillers que nous venons de décrire, et qui constituent le fonds du matériel d'exploitation des chemins de fer, il existe quantité d'autres wagons, de types divers, dérivés des types principaux mais disposés spécialement pour des transports spéciaux, tels que les wagons-pupitres pour transports de grandes tôles, les wagons-citernes, les wagons à lait, etc.

Prix des fourgons et des wagons. — En 1929 on a payé :

Des fourgons à bogies.....	environ	290.000 francs
— à trois essieux.....	—	150.000 —
Des wagons couverts	—	35.000 à 39.000 —
— plats.....	—	33.000 —
— tombereaux.....	—	32.000 à 35.000 —

§ 3. — Poids mort des véhicules.

Voitures à voyageurs. — Le poids mort par voyageur pour les anciennes voitures de 1^{re} classe ordinaires varie entre 350 et 380 kilogrammes. Pour les voitures de types nouveaux, le poids mort par voyageur peut être estimé comme suit :

500 kilogrammes pour les voitures à 6 roues sans intercirculation, à 4 compartiments de 8 places chacun (32 places).

650 kilogrammes pour les voitures à 6 roues à intercirculation, à 4 compartiments de 6 places, plus 1 place isolée et 1 water-closet (25 places).

850 kilogrammes pour les voitures à bogies à intercirculation, à 7 compartiments de 6 places et 2 water-closets toilette (42 places).

Le poids mort par voyageur pour les voitures de 2^e classe varie, dans le même ordre d'idées, entre 230 kilogrammes pour les anciennes voitures et 300, 400 et 550 kilogrammes pour les nouvelles. Pour des voitures métalliques de 2^e classe, le poids mort par voyageur atteint 625 kilogrammes.

Enfin, pour les voitures de 3^e classe, ce poids mort varie entre 180, 200, 250 et 450 kilogrammes, suivant le type des voitures, il atteint 600 kilogrammes pour les voitures à caisse métallique.

Voici le poids mort par voyageur de quelques voitures ayant figuré à l'exposition de Milan.

<i>État :</i>	Voiture mixte à 7 compartiments de 1 ^{re} et 2 ^e (à 2 essieux)	500 kilogrammes	
	Voiture de luxe avec 4 compartiments de 1 ^{re} et 1 coupé (à bogies).....	1.000	—
<i>Est :</i>	Voiture mixte à 7 compartiments de 1 ^{re} , 2 ^e , 3 ^e classes (à bogies).....	783	—
<i>Midi :</i>	Voiture de 2 ^e classe (à 2 essieux).....	310	—
<i>P.-L.-M. :</i>	Voiture de 1 ^{re} classe à 7 compartiments, dont 1 de luxe (à bogies) ..	938	—

Wagons à marchandises. — Pour les wagons à marchandises, le poids mort par tonne de capacité offerte varie, suivant le type de matériel, de 0^a,500 à 0^a,800.

§ 4. — Coefficient d'utilisation.

Le rapport du nombre des places occupées à celui des places offertes, sur les réseaux français, est de 20 0/0 à 25 0/0. Sur les lignes anglaises l'utilisation des trains de voyageurs paraît s'élever à 50 et 60 0/0, tandis que, sur les autres réseaux européens, elle ressort en moyenne à 20 0/0, en passant de 10 à 15 0/0 pour la 1^{re} classe, à 30 0/0 en moyenne pour la 3^e. Il est bon d'ajouter qu'un certain nombre de Compagnies anglaises ont supprimé la 2^e classe.

§ 5. — Dépréciation du matériel roulant.

Matériel léger. — Au début des chemins de fer, on attribuait au matériel une durée de vingt-cinq ou trente ans après laquelle le matériel pouvait être considéré comme démodé ou usé. On donnait au vieux matériel une valeur égale à 0,10 de la valeur du matériel neuf; celui-ci perdait donc 0,90 de sa valeur en trente ans, soit 0,03 par an.

La même estimation conviendrait encore aujourd'hui pour un matériel légèrement construit.

Estimation de M. de Billy. — M. de Billy¹, au cours d'une exper-

¹ *Mémoire sur la dépréciation d'un matériel roulant de Chemins de fer*, par M. de Billy, inspecteur général des Mines (*Annales des Mines*, 1858, p. 557, et 1859, p. 55).

tise avait trouvé, dans un cas particulier, les chiffres suivants concernant un matériel qui n'avait que trois ans et demi de service :

Désignation du matériel.	Diminution 0/0.
Machines locomotives.....	3,26
Tenders.....	6,50
Voitures à voyageurs.....	6,91
Wagons à marchandises.....	4,59
	<hr/>
Ensemble.....	4,74

Formule usuelle. — Pour estimer la valeur du matériel roulant on suit ordinairement la formule suivante :

$$P = v + \frac{N - n}{N} \times (p - v - r,$$

dans laquelle :

P = prix actuel à déterminer ;

v = estimation de la valeur du matériel comme vieilles matières ;

p = prix d'achat primitif ;

N = durée du matériel (50 ans pour les locomotives, 40 ans pour les voitures et wagons s'il s'agit de matériel bien entretenu faisant un service ordinaire) ;

n = nombre d'années écoulées depuis la mise en service ;

r = évaluation des réparations à faire pour la mise en état du matériel.

Règle suivie par les Compagnies françaises. — Lorsqu'un véhicule est tout à fait brisé et que la Compagnie responsable de l'accident rend les débris, y compris les essieux montés, à la Compagnie propriétaire, celle-ci peut, à son choix, ou le reconstruire, ou le supprimer; la Compagnie responsable paie à la Compagnie propriétaire : dans le premier cas, les frais de reconstruction au prix de revient des ateliers de cette dernière ; dans le second cas, la valeur du véhicule déterminée de la manière suivante :

1° On déduit de la valeur totale du véhicule, à l'inventaire, celle des essieux montés, également au prix d'inventaire, et on obtient ainsi la valeur du wagon sans roues ;

2° On retranche 1/6 de cette dernière, pour tenir compte des débris rendus ;

3° Enfin, des 5/6 restant on retranche encore une dépréciation de 1 0/0 par année de service du wagon détruit.

Le reste constitue le somme à payer.

EXEMPLE :

Prix d'un wagon d'après l'inventaire.....	3.820 fr. 00
Prix des essieux montés d'après l'inventaire.....	900 00
	<hr/>
Prix d'un wagon sans roues.....	2.820 fr. 00
A déduire : Valeur des pièces restantes, 1/6.....	470 00
	<hr/>
Reste 5/6.....	2.350 fr. 00
Donnant une dépréciation annuelle de.....	23 50

La somme à payer sera :

Après 1 an de service, $2.350 - 23,50 =$	2.326 fr. 50
— 5 ans de service, $2.350 - (23,50 \times 5) =$	2.232 50
— 10 — — $2.350 - (23,50 \times 10) =$	2.115 00
— 15 — — $2.350 - (23,50 \times 15) =$	1.997 50

Etc.

§ 6. — Dépense kilométrique d'achat du matériel remorqueur et roulant.

(Estimation d'avant-guerre.)

Le minimum de la dépense kilométrique du matériel roulant, destiné à desservir un chemin à voie large, est de 12 à 15.000 francs ; au delà de ce chiffre, il faut avoir égard au trafic de la ligne.

On estime, en général, que la dépense kilométrique d'acquisition du matériel doit être égale à la recette kilométrique d'une année d'exploitation, quand cette recette dépasse 12 à 15.000 francs ; mais, au delà d'une recette de 70.000 francs par kilomètre, l'évaluation de la dépense de matériel est bien peu élevée.

En général, dans les évaluations de dépense kilométrique d'établissement d'un chemin de fer du quatrième réseau, construit économiquement, on compte sur 25 à 30.000 francs de matériel par kilomètre. Pour les lignes à voies droites, on s'accorde à estimer à 9 ou 10.000 francs la dépense kilométrique du matériel remorqueur et roulant, y compris l'outillage.

La moyenne de la dépense kilométrique, pour tout le réseau français, est actuellement de 60.000 francs. Il est vrai que, dans ce chiffre élevé, l'on tient compte des dépenses d'installation et d'outillage d'immenses ateliers de réparation et de fabrication.

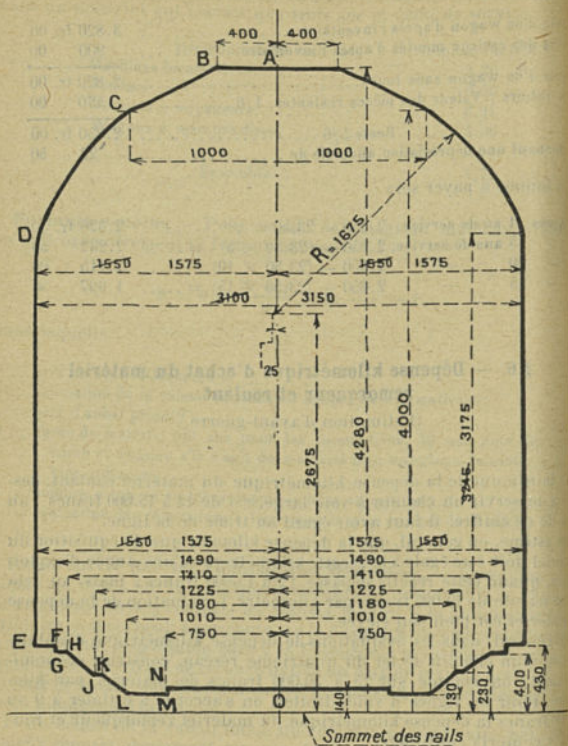


FIG. 75.

Gabarit de chargement. Jusqu'au 1^{er} janvier 1931, les cotes biffées de trait pourront être tolérées. A partir de cette date les réseaux devront admettre le passage des véhicules passant dans le gabarit caractérisé par les nouvelles cotes. (U. I. C. Séville, 1926.)

CHAPITRE XIV

FREINS

Nécessité des freins. — Les freins sont nécessaires, dans le service courant, pour obtenir l'arrêt rapide des trains ou pour modérer leur vitesse; ils sont indispensables dans les cas où l'arrêt est commandé par la sécurité. Soit un train de 250 tonnes marchant à la vitesse de 70 kilomètres à l'heure, sur une voie en palier; si on ferme le régulateur et si on n'agit pas sur les freins, le train parcourra 9 kilomètres avant d'être arrêté par sa propre résistance.

Frein des machines. — Contre-vapeur. — La machine locomotive constitue par elle-même un frein puissant. Etant donné qu'elle peut fonctionner en avant et en arrière, c'est-à-dire tirer un train ou le refouler, on conçoit que si, pendant la marche en avant d'un train, on renverse tout à coup la vapeur, le train continuera à avancer, tandis que la machine tendra à reculer et opposera, par suite, une résistance au mouvement du train: c'est ce qu'on appelle la marche à contre-vapeur. Pour opérer en toute sécurité, il est nécessaire que le renversement de la vapeur soit accompagné d'une injection d'eau et de vapeur sous les tiroirs, afin que les gaz et les escarbilles de la boîte à fumée ne soient pas aspirés et refoulés dans les cylindres. L'emploi de la contre-vapeur permet d'obtenir un effort résistant égal aux deux tiers environ de l'effort de traction de la machine; la contre-vapeur est fort utilisée pour modérer la vitesse des trains dans les pentes, lorsque les véhicules ne sont pas munis de freins continus; son emploi est prescrit par une circulaire ministérielle du 13 septembre 1880.

Frein à vapeur. — On emploie quelquefois sur les machines de gare un frein à sabots, actionné par la vapeur de la chaudière agissant dans un cylindre dont le piston commande les leviers du frein. Ce frein est plus puissant et rend plus de services que le frein à vis manœuvré à la main.

Classification des freins des véhicules. — Tous les freins des véhicules autres que la machine sont basés sur les effets du frottement d'une pièce de métal contre les roues. Ils agissent progressi-

vement, car on ne saurait sans de grands inconvénients absorber en un temps trop court la force vive d'un train. L'arrêt instantané d'un train marchant à 60 kilomètres équivaldrait pour le voyageur, dit M. Bricka, à une chute d'un quatrième étage.

On divise généralement les freins en deux groupes : les freins à main, qui sont manœuvrés isolément sur chaque véhicule par autant d'agents qu'il y a de véhicules, et les freins continus, qui sont manœuvrés sur tous les véhicules par un seul agent.

Ces freins se désignent par leur mode de commande; tels sont, pour les *freins à main* : les freins à vis, à levier, à contre-poids, etc. ; pour les *freins continus* : le frein à air comprimé, à vide, électrique, etc. Les uns et les autres se subdivisent en différentes espèces, d'après leur genre de construction : freins à barres, à coins ; ou d'après le nom de leur inventeur : frein Stilmant, frein Bricogne, frein Westinghouse, frein Wenger, frein Smith-Hardy, frein Lipkowski, frein Chapsal, etc.

Freins à main. — En principe, les freins à main sont constitués par un ou plusieurs sabots en métal appliqués contre les bandages des roues par un jeu de leviers mis en action par une manivelle et une vis. L'agent chargé de la manœuvre ou *serre-frein* est placé dans une guérite. — On a tendance à disposer les guérites pour qu'elles puissent être jumelées de façon qu'un même agent ayant la faculté de passer librement d'une guérite à celle du véhicule suivant, puisse manœuvrer deux freins au lieu d'un seul.

Il existe une assez grande variété de freins : dans le frein Bricogne, le serrage des sabots est produit presque instantanément par la chute d'un contrepoids que le serre-frein n'a qu'à déclencher ; pour le desserrage, le contrepoids est remonté à l'aide d'une vis à manivelle; dans le frein Mestre, le déclenchement est fait par un ressort.

A signaler aussi le dispositif Barascud qui, appliqué à un frein quelconque, rend ce frein proportionnel, c'est-à-dire que l'on obtient un effort de serrage proportionnel au poids que présente le véhicule au moment du serrage.

Presque tous les wagons qui ne sont pas munis d'un frein pouvant être manœuvré d'une guérite reçoivent un frein plus simple manœuvré par un grand levier placé sur le côté du wagon. Ce frein a surtout pour but d'arrêter et d'enrayer les véhicules dans les gares.

Effet des freins. — Les freins produisent un effort résistant égal à 15 ou 20 0/0 du poids traîné ; cet effort augmente même jusqu'à 25 0/0 à mesure que la vitesse décroît. Mais, si on cale les roues, l'effort résistant s'abaisse immédiatement de 10 à 15 0/0, en grande vitesse. On ne doit serrer le frein à bloc que lorsque le train est totalement arrêté, car, en dehors de la diminution d'effet, le blocage en marche

produirait des méplats sur les roues et userait considérablement les rails.

Freins continus. — Les freins à main agissent lentement; il est difficile d'obtenir une action simultanée des divers serre-freins d'un train; enfin, le nombre d'agents à placer dans chaque train serait souvent considérable. Aussi a-t-on cherché à mettre la commande de tous les freins entre les mains d'un seul et même agent, le mécanicien. On y est parvenu avec le frein Guérin, qui est mis en jeu par la pression que les tampons exercent les uns contre les autres lorsque le mécanicien, par la contre-vapeur ou autrement, réduit la vitesse du train. On peut citer aussi le frein Héberlein, où les sabots sont actionnés par une chaîne qui s'enroule autour d'un axe lorsqu'on déclenche un contrepoids à l'aide d'un cordeau qui règne tout le long du train.

Mais ces différents systèmes ont fait place aux freins pneumatiques, qui, sous deux formes différentes: *freins à air comprimé* et *freins à vide*, se sont promptement répandus sur les chemins de fer du monde entier.

Freins à air comprimé. — Dans ces freins, quel que soit le système employé, la locomotive est toujours munie d'une *pompe à vapeur* qui comprime l'air et l'emmagasine dans un grand réservoir; un robinet de manœuvre mis à la disposition du mécanicien permet de distribuer cet air comprimé aux véhicules ou de le faire évacuer.

Sous chaque véhicule se trouvent un petit réservoir et un cylindre dit cylindre à frein, reliés par une triple valve à une conduite générale régnant tout le long du train et aboutissant au robinet de manœuvre. Dans le cylindre à frein se meut un piston moteur qui, par l'intermédiaire de leviers, commande les sabots de frein.

Tant que la pression est maintenue dans la conduite générale, les freins sont desserrés. Pour serrer les freins, le mécanicien ou le conducteur ouvre le robinet mis à sa disposition et laisse échapper l'air de la conduite générale. La dépression qui en résulte fait aussitôt fonctionner les triples valves et une partie de l'air emmagasiné dans les petits réservoirs passe dans les cylindres à frein. Par suite, les pistons sont poussés et les freins se serrent.

L'effet serait le même si la diminution de pression résultait d'une circonstance accidentelle: rupture de conduite, etc.

Pour serrer à fond les freins, il suffit de réduire seulement de 20 0/0 la pression dans la conduite générale. Pour les desserrer, on rétablit de nouveau, par le jeu du robinet du mécanicien, la communication entre le grand réservoir et la conduite générale, ce qui rétablit la pression dans cette conduite et recharge les petits réservoirs; en

même temps, l'air s'échappe des cylindres et les sabots des freins ne sont plus soumis à aucune pression.

La pression dans les réservoirs atteint généralement 7^{kg},5. Le diamètre de la conduite générale est de 25 millimètres.

C'est sur ces principes qu'est établi le frein Westinghouse, un des plus répandus.

Les freins Chapsal, Wenger, Clark, Soulerin, Lipkowski, Knorr, sont, avec des variantes, basés sur les mêmes principes. — Le frein Henry, ou frein modérable combiné avec le frein Westinghouse, apporte à ce dernier un perfectionnement très appréciable qui donne la faculté de serrer les freins avec toute la modérabilité voulue à la descente des longues pentes.

La tendance actuelle est, d'une part, de pouvoir freiner de grands trains et d'obtenir une action simultanée sur tous les véhicules et, d'autre part, de pouvoir incorporer dans un même train des véhicules munis de n'importe quel système de frein. La plupart des systèmes ci-dessus désignés ont été modifiés en vue de ce résultat.

Dans des expériences faites en 1921 sur le réseau P.-L.-M. pour le freinage des longs trains, on a mis en comparaison les freins à air comprimé Westinghouse, Lipkowski et le frein à vide Clayton Hardy.

A la suite de ces essais, le frein Westinghouse a été seul retenu pour être appliqué en France au matériel à marchandises.

Au cours de l'examen de la question de l'introduction d'un frein continu pour trains de marchandises à admettre en trafic international, la V^e Commission de l'Union internationale des Chemins de fer eut à étudier les deux freins à air comprimé Westinghouse et Kunze-Knorr

Afin de se rendre compte des possibilités de fonctionnement du frein sur une rame comportant des wagons équipés de l'un ou l'autre de ces deux freins, des essais internationaux furent effectués en Italie et en Suisse en 1926. Le frein Westinghouse présenté à ces essais par les administrations de Chemins de fer français, était analogue à celui expérimenté en 1921 en France. Toutefois, afin de répondre au désir de certaines administrations étrangères, l'ancienne valve L fut complétée (valve Lu) afin, d'une part, d'assurer un freinage plus énergique des véhicules chargés, et d'autre part, de permettre la descente de longs trains sur fortes pentes en toute sécurité.

A la suite de ces essais, le frein Westinghouse (valve Lu) et le frein Kunze-Knorr (valve G) furent proposés par la V^e Commission de l'U. I. C. (décembre 1926) pour être admis tous deux en trafic international sur les trains de marchandises.

Freins à vide. — Le frein à vide non automatique se compose de cylindres placés sous chaque voiture; dans ces cylindres peuvent

se mouvoir des pistons reliés aux leviers du frein. Lorsqu'on expulse l'air contenu dans les cylindres, les pistons, sous l'influence de la pression atmosphérique, agissent sur les leviers des freins et opèrent le serrage. Ces cylindres communiquent, par une double conduite qui forme un circuit fermé, avec un *éjecteur* placé sur la locomotive et qui reçoit de la vapeur de la chaudière et la lance dans l'atmosphère, en entraînant mécaniquement l'air de la conduite et des cylindres, d'après le même principe que l'injecteur Giffard.

Ce frein n'est armé et n'agit qu'au moment des arrêts ou des ralentissements; il n'indique pas à chaque instant s'il est dans de bonnes conditions de fonctionnement et prêt à agir; il n'indique pas non plus si le train est complet et n'a pas été coupé en deux ou plusieurs parties, par suite de rupture d'attelage ou par toute autre cause. C'est pour cela qu'on lui préfère souvent le frein à vide automatique.

Dans le *frein à vide automatique*, un éjecteur placé sur la machine maintient un vide constant dans la conduite générale du train. Ce vide, en marche normale, est généralement de 0^m,50 à 0^m,55; le diamètre de la conduite est de 50 millimètres. Par l'intermédiaire de branchements et de valves à boulet, ce vide se propage dans les cylindres de chaque véhicule, au-dessus et au-dessous d'un piston mobile qui actionne la timonerie. Lorsque le vide est égal sur les deux faces de ce piston, celui-ci s'abaisse par suite de son poids, et les freins se desserrent: c'est la position normale de marche.

Le mécanicien, en manœuvrant un robinet, ou le conducteur, en ouvrant une valve placée dans son fourgon, ou le voyageur, en faisant fonctionner l'appareil qui se trouve dans chaque compartiment, détruit le vide qui existe dans la conduite principale et admet l'air à la partie inférieure du cylindre à frein, au-dessous du piston; le vide, au contraire, est maintenu à la partie supérieure de ce cylindre et au-dessus du piston, par suite de la fermeture automatique de la valve à boulet, sous l'influence de cette rentrée d'air. Le piston se soulève donc à cause de la différence de pression entre ces deux faces et les freins se serrent avec une énergie qui dépendra de la plus ou moins grande quantité d'air introduite dans la conduite.

Dans le cas d'une rupture d'attelage, l'air pénétrera également dans la conduite principale et les freins se serreront.

Pour desserrer les freins après le serrage, le mécanicien, à l'aide de l'éjecteur, refait le vide dans la conduite et dans les cylindres au-dessous du piston: celui-ci s'abaisse, à cause de son poids, et les freins se desserrent.

On a également appliqué à ce système de frein une valve à boulet à action rapide qui permet son adaptation aux trains de 75 et même 100 véhicules. Ce dispositif spécial pour trains de marchandises, déjà appliqué en Autriche, est connu sous la dénomination « Frein Clayton-Hardy à action rapide pour trains longs ».

Prix des freins. — On évalue approximativement comme suit le prix des freins, valeur en 1927 :

Frein à vis pour wagon.....	750 kg.	—	2.000 francs
Frein à levier —	250 kg.	—	700 —

Frein à air comprimé Westinghouse :

Voiture ou wagon ordinaire....	1.000 kg.	pour	2.800 —
Voiture ou wagon ordinaire....	1.800 kg.	—	4.800 —
Locomotive et tender modernes.	4.500 kg.	—	20.000 —

ÉCLAIRAGE ET CHAUFFAGE

§ 1. — Éclairage des voitures.

L'éclairage des voitures a été assuré pendant longtemps par des lampes à huile plus ou moins perfectionnées; on a plus rarement fait usage de lampes à pétrole à cause des dangers d'incendie que présentent les huiles minérales.

L'éclairage à huile a été remplacé ensuite par l'éclairage au gaz qui prit une très grande extension; on employa du gaz riche, du gaz de houille comprimé ou du gaz acétylène; mais ce mode d'éclairage ayant été rendu responsable de divers incendies consécutifs à des accidents, des prescriptions ministérielles en ont imposé l'abandon.

Actuellement l'éclairage électrique est la règle pour les voitures de chemins de fer: quelques anciennes voitures seulement resteront encore éclairées à l'huile.

Éclairage électrique. — Des essais d'éclairage électrique furent tentés dès 1882. On a cherché d'abord à réaliser cet éclairage au moyen d'accumulateurs seuls; on en est venu ensuite au système des accumulateurs combinés avec des dynamos, et c'est ce dernier système qu'on applique maintenant de façon générale.

Sous chaque véhicule on installe une ou deux dynamos génératrices actionnées par les essieux, et une ou deux batteries d'accumulateurs destinées à assurer l'éclairage pendant les arrêts: les batteries d'accumulateurs sont rechargées automatiquement par les dynamos pendant la marche.

Les équipements les plus répandus sont les équipements Brown-Boveri, Dick, Leitner, Rosenberg, Stone, Vicarino, Vickers.

En France, les équipements les plus en faveur sont le Brown-Boveri et le Dick.

Poids et prix. — Le poids d'un équipement électrique varie de 700 à 1.200 kilogrammes suivant l'importance des véhicules. Le prix de

revient qui, dans les débuts, avant-guerre était de 5.500 francs environ pour une voiture à bogies, varie maintenant de 6.000 à 10.000 francs suivant le type de la voiture.

§ 2. — Chauffage des voitures.

Le souci du confort des voyageurs a toujours grandement préoccupé les réseaux. Ce confort se développe de plus en plus, mais les exigences des voyageurs se développent encore plus rapidement. Alors qu'avant 1870 les voitures n'étaient pas chauffées, on a commencé à le faire vers cette époque à l'aide de *bouillottes* à eau chaude puis à *acétate de soude*. Ces dernières bouillottes se conservaient chaudes plus longtemps, car sous un même volume elles absorbaient par la fusion de l'acétate de soude à 120° une quantité de chaleur plus grande que ne le faisait l'eau ; cette chaleur était dégagée lors de la solidification de l'acétate.

On employa ensuite le chauffage individuel des voitures par *thermosiphons* à circulation d'eau chaude. On emploie actuellement d'une façon presque générale le chauffage général du train par la *vapeur*. La vapeur est produite par la locomotive ou, lorsqu'il n'y en a pas (traction électrique ou par moteur à combustion), par une chaudière spéciale portée par un fourgon-chaudière. Ce fourgon-chaudière est parfois employé même avec la traction à vapeur, à titre d'adjuvant, lorsque le train est trop long pour que la locomotive puisse le chauffer convenablement en queue. C'est alors en queue du train qu'on place le fourgon. Enfin on commence à employer sur les lignes électrifiées le chauffage électrique.

Chauffage par la vapeur. — Dans tous les systèmes de chauffage par la vapeur le mécanicien envoie, par l'intermédiaire d'un robinet détenteur qui est souvent du type Mason, la vapeur de la chaudière dans une conduite générale placée sous les voitures. Des prescriptions fixent la pression, suivant la température extérieure. Cette pression est de 4 kilogrammes à 6 kilogrammes suivant les systèmes.

Les conduites des voitures sont reliées entre elles par des accouplements flexibles ou articulés. En queue du train un robinet ferme la conduite. Sur la conduite principale sont branchées des dérivations amenant la vapeur dans les appareils ; chaufferettes ou radiateurs placés dans les compartiments à chauffer.

L'inconvénient contre lequel on a à lutter avec le chauffage par la vapeur est la condensation de cette dernière qui fait que les longs trains sont trop chauffés en tête et insuffisamment en queue, même

si l'eau de condensation n'entrave pas le fonctionnement régulier des appareils. Depuis de longues années tous les efforts se portent sur la réalisation d'un chauffage uniforme de la tête à la queue du train.

Pour évacuer l'eau de condensation, presque tous les systèmes emploient le purgeur automatique Heintz (voir fig. 76).

Ce purgeur placé aux points bas ménagés dans les canalisations, a pour but de laisser écouler au dehors l'eau de condensation sans laisser écouler la vapeur. Il se compose d'une poche d'évacuation, communiquant avec la conduite par un clapet B et avec l'air extérieur par de petits trous. Elle contient un tube flexible A rempli d'huile de naphte, qui en se déformant sous l'effet de la chaleur, ferme le clapet, lequel se trouve normalement ouvert.

Lorsque la poche d'évacuation est froide le clapet s'ouvre et la conduite se purge de l'eau qu'elle peut contenir. Lorsque la vapeur commence à s'échapper, elle réchauffe le tube A, ce dernier ferme alors le clapet en interceptant la communication de la conduite avec l'extérieur.

Le purgeur Ribes, qui commence à être employé, est basé sur le même principe, mais le tube flexible est remplacé par une boîte flexible analogue à celle des baromètres remplie d'un liquide facilement dilatable.

Bien entendu toutes les conduites qui ne servent pas directement au chauffage de la voiture doivent être garnies d'un isolement calorifique.

Dans les voitures chauffées par la vapeur on chauffe l'eau distribuée par les robinets des lavabos.

Les fourgons destinés à être attelés aux trains de voyageurs sont également chauffés.

Chauffage indirect. — Au début du chauffage par la vapeur on s'imposait, pour éviter les accidents, de ne mettre à proximité des voyageurs aucune conduite de *vapeur*. Les systèmes de chauffage nés de cette conception sont le chauffage P.-L.-M. et le chauffage Nord.

Dans le chauffage P.-L.-M., un des premiers mis en service, vers 1896, des chaufferettes noyées dans le plancher du compartiment remplies d'une dissolution de chlorure de calcium (pour éviter la congélation dans les périodes de garage des voitures), sont reliées

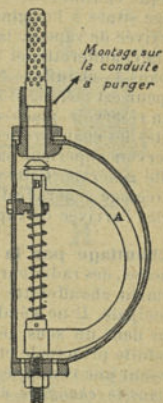


Fig. 76. — Purgeur Heintz.

entre elles par une de leurs extrémités en même temps qu'à un vase d'expansion communiquant avec l'atmosphère. Des tuyaux branchés sur la conduite générale de vapeur traversent le liquide de chaque chaufferette et s'ouvrent à l'air libre. Des appareils de réglage situés à l'origine de chacun de ces tuyaux permettent de régler l'arrivée de vapeur, la vapeur se condense en réchauffant le liquide de la chaufferette, et l'eau de condensation s'évacue au dehors.

Dans le chauffage Nord, contemporain du chauffage P.-L.-M., la vapeur est mélangée à l'eau des chaufferettes. L'eau chaude descend d'un réservoir placé à la partie supérieure de la voiture, traverse toutes les chaufferettes qui sont reliées en série et est renvoyée au réservoir supérieur par un injecteur qui prend sa vapeur sur la conduite générale. Cette eau est réchauffée par l'injecteur. Un robinet de réglage général est placé au départ du réservoir. On peut du reste régler l'arrivée de vapeur à l'injecteur.

Chauffage par la vapeur directe. — Dans le *chauffage à haute pression*, des radiateurs ou des tubes soudés sous une plaque chauffante formant chaufferette sont branchés en dérivation sur la conduite principale. Il ne s'établit pas, dans ces radiateurs, de courant de vapeur dans un sens déterminé, l'eau de condensation retourne à la conduite principale et l'obstrue. — On a amélioré le système en établissant une conduite d'évacuation munie d'un purgeur.

Dans le *chauffage à basse pression*, les radiateurs, réunis parfois entre eux en série, sont traversés par un courant de vapeur pris sur la conduite principale, l'eau de condensation et la vapeur en excès s'échappant à l'atmosphère.

Le chauffage direct a été employé en Allemagne et sur l'État français.

Le *chauffage Westinghouse à régulateur thermostatique* en service sur l'État Autrichien, l'État Belge, le Nord, le P.-L.-M., le P.-O., le matériel unifié sauf celui de l'État, bien qu'un des derniers imaginés, postérieurement aux systèmes de chauffage à vapeur mélangée d'air dont nous parlerons par la suite, doit être rangé dans la catégorie du chauffage direct à basse pression, puisque les chaufferettes ou radiateurs sont branchés individuellement et directement sur la conduite principale et sont d'autre part en communication avec l'atmosphère.

Dans ce système les formes des radiateurs sont variées, mais en principe tout radiateur dont la figure ci-contre représente le schéma est essentiellement constitué par un corps H muni de deux orifices: l'un H pour l'admission de la vapeur, l'autre E ouvert à l'atmosphère. A l'intérieur du radiateur se trouve un organe régulateur, le *thermostat*. Cet organe consiste en un tube F d'un alliage d'aluminium très dilatable, fixé par une de ses extrémités dans une douille filetée J et portant à l'autre extrémité un clapet E pouvant obturer l'orifice D d'arrivée de vapeur ou le découvrir.

La vis I peut être manœuvrée de l'extérieur, ce qui rapproche ou éloigne le clapet E de son siège et permet le réglage de l'appareil une fois pour toutes.

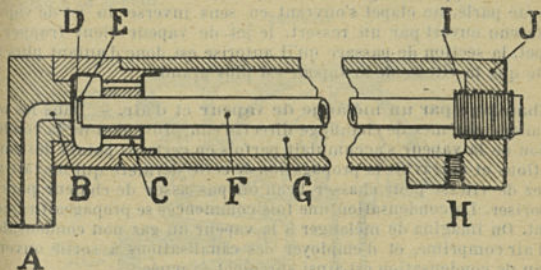


FIG. 77. — Thermostat.

On conçoit que l'appareil qui laisse entrer la vapeur lorsque le radiateur est froid, et ferme l'admission lorsqu'il est chaud, arrive à un état d'équilibre de température, celle-ci étant d'autant plus élevée qu'à froid le clapet E est plus loin de son siège. La température de chaque radiateur est donc indépendante de sa position dans le train en tête ou en queue. Les voyageurs peuvent, par la manœuvre d'une manette qui permet ou empêche le passage de la vapeur avant le clapet E, mettre le radiateur en service ou l'isoler, mais ils ne peuvent pas régler sa température.

Le système *Pottier*, adopté actuellement par l'État français, est assez analogue au précédent. L'arrivée de vapeur à chaque chaufferette branchée sur la conduite générale est réglée par un pointeau commandé par la dilatation d'une capsule dilatable ; elle communique d'autre part avec l'atmosphère par un tuyau d'évacuation ; toutefois la capsule est placée sur le tuyau d'évacuation de la chaufferette, tandis que le régulateur thermostatique Westinghouse est contenu entièrement à l'intérieur de cette chaufferette. — Théoriquement ici comme là on peut disposer les appareils de réglage de façon que la chaufferette se mette en régime d'équilibre à une température donnée, mais de plus on a voulu dans le régulateur *Pottier* rendre l'admission de vapeur indépendante de la pression.

Avec le système Westinghouse, lorsqu'on commence à chauffer le train, les condensations sont considérables, la pression de la vapeur

est beaucoup plus élevée en tête qu'en queue du train, et les chauffe-
rettes des premières voitures atteignent leur température d'équilibre
bien avant les autres. On s'est proposé, dans le système Pottier, de
régulariser la distribution de vapeur de la tête à la queue du train.
Pour cela l'appareil régulateur comporte, à la suite du pointeau dont
il a été parlé, un clapet s'ouvrant en sens inverse du jet de vapeur
maintenu ouvert par un ressort, le jet de vapeur vient frapper ce
clapet, la section de passage qu'il autorise est donc d'autant plus ré-
duite que la vitesse de la vapeur est plus grande.

Chauffage par un mélange de vapeur et d'air. — Dans les tout
premiers systèmes de chauffage direct, l'eau provenant de la conden-
sation de la vapeur s'accumulait parfois en certains points des cana-
lisations et entravait la propagation de cette dernière qui n'avait pas
assez de vitesse pour chasser l'eau ou pas assez de chaleur pour la
vaporer. La condensation une fois commencée se propageait rapide-
ment. On imagina de mélanger à la vapeur un gaz non condensable,
de l'air comprimé, et d'employer des canalisations à sortie ouverte.
L'eau de condensation est ainsi sûrement évacuée.

Dans le *chauffage Lancrenon*, généralisé sur l'Est et employé par
le P.-O. et l'État, le mécanicien envoie dans la conduite générale un
mélange de vapeur et d'air comprimé, ce dernier pris dans le réser-
voir principal du frein. Dans chaque voiture trois tuyaux de chauffage
branchés au même point sur la conduite générale et disposés parallèle-
ment les uns aux autres, parcourent tous les compartiments. Ils
aboutissent à une poche d'évacuation commune munie de purgeurs.

On règle le chauffage en admettant le mélange d'air et de vapeur
dans un, deux ou trois tuyaux de chauffage.

Dans le *chauffage Heintz* qui a été adopté par le P.-L.-M. ultérieu-
rement au chauffage P.-L.-M., par le Midi et par l'État, la conduite
principale ne contient que de la vapeur.

Sur chaque voiture le mélange de vapeur et d'air se fait par un
appareil spécial, le *saturateur* (fig. 78) branché sur la conduite prin-
cipale. Le saturateur règle automatiquement l'arrivée de la vapeur
dans une conduite longitudinale appelée conduite d'aller, — les chauf-
ferettes sont branchées en parallèle entre cette conduite d'aller et une
conduite de retour légèrement en pente qui s'ouvre à l'air libre par
son extrémité basse. Un peu avant cette extrémité elle est en com-
munication avec le saturateur.

Le saturateur est un tube thermostatique N analogue à celui du
purgeur Heintz; il commande un clapet O donnant passage à la vapeur
de la conduite principale à la conduite d'aller. Le tube thermostatique
est logé dans une enceinte fermée P où aboutit la communication R
avec l'extrémité de la conduite retour. — S'il revient de la vapeur par
cette conduite retour, le clapet se ferme; si le courant de vapeur dimi-

nue dans la conduite retour, le clapet s'ouvre, le réglage du chauffage est aussi automatique.

Le jet de vapeur venant de la conduite principale forme éjecteur en Q à son entrée dans la conduite aller et entraîne de l'air qui se mélange à la vapeur.

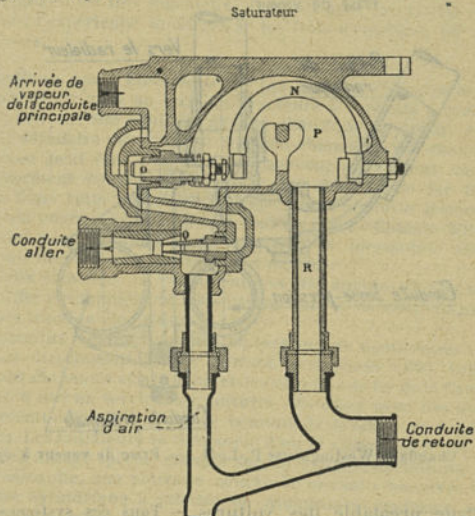


FIG. 78. — Chauffage Heintz saturateur.

Des robinets de réglage sont branchés entre la conduite d'aller et les chaufferettes.

Dans le *chauffage Westinghouse P.-L.-M.*, à la conduite principale est accolée une conduite à basse pression de plus petit diamètre qui s'étend sur toute la longueur du véhicule. Elle est alimentée en vapeur à basse pression à ses deux extrémités par deux régulateurs détenteurs qui sont branchés sur la conduite principale.

Sur la conduite à basse pression sont branchés individuellement les radiateurs ou chaufferettes, non directement mais par l'intermédiaire d'une prise de vapeur à éjecteur formant appel d'air (voir fig. 79). La vapeur, après avoir réchauffé la chaufferette en se conden-

sant en partie, s'échappe dans l'atmosphère. C'est à l'orifice du tuyau d'échappement qu'a lieu l'appel d'air de l'éjecteur; on fait donc rentrer dans la circulation la vapeur qui n'a pas été condensée.

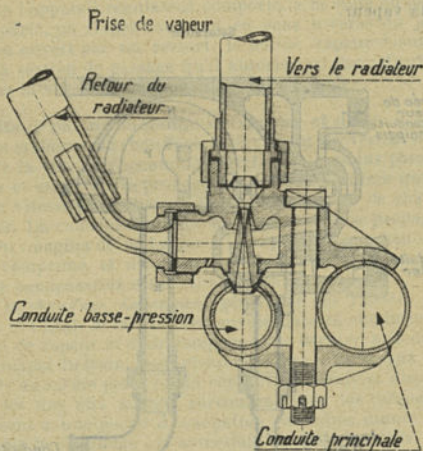


FIG. 79. — Chauffage Westinghouse P.-L.-M. — Prise de vapeur à éjecteur

Chauffage préalable des voitures. — Tous ces systèmes conviennent aux voitures à voyageurs qui ne sont séparées que pendant quelques minutes de la locomotive, lors des changements de cette dernière. Il est nécessaire de chauffer le train avant le départ aux têtes de ligne, soit par une locomotive auxiliaire, soit par un fourgon-chaudière, soit par des canalisations spéciales de vapeur placées à demeure le long des quais. La machine qui doit remorquer le train ne vient en effet se mettre en tête que quelques minutes avant le départ.

Pour les wagons-poste dans lesquels le personnel travaille pendant plusieurs heures avant le départ, rien n'est plus facile dans les grandes gares aménagées avec des canalisations de vapeur que de brancher les wagons-poste sur ces canalisations.

Ces gares ainsi agencées ne sont toutefois pas la généralité, et M. Irle a imaginé un appareil de chauffage devant répondre aux divers besoins. Ce système est un système de chauffage par circula-

tion d'eau chaude. L'eau est chauffée dans une petite chaudière chauffée indifféremment à la vapeur, à la vapeur mélangée d'air, au combustible ou à l'électricité. Le passage d'un mode de chauffage à un autre se fait automatiquement, sans aucune intervention.

Cet appareil est très ingénieux ; il paraît qu'il fonctionne convenablement ; l'expérience montrera si les frais d'entretien ne sont pas trop élevés.

Chauffage par l'électricité. — Les voitures remorquées par des tracteurs électriques ou par des tracteurs à moteurs à combustion interne peuvent être équipées avec le chauffage à vapeur, à la condition d'adjoindre au train un fourgon-chaudière. La chaudière de ce fourgon peut être chauffée au charbon, au mazout, ou même électriquement comme l'ont essayé les chemins de fer fédéraux suisses. Dans cette chaudière, la vapeur est produite généralement à l'aide du courant à haute tension 15.000 volts. Le Chicago Milwaukee and Saint-Paul Railway a installé sur la locomotive électrique elle-même une chaudière chauffée au mazout.

Ces deux solutions ne paraissent pas très simples et l'on a essayé de chauffer électriquement les voitures qui ne doivent circuler que mues par traction électrique.

Les chemins de fer fédéraux suisses ont de nombreuses voitures chauffées directement par le courant monophasé 1.000 volts. Des essais ont été tentés sur le Midi et les chemins de fer de la Camargue. Le P.-O. a mis en service des voitures chauffées avec des appareils fonctionnant directement sur le courant de traction de 1.500 volts continus. Les radiateurs se composent d'un fil chauffant de 175 mètres de long en alliage spécial enroulé sur un cylindre métallique recouvert de micanite, une nouvelle couche de micanite recouvre le fil et une boîte cylindrique à ailettes en aluminium renferme le tout. Comme canalisation, chaque voiture comprend une canalisation principale en câble de 30 millimètres carrés de section sous tube d'acier, qui est relié au pôle positif du courant de traction ; elle aboutit à deux coupleurs placés à portée des voyageurs ; une boîte de jonction, une canalisation de 8 millimètres carrés de section, branchée sur la canalisation principale et protégée par un fusible de 10 ampères qui est reliée à l'une des extrémités du fil chauffant des radiateurs, l'autre extrémité est reliée à la terre par la carcasse métallique de la voiture.

La continuité de la canalisation principale est assurée d'une voiture à l'autre par des coupleurs. La manœuvre de ces coupleurs ne pouvant être effectuée sans danger sous charge, en raison de la haute tension du courant, on ne peut procéder à l'accouplement ou au désaccouplement sans manœuvrer un dispositif de verrouillage, qui ne peut l'être qu'à l'aide d'une clef spéciale fixée dans une ser-

rure placée sous l'automoteur. La libération de cette clef coupe le courant dans le circuit principal.

Comparaison des prix de revient de chauffage par la vapeur et par l'électricité.— On admet d'après l'expérience qu'à conditions égales il faut pour chauffer un train, par tonne de train et par heure, 3 kilogrammes de vapeur, ou 0^{kwh},42 d'énergie électrique.

Ces 3 kilogrammes de vapeur contiennent $3 \times 676 = \approx 1,900$ calories
0^{kwh},42 équivalent à $0,42 \times 856 = \approx 360$ calories

Une partie de l'énergie électrique est bien dissipée en chaleur inutile dans les canalisations, mais cette quantité est faible, la plus grande partie est utilisée dans les radiateurs ; on voit que si moins de 400 calories suffisent à chauffer pendant une heure une tonne de train, lorsqu'on chauffe par la vapeur : $1900 - 360 = 1,540$ calories sont perdues inutilement dans les canalisations extérieures et les fuites, 360 seules sont utilisées.

Le chauffage par la vapeur est néanmoins plus économique.

Pour produire 3 kilogrammes de vapeur, si le charbon coûte 150 francs la tonne, il faut dépenser, puisque 1 kilogramme de charbon produit 7 kilogrammes de vapeur :

$$\frac{3 \times 0,15}{7} = 0 \text{ fr. } 064.$$

Pour que le chauffage électrique revienne au même prix que le chauffage à vapeur, il faudrait que le kilowatt-heure revienne à :

$$\frac{0,064}{0,42} = 0 \text{ fr. } 15.$$

Bien entendu ce calcul ne tient pas compte des frais d'achat, d'entretien et d'amortissement.

La question du chauffage est une des plus délicates. Au début on se contentait, avec les bouillottes, de chauffer les pieds des voyageurs ; on ne prétendait nullement chauffer l'atmosphère, et les voyageurs gardaient leurs manteaux. A mesure que les voitures ont été mieux chauffées, avec le chauffage par la vapeur et l'adjonction de radiateurs, les voyageurs ont pris l'habitude de se découvrir dans les voitures comme dans un appartement, mais avec le chauffage par la vapeur, dans l'état actuel de la technique, et par les grands froids, il est difficile d'obtenir dans les dernières voitures la température d'un appartement.

Quelle que soit, du reste, la perfection des solutions offertes à ce problème, on trouvera toujours dans le même compartiment des voyageurs qui se plaindront d'un excès de chaleur, tandis que d'autres se plaindront du froid.

Nous donnons ci-dessous, la liste arrêtée à la date du 1^{er} Mai 1930, des spécifications techniques unifiées des Réseaux français. Ces spécifications sont publiées *in extenso* par la Librairie Dunod.

**Spécifications techniques et cahiers des charges
unifiés des chemins de fer français (Grands réseaux).**

N ^o	OBJET	DERNIÈRE RÉVISION antérieure au 1 ^{er} mai 1930
1	Boulons, goujons et vis en acier, écrous.....	7 mars 1918
2	Rivets en acier.....	10 mai 1928
3	Acier de forge en barres, blooms, billettes, largets, etc., d'emplois courants.....	5 fév. 1920
4	Barres en fer.....	11 avril 1918
5	Barres rondes en acier pour rivets, boulons et tirants.....	5 fév. 1920
6	Tôles en acier pour chaudières et longerons.....	13 juin 1929
7	Tôles d'acier d'usages courants.....	13 juin 1929
8	Barres d'acier à ressorts.....	11 avril 1918
9	Profilés et larges plats en acier d'emplois courants.....	11 avril 1918
10	Ressorts montés à lames parallèles.....	11 avril 1918
11	Ressorts en spirale et ressorts en hélice.....	28 sept. 1922
12	Pièces en acier moulé.....	4 avril 1929
13	Essieux droits en acier bruts de forge, ébauchés ou finis.....	11 avril 1918
14	Bandages en acier.....	6 fév. 1930
15	Plaques de foyers et planches en cuivre rouge.....	3 oct. 1929
16	Barres en cuivre rouge pour entretoises et rivets et en bronze manganésé pour entretoises.....	2 août 1923
17	Tuyaux en cuivre rouge sans soudure.....	5 déc. 1913
18	Pièces en fonte moulée d'usage courant.....	4 avril 1929
19	Pièces en fonte malléable.....	4 avril 1929
20	Bronzes et laiton fondus d'emplois courants.....	4 avril 1929
21	Pièces en laiton étiré ou laminé.....	26 mars 1925
22	Tubes à fumée de chaudières et tuyaux de vapeur en acier doux.....	14 nov. 1918
23	Tuyaux bruts pour freins à air, intercommunication pneumatique, chauffage etc.....	14 nov. 1928
24	Corps de roues en acier moulé.....	21 nov. 1918
25	Corps de roues à centres pleins sans nervures, en acier.....	21 nov. 1918
26	Corps de roues à rayons en fer ou en acier moulé.....	21 nov. 1918
27	Viroles pour tubes à fumée.....	21 nov. 1918
28	Alliages blancs d'emplois courants.....	21 nov. 1918
29	Essieux montés de voitures et wagons.....	14 nov. 1918

N ^o	OBJET	DERNIÈRE RÉVISION antérieure au 1 ^{er} mai 1930
30	Chêne, hêtre, orme franc et tortillard, frêne, peuplier grisard, sapin, sapin du Nord, pitchpin et teck ..	5 déc. 1918
31	Organes d'attelage du type unifié U1.....	21 nov. 1918
32	Cahier des charges wagons.....	21 nov. 1918
33	Boîtes d'essieux complètes de matériel roulant.....	21 nov. 1918
34	Accessoires de boîtes d'essieux de matériel roulant.	21 nov. 1918
35	Ferrures de voitures et wagons.....	5 déc. 1918
36	Cahier des charges pour la peinture des wagons à marchandises.....	5 juin 1929
37	Sabots de frein en fonte.....	5 juin 1919
38	Tissus de lin, chanvre, coton, etc. et de sangles....	28 août 1924
39	Toiles enduites pour couvertures de voitures et de wagons	5 juin 1919
40	Pièces en fonte aciérée	4 avril 1929
41	Clauses et délais de garantie applicables sauf stipulations particulières, aux pièces ou matières métalliques fournies suivant les spécifications techniques unifiées.....	10 fév. 1927
42	Rondelles « Grover »	26 août 1920
43	Chaines.....	9 fév. 1928
44	Câbles.....	28 sept. 1922
45	Prolonges.....	28 mai 1926
46	Voitures métalliques.....	1 ^{er} juill. 1926
47	Tuyaux flexibles pour demi-accouplement de frein..	30 déc. 1926
48	Plaques en liège comprimé.....	20 oct. 1927
49	Pièces spéciales pour frein continu.....	5 sept. 1929
50	Rondelles et joints en caoutchouc pour appareils de frein	12 déc. 1929
51	Pièces en cuir pour frein.....	20 sept. 1928
52	Manchons pour tuyaux d'accouplement de frein	20 sept. 1928
53	Pièces en fonte malléable à cœur noir	4 avril 1929
54	Dalles et revêtements en ciment magnésien et autres.	24 janv. 1929
55	Bois coloniaux.....	3 oct. 1929
56	Panneaux contreplaqués	12 déc. 1929
57	Pièces laminées ou forgées en acier au cuivre.....	12 déc. 1929
58	Verres à vitres.....	9 janv. 1930
59	Glaces.....	9 janv. 1930

Ces spécifications techniques sont éditées et constamment mises à jour par la librairie Dunod.

QUATRIÈME PARTIE

EXPLOITATION

CHAPITRE XV

MOUVEMENT

§ 1. — Circulation des trains.

Vitesse des trains. — Au point de vue de la vitesse, les trains de voyageurs se subdivisent ainsi qu'il suit : les trains express ou trains rapides et les trains-poste, marchant en général avec une vitesse réelle de 80 à 110 kilomètres à l'heure ; les trains directs, marchant de 60 à 80 kilomètres ; les trains omnibus, marchant de 40 à 60 kilomètres, et les trains mixtes, marchant à 35 ou 45 kilomètres.

Cette vitesse réelle, qui est celle du train en marche, ne doit pas être confondue avec la *vitesse commerciale*, qui est la vitesse moyenne calculée d'après le temps que met réellement, arrêts compris, le train à parcourir la distance comprise entre le point de départ et le point d'arrivée.

La réduction causée par les arrêts et les ralentissements est variable suivant le nombre d'arrêts et peut atteindre 10 à 12 0/0 pour les express, et de 15 à 20 0/0 pour les trains omnibus.

Trains express. — Si, d'après l'horaire de la marche du train, on divise la longueur du parcours entre les stations de départ et d'arrivée par la durée de ce parcours d'après les heures de départ et d'arrivée, on trouve les vitesses commerciales qui suivent pour les trains les plus rapides :

<i>Nord.</i> — Paris à Calais (298 km).....	91 ^{km} ,7
<i>Orléans.</i> — Paris à Bordeaux (588 km).....	75 ^{km} ,5
<i>P.-L.-M.</i> — Paris à Marseille (862 km).....	72 kilomètres
<i>Est.</i> — Paris à Nancy (353 km).....	81 —
<i>Midi.</i> — Bordeaux à Bayonne (198 km).....	74 ^{km} ,5
(Paris au Havre (228 km).....	73 ^{km} ,5
<i>Ouest-État.</i> (Paris à Bordeaux (615 km).....	60 kilomètres
<i>Alsace-Lorraine</i>	—

Il s'agit là de vitesses commerciales; quant aux vitesses réelles de marche, elles sont parfois bien supérieures sur certaines parties du parcours, mais elles ne dépassent jamais le maximum absolu de 120 km.

Les plus grandes distances franchies sans arrêt sont de :

311 kilomètres sur le Nord (Paris-Bruxelles);

197 kilomètres sur le P.-L.-M. (Lyon-Dijon);

181 kilomètres sur l'Est (Chaumont-Belfort);

632 kilomètres sur le London and North Eastern Ry (Londres-Edimbourg)¹.

Pour réaliser ce dernier parcours, le tender contient 9.300 kilogrammes de charbon, et 22,7 d'eau; on prend de l'eau en route à l'aide d'écopes Ramsbottom. Un couloir latéral de 457 millimètres de largeur et 1.524 millimètres de hauteur sur le tender permet à une seconde équipe voyageant dans le fourgon de venir sur la machine remplacer la première en cours de route.

Le parcours Paris-Bruxelles est réalisé sans prendre d'eau en route avec des tenders de 35 millimètres.

Directs et omnibus. — La vitesse de marche des trains directs varie en France, de 60 à 80 kilomètres, et la vitesse effective de 40 à 50, en raison des arrêts multipliés. Celle des trains omnibus n'est guère que de 40 à 60 kilomètres; celle des trains de messagerie, en général, 45 kilomètres.

Trains de marchandises. — La vitesse de marche des trains de marchandises varie entre 20 et 40 kilomètres; ce maximum n'est atteint ou dépassé que par des trains spéciaux à charge incomplète, tels que les trains de détail, ou par certains trains directs; mais la durée du trajet est considérablement augmentée par la nécessité de garer fréquemment le train et par les arrêts pour les manœuvres; la vitesse effective s'abaisse alors à des valeurs dont il est difficile d'évaluer la moyenne.

Indicateurs de vitesse. — Dans le but de contrôler la vitesse des trains, on a imaginé divers appareils destinés à l'enregistrer pendant la marche: ces appareils (tachymètres, tachygraphes, dromoscope, etc.) reçoivent généralement leur mouvement des essieux de la machine, et fournissent un diagramme sur un disque qui tourne, ou mieux sur une bande continue qui avance par un mouvement d'horlogerie et sur laquelle un crayon trace les vitesses.

Ces appareils sont de types nombreux et variés qui portent le nom de leur inventeur ou de leur constructeur: Desdouits, Haussbalter, P.-L.-M., Klose, Peyer-Favarger, Brunot, Le Boulengé, Flaman, etc.

¹ Ry. Gaz IRIS, LILLIAD - Université Lille 128.

Ce dernier est l'un des plus répandus; il a été adopté d'une manière générale par les chemins de fer français en vue de répondre aux prescriptions ministérielles ordonnant l'emploi d'appareils indicateurs-enregistreurs de vitesse.

Indicateur Flaman. — L'indicateur Flaman est d'un fonctionnement purement mécanique, ce qui évite les erreurs résultant de l'emploi de la force centrifuge ou de liquides actionnés par des pompes. Cet indicateur mesure la vitesse par l'angle que fait dans l'unité de temps ($1/1000^e$ d'heure ou $3^{\text{e}}6$) une roue à rochet actionnée par un cliquet mù lui-même par un arbre animé d'un mouvement de rotation proportionnel à la vitesse de la locomotive. Les vitesses successives ainsi mesurées sont indiquées par une aiguille sur un cadran divisé en kilomètres à l'heure.

L'enregistrement des vitesses successives est fait, sous forme d'ordonnées, sur une bande de papier, par un style mù par l'aiguille indicatrice; cette bande de papier se déroule proportionnellement au chemin parcouru: les temps y sont enregistrés simultanément sous la forme d'une ligne en dents de scie pendant la marche et en ordonnée pendant les arrêts. Le diagramme ainsi tracé donne par conséquent :

Le point du parcours où se trouve la locomotive;

Le temps après lequel elle a atteint les différents points du parcours;

La vitesse en chacun de ces points;

La vitesse maxima atteinte et le temps pendant lequel elle a été maintenue;

Les points où ont lieu les arrêts et les ralentissements, par exemple, le passage à une bifurcation;

La durée des arrêts, qui est donnée par la longueur des ordonnées intercalées dans la courbe des temps;

Cet indicateur fonctionne dans les deux sens de la marche; il peut être transporté d'une locomotive sur une autre, sans exiger d'autre réglage que celui nécessité par un changement de diamètre des roues. Il peut être muni d'un timbre indiquant que la vitesse maxima est atteinte. On peut aussi le munir d'organes destinés à signaler les passages aux disques ouverts ou fermés.

Intercommunication. — Trois systèmes principaux sont en présence pour permettre la communication des agents des trains entre eux ou avec les voyageurs: l'emploi de la *corde-signal*, l'emploi de l'électricité et l'emploi des systèmes *mécaniques et pneumatiques*.

La *corde-signal*, régnant sur toute la longueur du train et actionnant, sous un effort de traction fait par un voyageur dans un compartiment quelconque, une sonnerie placée dans le fourgon, n'est qu'une solution très imparfaite du problème. Elle est cependant encore employée sur

un grand nombre de réseaux anglais et des États-Unis d'Amérique et du Canada. Elle l'est également sur les lignes allemandes concurremment avec le système pneumatique décrit ci-après.

Le système *électrique* à deux fils ou à un seul, le fil de retour du courant étant, dans ce cas, remplacé par les roues et les rails, comporte une sonnerie dans le fourgon de tête et une autre dans le fourgon du garde-frein en queue. Ces sonneries se mettent à tinter lorsqu'un voyageur d'une des voitures fait appel au moyen d'un appareil à contact placé dans chaque compartiment, ou lorsque l'un des gardes-freins croit devoir appeler l'attention du conducteur-chef, ou, enfin, lorsqu'une rupture d'attelage entraîne la rupture du cordon qui établit la communication électrique entre les voitures. Un voyant placé à l'extérieur indique aux agents de quelle voiture le signal d'appel a été fait.

Le système *pneumatique* consiste à se servir de la conduite du frein continu, soit à air comprimé, soit à vide, pour établir la communication entre chaque compartiment, le fourgon et la locomotive. A cet effet, chaque compartiment est muni d'un appareil qui, sous un effort de traction du voyageur, fait d'abord apparaître un petit voyant placé sur le côté de la voiture et ensuite agit, au moyen d'une liaison mécanique, sur une valve en communication avec la conduite du frein. L'ouverture de cette valve diminue dans une certaine proportion la pression de la conduite dans les freins à air comprimé et diminue le vide de cette même conduite dans les freins à vide. Par suite de cette diminution de pression, le serrage des freins se produit, ce qui appelle l'attention du mécanicien et du conducteur. Cette diminution de pression provoque le serrage des freins et l'arrêt du train. Le sifflet continue à fonctionner et la poignée reste pendante jusqu'à ce que les agents soient venus fermer le robinet à sifflet et remettre la poignée en place.

Ce système pneumatique d'intercommunication est en usage, en France, sur tous les grands réseaux.

En Angleterre, il est appliqué sur le réseau du Manchester, Sheffield et Lincolnshire. Il est aussi en usage en Belgique (réseau de l'État belge), aux Pays-Bas, en Allemagne, en Suisse et en Italie.

Parcours et utilisation des wagons. — La nature du trafic influe beaucoup sur le travail produit par chaque véhicule. Plus une Compagnie transporte de grosses marchandises expédiées à de grandes distances, mieux elle utilise son matériel. En divisant le parcours total des wagons d'une Compagnie sur son propre réseau par l'effectif de son matériel, on trouve, en moyenne, de 12.000 à 18.000 kilomètres par wagon et par an. — En divisant le nombre de wagons par le nombre de kilomètres exploités, on trouve, en moyenne, de 5 à 10 véhicules par kilomètre.

En divisant le tonnage annuel par le nombre des wagons, on trouve

que chaque wagon transporte par an 350 à 500 tonnes environ ; en divisant le parcours moyen d'un wagon par le parcours moyen d'une tonne, qui est de 150 à 200 kilomètres, on a le nombre moyen de voyages effectués par un wagon dans l'espace d'une année, soit 100 à 120, et, en multipliant par 10 tonnes, on a la capacité annuelle et moyenne d'un wagon, qui est de 1.000 à 1.200 tonnes ; on voit donc que l'utilisation (c'est-à-dire le rapport du nombre de tonnes transportées par un wagon à sa capacité moyenne) diffère peu de 40 0/0.

En d'autres termes, en divisant le nombre total de tonnes transportées à 1 kilomètre par le parcours total des wagons à marchandises, on trouve que la charge moyenne d'un wagon (y compris les wagons vides) est d'environ 4 tonnes ; en évaluant à 10 tonnes la capacité moyenne d'un wagon, on voit que l'utilisation moyenne d'un wagon est d'environ 40 0/0, c'est-à-dire qu'elle est à peu près la même que si les wagons chargés retournaient à vide à leur point de départ.

§ 2. — Dépenses des gares et stations.

Rapport des dépenses aux recettes. — Dans l'ensemble des dépenses de l'exploitation, les gares et stations absorbent à elles seules les $\frac{3}{5}$ ou les $\frac{3}{4}$; sur un grand réseau, les dépenses d'une station s'élèvent à 13 0/0 environ de ses recettes. Cette proportion moyenne n'est évidemment pas la même pour toutes les stations, elle varie avec la nature du trafic auquel chacune d'elles donne lieu.

Prix de revient par voyageur. — On peut, pour les voyageurs, diviser le chiffre des dépenses par le nombre total des voyageurs partis ou arrivés, et avoir ainsi une idée assez nette des frais auxquels donne lieu un voyageur, indépendamment des frais de transport. Il faut comprendre, dans l'évaluation des dépenses, le personnel des chefs, sous-chefs, surveillants, contrôleurs, des agents chargés d'enregistrer, peser et manipuler les bagages et de former les trains ; les machines de gare ; le chauffage et l'éclairage, etc.

Lorsque le parcours des voyageurs est très long, les frais fixés au départ sont amplement compensés par le bénéfice résultant de l'application des taxes ; mais ces frais acquièrent une certaine importance relative lorsque le nombre des kilomètres parcourus s'abaisse, la taxe s'abaissant proportionnellement, tandis que les frais d'embarquement et de débarquement restent constants. Le minimum de 6 kilomètres à taxer, fixé par les cahiers des charges, pour le parcours d'un voyageur, n'est qu'une compensation insuffisante, eu égard aux dépenses que font réellement les Compagnies.

Prix de revient de la manutention. — Il est assez difficile de se rendre exactement compte du prix de la manutention dans une gare

NATURE DES FRAIS ACCESSOIRES	TAUX AUTORISÉ par l'arrêté ministériel du 24 déc. 1924	TAUX APPLIQUÉ temporaire- ment d'après l'arrêté du 9 mars 1925	MONTANT TOTAL des frais accessoires avec la majoration et l'impôt		
<i>Enregistrement</i>					
Bagages. { Bicyclettes, voitures d'enfants ou de malades.	francs 0,40	francs 0,15	francs 0,50		
Autres bagages.	0,40	0,225	0,75		
Autres transports.	0,30	0,25	0,80		
<i>Maintenance</i>					
Pour la G. V.	4,60	4,00	12,60		
Pour la P. V. {	sans condition de tonnage expédition de 4.000 kg. et au-dessus {	} frais de chargement au départ ... } frais de déchargement à l'arrivée... } frais de gare au départ. } frais de gare à l'arrivée.	} 1,20 } } 1,10 } } 1,10 }		
				} frais de chargement au départ ... } frais de déchargement à l'arrivée... } frais de gare au départ. } frais de gare à l'arrivée.	} 0,90 } } 0,70 } } 0,60 } } 0,60 }

de marchandises. On peut bien diviser par le tonnage des marchandises manutentionnées dans l'année le chiffre des dépenses totales comprenant le personnel des bureaux, des quais, des cours, les chevaux de manœuvre, les machines de manœuvre et autres accessoires, mais on ne tient compte alors ni des marchandises manutentionnées par le public, ni des marchandises transbordées, ni des wagons manœuvrés pour le service de la gare. En tout cas on se rend bien compte que la manutention générale des marchandises et des wagons occasionne aux Compagnies de chemins de fer, en dehors des frais de transport, des dépenses importantes. Les frais de transport sont couverts par l'application des taxes de transport, dont il est question plus loin au chapitre de la tarification. Pour couvrir les dépenses de manutention et de gare, les compagnies ont été autorisées à percevoir des frais accessoires à titre d'indemnité.

Ces frais accessoires sont fixés comme suit par l'arrêté ministériel du 24 décembre 1924, modifié à titre temporaire par un arrêté du 9 mars 1925, lequel est applicable à partir du 16 mars 1926 (voir le tableau ci-contre).

La dernière colonne donne les prix à compter en partant des prix de base du 9 mars 1925 et en appliquant la majoration de 140 0/0 à 200 0/0 acceptée par l'État.

Lorsque les tarifs laissent la manutention aux soins des expéditeurs et des destinataires, on déduit 0 fr. 90 (majoration et impôt non compris) par tonne pour chaque opération de chargement ou de déchargement faite par l'expéditeur ou le destinataire.

Aux gares de jonction des réseaux autres que ceux participant aux tarifs généraux communs, il est, en outre, perçu des frais de transmission fixés à 0 fr. 45 par tonne (majoration non comprise). Aux gares de jonction avec les Administrations étrangères, ces frais de transmission sont comptés à 1 fr. 10 pour les marchandises sans condition de tonnage et à 0 fr. 60 pour les marchandises expédiées par 4.000 kilogrammes et au-dessus.

Lorsqu'il y a lieu à transbordement entre deux lignes entre lesquelles l'échange du matériel est impossible, il est perçu un droit de 0 fr. 70 par tonne (majoration non comprise).

Les frais accessoires sont inférieurs à ceux indiqués ci-dessus pour certaines marchandises transportées à des tarifs spéciaux, notamment pour les denrées alimentaires et les journaux.

CHAPITRE XVI

APPAREILS DESTINÉS A GARANTIR LA SÉCURITÉ

Par M. LEFÈVRE

Dans l'Agenda Dunod 1930 nous avons traité les sujets suivants

I

SIGNALISATION

Signaux optiques.
Signaux acoustiques.
Signalisation française.
Signalisation étrangère.

II

MODE D'INSTALLATION DES SIGNAUX

Installation des signaux.
Commande des signaux.
Commande des aiguilles.
Contrôle des aiguilles et des signaux.

III

ENCLÈCHEMENTS

Généralités.
Réalisation des enclenchements.
Postes d'enclenchements.
Enclenchements produits par les trains eux-mêmes.

En raison du manque de place nous avons dû remettre à cette année la suite **IRIS** **LILLIAD** - Université Lille 1 du Block système.

IV

BLOCK-SYSTEM

La signalisation et les enclenchements dont il a été question jusqu'ici assurent la protection des mouvements et des stationnements en des points déterminés ; gares, bifurcations..., etc... Il nous reste à parler maintenant des différents systèmes employés pour obtenir la protection continue des trains en circulation, c'est-à-dire pour empêcher un train :

- 1° D'être rejoint par un train le suivant sur la même voie ;
- 2° Sur les lignes à voie unique, de s'engager en même temps qu'un train de sens opposé sur une section comprise entre deux points successifs de croisement.

Nous verrons d'abord comment est réalisée la première condition qui est la seule à considérer sur les lignes à double voie.

I

Espacement des trains.

Pour assurer l'espacement des trains se suivant, les gares ou postes successifs utilisent, soit leurs signaux ordinaires de couverture, soit des signaux spéciaux (sémaphores en France).

A. — Espacement par le temps.

Ce système, qui est le plus ancien, est encore d'emploi général sur les lignes à faible circulation. Il ne fait jouer aucune liaison entre les postes successifs. Chaque poste, après avoir fermé son signal derrière un train, le rouvre au bout d'un temps déterminé ¹.

L'espacement par le temps est assuré à peu près uniquement par les gares, au moyen de signaux de couverture (ou de leurs signaux de départ). Dans certains cas cependant, on peut avoir des postes

¹ Souvent dix minutes (délai donnant le temps à un train qui s'arrêterait en pleine voie d'assurer sa couverture à distance réglementaire) ; parfois cinq minutes seulement. L'intervalle peut varier suivant qu'un train lent est suivi d'un train rapide ou inversement.

d'espacement intermédiaires. On a réalisé des signaux d'espacement automatiques (sémaphore actionné par un moteur électrique dont le circuit est coupé au passage du train et n'est rétabli qu'au bout de dix ou quinze minutes, par un mouvement d'horlogerie).

La protection obtenue ainsi est évidemment assez précaire : elle ne se maintient pas quand, entre deux postes, un train est arrêté ou retardé dans sa marche : elle donne simplement au train arrêté un peu de temps pour assurer sa couverture.

Sur les lignes à forte circulation, où doivent se succéder à de faibles intervalles des trains dont les vitesses peuvent être très différentes, il faut un système de protection plus complet et plus souple. On l'obtient en substituant à l'intervalle de temps un intervalle de distance et en conjuguant les manœuvres des postes successifs de façon qu'un train reste couvert par un poste tant qu'il n'a pas atteint le poste suivant et a été couvert par ce dernier. C'est le mode de protection connu sous le nom de *Block-System*, ou de cantonnement des trains.

B. — Block-System.

Soient $S_1, S_2, \dots, S_k, \dots$ les signaux de block échelonnés sur une même voie.

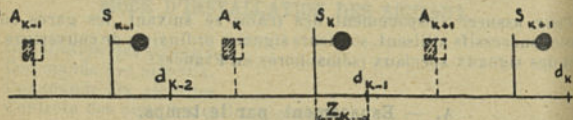


Fig. 80.

La longueur des cantons ($S_1, S_2, \dots, (S_k, S_{k+1})$) varie avec la densité de la circulation. Sur les lignes où la circulation n'est pas très forte, on n'a en général de postes de block qu'aux stations, avec de loin en loin un poste intermédiaire quand la distance entre deux stations est trop grande; la longueur des cantons va jusqu'à 8 ou 10 kilomètres, parfois plus. Sur les lignes à forte circulation, pour obtenir un débit suffisant, il faut des cantons plus courts, de 2 à 3 kilomètres en moyenne, parfois de 1 à 2 kilomètres, moins encore sur les lignes métropolitaines ou de banlieue où l'on descend à quelques centaines de mètres.

Un signal S_K fermé derrière un train ne doit être rouvert que quand ce train a franchi le signal suivant S_{K+1} et a été couvert par ce dernier ¹.

Les signaux S_K étant, sauf cas exceptionnels, précédés de signaux annonceurs A_K ², assurent la couverture d'un train dès que celui-ci est entré dans le canton S_K, S_{K+1} . Cependant, dans certains cas, on prolonge la couverture par le signal S_{K-1} jusqu'à ce que le train ait dégagé une certaine zone à l'aval de S_K . Le signal S_{K-1} , au lieu de couvrir simplement le canton S_{K-1}, S_K , couvre le canton S_{K-1}, d_{K-1} , d_{K-1} étant un point situé entre S_K et S_{K+1} voir *fig. 80*). Les cantons successifs chevauchent et la distance $S_K, d_{K-1} = Z_K$ s'appelle le chevauchement (*overlap* du block américain). Le chevauchement se rencontre surtout dans le block automatique; il existe cependant dans certains blocks manuels; c'est ainsi que sur le réseau français P. O., un poste ne doit rendre la voie au poste précédent que quand le train qu'il vient de couvrir a dégagé le sémaphore de 600 mètres.

On peut employer :

1° **Le block manuel**, dans lequel les signaux sont manœuvrés par des postes échelonnés sur la ligne.

2° **Le block automatique**, dans lequel les signaux sont actionnés par les trains eux-mêmes, au moyen de circuits de voie ³.

Avec l'un et l'autre système, on peut avoir différents régimes :

a) **BLOCK NORMALEMENT OUVERT** (signaux fermés derrière chaque train, mais rouverts aussitôt que le train a dégagé le canton protégé et est sous la protection du signal suivant) ou **BLOCK NORMALEMENT FERMÉ** (signaux ouverts quand un train se présente, et fermés derrière lui, pour n'être rouverts, si rien ne s'y oppose, qu'à l'arrivée d'un nouveau train).

Le block automatique normalement fermé (dans lequel chaque signal ne s'ouvre — si bien entendu le canton aval est libre — qu'à l'engagement d'un circuit de voie situé à l'amont) n'est plus guère employé sur double voie avec les signaux ordinaires, mais on peut y

¹ A moins bien entendu que le train ne se gare au poste ($K + 1$), auquel cas S_K peut être rouvert dès que le garage est effectué.

² S_K et A_K sont solidaires ou liés par l'enclenchement (S_K fermé A_K ouvert).

³ Nous laissons de côté le block automatique par pédales, qu'on trouve encore sur quelques lignes métropolitaines, mais qui disparaît progressivement.

rattacher le dispositif dit « *éclairage d'approche* » qu'on utilise avec les signaux lumineux. Les signaux sont normalement éteints et ne s'allument qu'à l'approche du train (donnant alors l'indication qui correspond à la situation du canton aval) ; la quantité d'énergie à leur fournir est considérablement réduite et il devient possible de les alimenter par de simples piles.

b) **BLOCK ABSOLU** (dans lequel il n'y a jamais deux trains engagés dans le même canton, le signal de block à l'arrêt ¹ ne pouvant être franchi) ou **BLOCK PERMISSIF** (dans lequel un train peut, après arrêt, franchir un signal de block fermé, à condition d'observer certains délais d'attente et de la marche à vue ² jusqu'au signal de block suivant).

Le block permissif que nous venons de définir a été appelé parfois block conditionnel, la désignation « block permissif » étant réservée à un block dont les signaux n'imposeraient pas l'arrêt, mais simplement la marche à vue. Cette distinction n'a plus guère de raison d'être. En principe, maintenant, les signaux de block quand ils sont franchissables, ne le sont qu'après arrêt. Il peut y avoir des exceptions, mais elles ne portent que sur des signaux particuliers (signaux de rampe aux États-Unis). A signaler cependant que l'Ouest-État français emploie encore un système de block dans lequel, au bout d'un certain temps, le signal d'arrêt absolu est remplacé par une plaque « attention » n'imposant pas l'arrêt.

1° Block manuel. — **BLOCK NON ENCLENCHÉ.** — Les relations entre deux postes successifs P_K et P_{K+1} n'ont été assurées d'abord que par de simples appareils de correspondance, permettant d'annoncer d'un poste à l'autre l'engagement ou le déengagement du canton S_K , S_{K+1} . Il y a d'ailleurs en Angleterre de ces appareils de correspondance qui sont très complets ³ et qui n'ont besoin que de quelques

¹ Par interdiction de franchissement, il faut entendre interdiction à un train de s'engager dans le canton suivant. Mais, en général, un signal de block placé dans une gare peut être franchi par les mouvements ne sortant pas de la gare.

² Marche à faible vitesse permettant de s'arrêter dans la partie de voie en vue si un obstacle apparaît.

³ Appareils à cadran et aiguille ou à voyants donnant (simultanément dans les deux postes) trois indications : 1° *voie libre* ; 2° *train engagé* ; 3° *voie fermée* ; 3° est donnée normalement. A l'approche d'un train, sur demande de P_K (sonnerie conventionnelle), P_{K+1} donne 1° et le signal S_K peut être ouvert. Quand le train entre dans le canton, P_K l'annonce à P_{K+1} (par son-

additions pour donner du block enclenché, en se conjuguant avec des dispositifs de verrouillage des leviers de signaux.

Les annonces de poste à poste se font souvent simplement par télégraphe ou par téléphoné. Le block téléphonique est resté en usage sur beaucoup de lignes secondaires; on y a recours aussi sur les lignes pourvues d'un autre système de block, quand un dérangement empêche d'utiliser ce dernier.

BLOCK ENCLENCHÉ. — Dans le système précédent, il n'existe aucune liaison entre les signaux de block et les appareils de correspondance; la sécurité repose sur la stricte observation, dans la manœuvre des premiers, des indications fournies par les seconds. Pour prévenir toute erreur, on a été conduit tout naturellement à établir des enclenchements entre les deux séries d'appareils.

Les enclenchements à réaliser sont les suivants :

1° Le signal S_K du poste P_K , fermé derrière un train, ne doit pas pouvoir être rouvert tant que « voie libre » n'a pas été donnée par le poste suivant P_{K+1} . Il faut donc que le levier de S_K s'enclenche à la fermeture et reste enclenché tant qu'il n'a pas été libéré par le poste P_{K+1} .

(Nous indiquons plus loin que dans le block français Lartigue, S_K n'est pas seulement libéré, mais rouvert par P_{K+1} . La réouverture, par le poste de sortie, du signal fermé par le poste d'entrée, se retrouve aussi dans des blocks mécaniques utilisés sur des lignes à cantons très courts.)

2° Le poste P_{K+1} ne doit pouvoir « rendre la voie » au poste P_K que quand le train :

- a) A dégagé le canton S_K, S_{K+1} ;
- b) A été couvert par le signal S_{K+1} .

(La condition *b*) n'a pas évidemment à jouer quand le train se gare au poste P_{K+1} . Divers dispositifs de libération sont prévus pour ce cas).

On réalise le 1° au moyen de dispositifs tels que ceux décrits précédemment. Un courant passager de déblocage envoyé par P_{K+1} déverrouille le levier ou la manivelle de manœuvre du signal S_K au poste précédent.

On réalise le 2° *b*) en enclenchant dans le poste P_{K+1} l'organe (manivelle ou bouton poussoir) utilisé pour envoyer le courant de déblocage

et P_{K+1} donne 2°. Enfin, quand le train est sorti du canton, P_{K+1} donne 3° et P_K accuse réception (par sonnerie). Toutes ces indications, pour les deux sens de circulation, peuvent être données avec un seul fil de ligne, chaque poste envoyant trois sortes de courant (courant positif, courant négatif et courant réduit). IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cage, avec le levier ou la manivelle de manœuvre du signal S_{K+1} . C'est l'enclenchement dit *de continuité*, qui doit être tel que la manœuvre de déblocage ne puisse être faite qu'une fois après chaque remise à la fermeture du signal S_{K+1} . Nous avons décrit un mode de réalisation purement mécanique de cet enclenchement. Il en existe beaucoup d'autres formes, mécaniques ou électriques. Dans le block Siemens l'enclenchement est rendu inutile puisque c'est la même manœuvre qui produit le blocage de S_{K+1} et le déblocage de S_K .

On matérialise la condition 2° a) en faisant agir le train lui-même sur une pédale ou un rail isolé placé à la sortie du canton S_K, S_{K+1} . L'organe de déblocage reste enclenché électriquement tant que cette pédale n'a pas été touchée ¹.

On rend parfois les signaux de block semi-automatiques, en les faisant se fermer automatiquement au passage des trains. Ceci est surtout utile dans les postes d'entrée de block, de sortie de garage, etc., où il n'y a pas à rendre la voie à l'arrière et où, par conséquent, la couverture du train n'est pas imposée par un enclenchement de continuité.

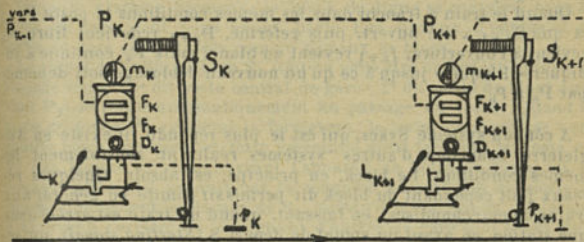
Les systèmes de block enclenché sont très nombreux. Ils comportent à peu près tous (sauf le block français Lartigue) l'emploi de simples appareils de verrouillage électrique pouvant se monter sur des leviers quelconques, et laissant par conséquent toute liberté quant au mode de commande des signaux de block, à leurs enclenchements mécaniques, etc. Tous ces appareils de block sont associés à des sonneries et appareils de correspondance divers, et aussi munis de voyants indiquant la dernière manœuvre effectuée.

Nous allons donner une brève description des systèmes les plus caractéristiques. Sauf le système Siemens, ils sont tous à courant continu (piles).

ANGLETERRE. — *Système Sykes*. — Le levier de S_K (fig. 81) se bloque automatiquement non seulement à la fermeture, mais aussi à l'ouverture (le dernier enclenchement laissant au levier la liberté de faire une partie de sa course, pour fermer le signal, mais non de la terminer et de dégager le bouton-poussoir de reddition de voie). Le dispositif

¹ Ceci ne donne pas évidemment la certitude que le train est passé en entier; à la suite d'une rupture d'attelages, des véhicules pourraient être restés dans le canton. On laisse d'ordinaire à l'agent du poste le soin de vérifier que les trains passent au complet; on peut cependant contrôler le dégagement effectif du ca-

de blocage est celui dont nous avons donné le principe ; il comporte un aimant permanent conjugué avec une bobine à laquelle on fait produire un flux antagoniste. La bobine de déblocage est connectée, quand le signal est fermé, au fil de ligne allant au poste suivant P_{K+1} et, quand le signal est ouvert, à la pédale de sortie placée au poste P_K . Le bouton-poussoir produisant l'envoi du courant de déblocage à l'arrière ne peut être enfoncé que si le levier de signal est à la fermeture, et, à son enfoncement, déclenche une pièce qui s'oppose à ce qu'il soit enfoncé une seconde fois tant que le levier de signal n'a pas été ouvert, puis refermé.



F. G. 81.

Pour chaque sens de circulation, il y a un seul appareil de block, placé au-dessus du levier L_K du signal S_K , avec lequel il a des liaisons par triangles. Cet appareil comporte, outre le bouton-poussoir de déblocage D_K :

a) Un petit signal miniature m_K qui indique si la section aval est libre ou occupée ;

b) Une fenêtre supérieure F_K qui montre l'inscription « Bloqué » ou « Libre » suivant que L_K est enclenché ou non ;

c) Une fenêtre inférieure f_K qui montre du blanc ou l'inscription « Train engagé » suivant que le déblocage n'a pas été ou a été donné au poste précédent P_{K-1} .

Le fonctionnement est alors le suivant :

S_K est normalement bloqué à la fermeture, F_K indique « Bloqué », m_K est ouvert si la voie est libre, f_{K+1} donne du blanc.

À l'approche d'un train, P_K demande, par sonnerie, le déblocage à P_{K+1} .

P_{K+1} actionne son bouton-poussoir D_{K+1} (ce qui n'est possible que si S_{K+1} est fermé). Un courant de déblocage passe dans la bobine de

l'appareil de P_K . L_K est libéré, F_K indique « Libre », m_K vient à la fermeture, f_{K+1} indique « Train engagé »¹. A partir de ce moment, D_{K+1} est enclenché.

P_K ouvre L_K qui se bloque à l'ouverture. F_K indique « Bloqué ». La bobine de déblocage cesse d'être connectée avec la ligne et est mise en liaison avec la pédale p_K placée à l'aval de S_K .

Quand le train, ayant franchi S_K , touche la pédale p_K , un courant est envoyé dans la bobine, L_K est libéré et peut être refermé complètement. Il se rebloque à la fermeture et la bobine est remise sur la ligne. D_K est rendu libre pour l'envoi d'un déblocage ultérieur au poste P_{K-1} .

Quand le train a franchi dans les mêmes conditions le poste P_{K+1} et que S_{K+1} a été ouvert, puis refermé, D_{K+1} redevient libre, m_K revient à l'ouverture, f_{K+1} revient au blanc, mais F_K continue à indiquer « Bloqué » jusqu'à ce qu'un nouveau déblocage soit demandé par P_K à P_{K+1} .

A côté du système Sykes, qui est le plus répandu, il existe en Angleterre beaucoup d'autres systèmes réalisant sensiblement les mêmes conditions. Le block, en principe, est absolu. Quelques réseaux font cependant du block dit permissif (limité en général aux trains de marchandises), en laissant, quand un train est arrêté dans une station en avant du signal de départ S (*Starting signal*), un second train s'avancer jusqu'au signal d'entrée H (*Home signal*). Le système Evans a un appareil de block spécial pour ce cas : suivant qu'une manette M occupe une position a (*block absolu*) ou p (*block permissif*), la station débloque au poste précédent, soit le signal ordinaire de block, soit un signal spécial dont l'effacement indique au mécanicien que « la section est libre mais la station suivante bloquée ». M est enclenchée mécaniquement avec H et S et ne peut être amenée en position a quand S n'a pas été ouvert pour laisser passer le dernier train qui a franchi H . L'enclenchement tient compte de l'ordre de manœuvre de H et de S ; on pourrait y substituer le jeu d'un circuit de voie ou d'un enclenchement de transit appliqué au parcours HS .

ALLEMAGNE ET EUROPE CENTRALE. — *Block Siemens*. — Nous avons décrit les appareils Siemens, dans lesquels les courants de blocage et de déblocage sont des courants alternatifs à faible fréquence produits par une magnéto à main. Nous avons indiqué que, dans le block de ligne, la même manœuvre produisait le blocage du signal S_K et le déblocage du signal S_{K-1} du poste précédent; l'enclanche-

¹ Il y a parfois une indication intermédiaire « Train accepté ».

ment de continuité (2° b) se trouve réalisé *ipso facto*. On ne peut donner deux déblocages successifs en laissant S_K au blocage, car, comme nous l'avons dit, le mécanisme de l'appareil de block est tel que la tige supérieure t_K , dont l'enfoncement passager provoque le verrouillage, ne peut être enfoncée une seconde fois, si le déverrouillage ne s'est pas produit dans l'intervalle ¹.

Le block comporte une pédale de sortie p_K placée à l'aval du signal- S_K et qui, au passage du train, envoie un courant de déverrouillage dans un verrou v_K (à courant continu) agissant sur la tige t_K . Tant que cette pédale n'a pas été touchée, la tige ne peut être enfoncée et il ne peut y avoir blocage de S_K ni déblocage de S_{K-1} .

Dans le système Siemens, le block de ligne se conjugue avec le block de gare, dont nous avons parlé. Les signaux d'entrée et de sortie de gare sont utilisés comme signaux de block.

Le signal de sortie de gare S_1 (qui ne peut être ouvert qu'après déblocage venus : 1° du poste central de gare ; 2° du poste de block suivant P_2) se ferme automatiquement au passage du train. Quand le poste de sortie P_1 confirme la fermeture, le levier du signal se verrouille mécaniquement et reste verrouillé ainsi tant que le poste ne l'a pas bloqué en manœuvrant l'appareil de block de ligne. Ici, le courant alternatif produit par la magnéto ne sort pas du poste et donne simplement le blocage de S_1 , puisqu'il n'y a pas de déblocage à envoyer à l'arrière (où les signaux d'entrée de gare sont tenus uniquement par le block de gare). La manœuvre de blocage de S_1 produit en même temps l'envoi au poste suivant P_2 d'un courant continu qui actionne une sonnerie d'annonce et fait passer au rouge un voyant V'_1 d'occupation du canton P_1 , P_2 (un voyant semblable V_1 donne la même indication dans le poste P_1).

Dans un poste intermédiaire quelconque P_K (voir *fig.* 82), le train est annoncé comme nous venons de le voir (par une sonnerie et le passage au rouge d'un voyant V'_{K-1}), à la manœuvre de blocage faite dans le poste précédent P_{K-1} . S_K ne se ferme pas automatiquement. Après l'avoir fermé derrière le train, P_K manœuvre son appareil de block et envoie le courant qui donne simultanément le déblocage de S_{K-1} et le blocage de S_K , mais la manœuvre n'est possible que si le train est réellement passé et a touché la pédale de sortie p_K . Cette même manœuvre produit :

° Le passage au blanc des voyants V'_{K-1} dans P_K et V_{K-1} dans P_{K-1} , avec sonnerie dans P_{K-1} .

¹ L'obligation d'avoir un déblocage de S_K entre deux déblocages successifs de S_{K-1} n'entraîne pas l'obligation d'ouvrir effectivement S_K , mais cette ouverture est imposée par le jeu de la pédale de sortie. Sans faire intervenir cette dernière, on peut réaliser un dispositif de verrouillage du levier de S_K qui oblige à manœuvrer ce levier entre deux verrouillages.

2° Le passage au rouge des voyants V_K dans P_K et V'_K dans P_{K+1} , avec sonnerie dans P_{K+1} .

Au poste d'entrée de gare où finit le block de ligne (pour le sens de circulation considéré), les conditions de fonctionnement sont à peu près les mêmes que dans un poste intermédiaire. Le signal d'entrée de gare S_n ne se ferme pas automatiquement, mais il doit être fermé

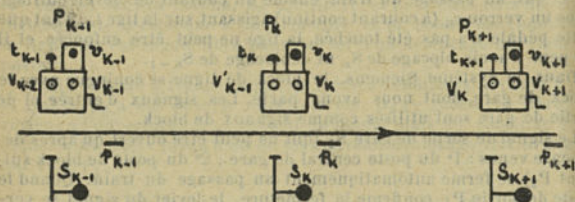


FIG. 82. — Block Siemens.

pour l'envoi du courant de déblocage à S_{n-1} , quand le train a passé sur la pédale de sortie. Ainsi fermé, il reste bloqué jusqu'à déblocage par le poste central de gare.

Le block Siemens est absolu et normalement fermé.

FRANCE. — *Block Lartigue*. — Le système qui a reçu le plus d'applications en France est le système Lartigue, employé par trois réseaux (Est, Nord, P. O.), alors que les quatre autres réseaux ont chacun leur système particulier (A. L. le système Siemens; Midi le block automatique; P.-L.-M. un système assez analogue aux blocks anglais; État deux ou trois systèmes pouvant se classer dans la même catégorie que le précédent).

Le système Lartigue se différencie nettement de tous les autres par une solidarité complète entre les signaux et les appareils de block. Ces derniers ne sont plus de simples organes de verrouillage du levier de signal, ils actionnent le signal. Quand un poste P_K ferme son signal S_K , celui-ci se bloque, pour se rouvrir, sans nouvelle intervention de P_K , à la réception du courant de déblocage envoyé par P_{K+1} . On peut dire que ce bloc, est à *action directe* alors que tous les autres sont des blocks *par autorisation*.

Cette solidarité des signaux et des appareils de block oblige à avoir :

1° Des signaux affectés exclusivement au block; (Ce sont des ailes sémaphoriques);

2° Des organes de commande de forme particulière, permettant au signal de revenir par simple déclenchement à sa position d'ouverture.

L'organe de commande est une manivelle tournant toujours dans le même sens (sens inverse des aiguilles d'une montre. Un encliquetage interdit la rotation en sens contraire). Dans la position effacée de l'aile sémaphorique, (qui est la position d'équilibre, à laquelle cette aile revient sous la seule action de son poids) la manivelle d'actionnement, dite manivelle n° 1, est placée horizontalement et à droite ¹. En faisant tourner cette manivelle d'un peu plus d'un demi-tour (210 à 220°), on amène l'aile dans sa position horizontale où elle commande l'arrêt. Dans cette position, la manivelle est arrêtée par un organe de blocage commandé par un dispositif à aimant permanent et à bobine de déblocage dont le principe a été donné. Quand la bobine, qui, pour cette position de la manivelle, est connectée au fil de ligne allant au poste suivant, reçoit de ce poste un courant

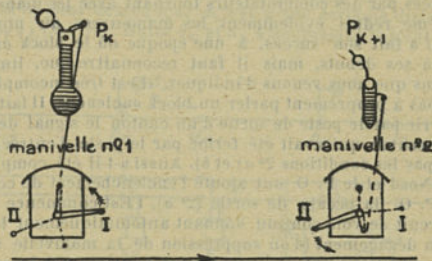


FIG. 83. — block Lartigue.

de polarité convenable, l'organe de blocage s'efface, et l'aile retombe par son propre poids, entraînant la manivelle qui achève le tour commencé et revient à sa position de départ. Nous appellerons cette position de départ la position I et la position de blocage la position II (voir fig. 83).

A la manivelle n° 1 dans le poste P_K correspond dans le poste P_{K+1} un organe d'émission du courant de déblocage. Au lieu d'avoir un des organes simples déjà décrits, on a une manivelle à déclenche-

¹ La tringle verticale qui tire sur le prolongement de l'aile pour relever celle-ci est reliée à une contre-manivelle calée à 80° environ en avance sur la manivelle.

ment, dite manivelle n° 2, toute semblable à la manivelle n° 1 du poste P_K et conjuguée avec cette dernière de façon à pouvoir servir d'appareil d'annonce. Cette manivelle n° 2 est solidaire d'un aileron qu'un contrepoids tend à ramener en position horizontale (position I de la manivelle). Quand on amène la manivelle en position II, où elle se bloque, l'aileron est effacé verticalement.

Normalement, la manivelle n° 1 est libre en position I, la manivelle n° 2 enclenchée en position II, aile et aileron sont effacés. Quand le poste P_K ferme sa grande aile et tourne sa manivelle n° 1 de I à II, un courant passager est envoyé dans la bobine de la manivelle n° 2 de P_{K+1} , qui est déclenchée et revient en position I : l'aileron se développe. Pour donner voie libre après passage du train P_{K+1} ramène sa manivelle n° 2 de la position I à la position de blocage II ; l'aileron s'efface en même temps que le courant de déblocage est envoyé à P_K . Ces envois alternés de courant se font d'ailleurs au moyen d'un seul fil de ligne, les connexions convenables étant données par des commutateurs tournant avec les manivelles.

Ce système réduit évidemment les manœuvres au minimum : c'est ce qui a fait son succès, à une époque où le block enclenché n'était qu'à ses débuts, mais il faut reconnaître que, limité aux conjugaisons que nous venons d'indiquer, il est très incomplet et ne constitue pas à proprement parler un block enclenché. Il fait simplement rouvrir par le poste de sortie d'un canton le signal de protection de ce canton qui avait été fermé par le poste d'entrée, mais il ne réalise pas les conditions 2° a) et b). Aussi a-t-il été complété peu à peu ; le Nord et le P. O. ont ajouté l'enclenchement de continuité (2° b), le P. O. la pédale de sortie (2° a), l'Est commence à appliquer le circuit de voie continu donnant automatiquement le déblocage à son dégagement (d'où suppression de la manivelle n° 2).

D'autres additions ont été nécessaires pour assurer la répétition des sémaphores par ces signaux annonciateurs, par des pétards, etc. A toutes ces additions, le block Lartigue se prête certainement moins bien que les blocks par autorisation, car les manivelles n'offrent pas les mêmes facilités que les leviers pour la réalisation des commandes à distance ou des enclenchements.

2° Block automatique. — Tout le block automatique tient dans le circuit de voie, dont nous avons décrit le fonctionnement précédemment. Les signaux de block, à commande électrique, sont sous la dépendance des relais de voie et tenus fermés tant qu'il y a un véhicule dans le canton correspondant ¹.

1° Quand le canton C_K protégé par le signal S_K n'est pas trop long

¹ Il y a aussi fermeture du signal en cas de rupture d'un rail dans le canton. C'est là un avantage important du block automatique.

jusqu'à 12 à 1.500 mètres avec le courant continu, 3 à 4 kilomètres avec le courant alternatif) et qu'il n'y a pas chevauchement, on peut n'avoir dans ce canton qu'un seul circuit de voie régnant de S_K à S_{K+1} . Le relais de voie V_K placé à l'entrée du circuit commande S_K qui se ferme quand le train aborde le joint d'entrée, dit joint déblocueur. Dans ce cas, le joint déblocueur de S_K coïncide avec le joint bloqueur de S_{K+1} ;

2° Un canton dont la longueur dépasse les limites indiquées doit être divisé en plusieurs circuits $V_K, V'_K, \dots, V_{K+1}$. En montant ces circuits en « cascade » (l'alimentation du circuit V_P passant par un contact + du relais V_{P+1} du circuit placé immédiatement à l'aval), on voit que l'occupation de l'un quelconque d'entre eux se traduit par la désexcitation des relais de tous les circuits amont et qu'il suffit encore de faire commander S_K par le relais V_K placé à sa hauteur ;

3° Quand il y a chevauchement, le joint bloqueur b_K reste à hauteur de S_K , mais le joint déblocueur d_K est à une certaine distance Z à l'aval de S_{K+1} (fig. 84). Entre b_K et d_K s'intercalent le joint dé-

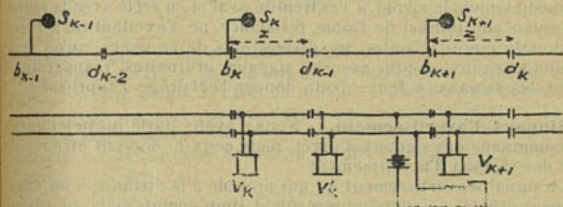


FIG. 84.

bloqueur d_{K-1} de S_{K-1} et le joint bloqueur b_{K+1} de S_{K+1} . Il y a donc au moins trois circuits agissant sur S_K :

V_K entre b_K et d_{K-1} (chevauchement Z)

V_K entre d_{K-1} et b_{K+1}

V_{K+1} entre b_{K+1} et d_K (chevauchement Z)

V_K et V_{K+1} peuvent être montés en cascade (V'_K n'ayant à agir que sur S_K), mais non V_K et V'_K (V_K devant agir à la fois sur S_K et sur S_{K-1}). Il faut donc faire intervenir dans la commande de S_K les deux relais V_K et V'_K , et ce dernier étant placé à une distance Z en aval de S_K , il est nécessaire d'avoir un circuit de ligne de cette longueur.

Dans certains blocks à cantons courts, on prend comme longueur du chevauchement Z celle du canton suivant. Alors d_K coïncide avec b_{K+2} ; les circuits se présentent comme au 1^o, mais chacun d'eux commande les deux signaux précédents, et il y a toujours derrière un train deux signaux fermés et un canton libre (canton tampon).

Le block automatique peut être normalement ouvert ou normalement fermé, mais, comme nous l'avons dit, c'est le premier système qui est généralement employé maintenant sur double voie. Le block normalement fermé se rencontre cependant encore dans un certain nombre d'installations (celle du Midi français, en particulier). Il est un peu moins simple que le block normalement ouvert, puisqu'aux conditions ordinaires d'ouverture d'un signal de block (dégagement du ou des circuits du canton aval), s'ajoute la condition d'approche du train (engagement d'un circuit placé à l'amont). Cette condition supplémentaire conduit, en général, à l'emploi d'un circuit de ligne entre le relais de voie amont et le signal; cependant, on peut éviter ce circuit de ligne en montant dans le circuit de voie qui précède immédiatement le signal, à l'extrémité aval et en série avec la source, un relais additionnel de faible résistance ne s'excitant qu'à l'occupation du circuit. Toutes les dispositions de ce genre, qu'on abandonnait de plus en plus avec les signaux ordinaires, réapparaissent avec les signaux à feux, pour donner l'éclairage d'approche ¹.

Signaux d'avertissement. — Nous n'avons parlé jusqu'ici que de la commande des signaux d'arrêt, mais ceux-ci doivent être répétés par des signaux d'avertissement.

Le signal d'avertissement A_K qui précède à la distance a un signal S_K peut répéter ce signal purement et simplement, mais en général il se ferme dès qu'il est franchi par le train, et il est commandé non seulement par S_K , mais aussi par le relais d'un circuit de voie W_{K-1} régnant entre lui et S_K . La commande par S_K exige, ou que le circuit moteur de A_K vienne passer par S_K (ce qui n'est possible qu'avec un courant moteur de voltage élevé) ou qu'on ait près de A_K un relais répéteur de S_K . Ce report en A_K de la position de S_K peut être obtenu :

- 1^o Ou en utilisant un circuit de ligne de longueur a ;
- 2^o Ou en polarisant le circuit de voie W_{K-1} .

Dans ce dernier cas (fig. 85), les rails sont connectés aux bornes de la source par l'intermédiaire d'un inverseur monté sur le signal S_K .

¹ Avec un signal ordinaire, à moteur alimenté par piles, la fermeture normale se traduit par une économie insignifiante, le courant de maintien à l'ouverture ne prenant que quelques dixièmes de watt. Avec un signal à feux, l'extinction normale fait économiser 6 ou 8 watts par feu.

ou constitué avec des contacts du relais V_R commandant S_R . Le relais de voie W_{R-1} est un relais courant continu polarisé ou courant alternatif à deux éléments trois positions. Suivant que S_R est ouvert ou fermé ce relais W_{R-1} reçoit un courant i_a ou i_b , i_a et i_b étant de polarités (ou de phases) opposées, et donne par conséquent des contacts $+a$ ou $+b$. On prend un contact $+a$ pour commander l'ouverture de A_R , qui est bien ainsi subordonnée à la double condition : 1° circuit de voie W_{R-1} libre ; 2° signal S_R ouvert. Le relais W_{R-1}

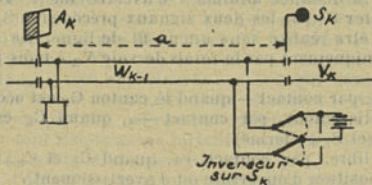


Fig. 85.

continue à agir sur les circuits ou signaux amont à la façon ordinaire, par contacts $+$ et $-$, soit que, pour obtenir l'équivalent du contact $+$ d'un relais neutre, on monte en parallèle un contact $+a$ et un contact $+b$, soit que (cas des relais courant continu polarisés) le relais comporte, à côté d'une armature polarisée donnant des contacts $+a$ et $+b$, une armature neutre donnant simplement des contacts $+$ et $-$.

Signaux à trois positions. — La distance a entre un signal de block S_R et son annonceur A_R est en général voisine d'une distance d'arrêt, soit 800 à 1.200 mètres, 1.500 mètres au plus. Quand les cantons sont de longueur supérieure, les deux séries de signaux S et A sont distinctes, mais, comme nous l'avons indiqué, sur les lignes à forte circulation, on a couramment des cantons de 1.000 à 1.500 mètres, parfois moins. On peut alors placer l'avertisseur A_{R+1} du signal S_{R+1} à hauteur du signal S_R et ceci conduit tout naturellement à la fusion des deux signaux S_R et A_{R+1} en un

1 Dans ces relais courant continu polarisés, l'armature polarisée, quand le relais se désexcite, reste en général dans la dernière position commandée et donne ainsi toujours un contact $+a$ ou $+b$. Un circuit qui ne doit être fermé qu'au passage du courant i_a doit donc passer non seulement par un contact $+a$ mais aussi par un contact $+$.

seul signal à trois positions. Voir ce que nous avons dit de ce dernier.

La commande du signal à trois positions se fait comme celle de deux signaux à deux positions (voir pour les signaux à feux). S_K est mis à l'arrêt par le ou les relais de voie du canton C_K , et à l'avertissement par un relais répéteur de S_{K+1} , relais qui peut être, comme nous l'avons dit dans le paragraphe précédent, soit un relais de ligne, soit un relais de voie polarisé. Dans ce dernier cas, s'il n'y a pas chevauchement, et si la longueur c du canton n'est pas inférieure à la distance minima a d'avertissement (avec $c < a$, il faudrait répéter S_K par les deux signaux précédents S_{K-1} et S_{K-2}), le block peut être réalisé sans aucun fil de ligne. Le signal S_K est commandé uniquement par le relais de voie V_K à trois positions, qui met :

- 1° A l'arrêt, par contact — quand le canton C_K est occupé;
- 2° A l'avertissement, par contact $+a$, quand C_K est libre mais C_{K+1} occupé (et S_{K+1} fermé);
- 3° A voie libre, par contact $+b$, quand C_K et C_{K+1} sont libres (et S_{K+1} en position d'ouverture ou d'avertissement).

Circuits de voie. — Ici, les circuits de voie principaux, étant données leurs longueurs, sont toujours à deux files de rails. Nous ne reprendrons pas les descriptions données, nous y ajouterons simplement quelques indications relatives aux montages et aux modes d'alimentation employés,

Montage par polarités alternées. — La source d'un circuit de voie V_{K-1} et le relais du circuit suivant V_K sont connectés aux rails

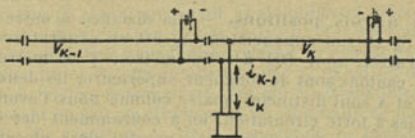


FIG. 86.

en des points très voisins, placés de part et d'autre des joints isolants séparant les deux circuits (fig. 86). Si ces joints isolants sont défectueux, il ne faut pas qu'un courant de fuite I_{K-1} les traversant puisse provoquer l'excitation du relais V_K alors que le circuit V_K est occupé. A ce moment le shuntage par le train ne laisse plus arriver

au relais qu'une très faible partie i_K du courant I_K fourni au circuit V_K ($i_K < i_c$, intensité de chute du relais) mais ce shuntage a beaucoup moins d'effet sur le courant I_{K-1} , surtout quand le train est à l'extrémité aval du circuit V_K , et le relais reçoit un second courant i_{K-1} qui peut prendre une valeur notable.

On écarte, ou tout au moins on diminue le risque d'une excitation intempestive en donnant à i_{K-1} et à i_K des polarités (ou des phases) opposées, de façon que leurs effets dans le relais se retranchent au lieu de s'ajouter. Il suffit pour cela d'avoir dans le circuit V_K des connexions entre source et rails inverses de celle du circuit V_{K-1} (et V_{K+1}), les bornes de même nom des sources successives étant reliées alternativement à une file de rails et à l'autre. Avec un relais neutre, l'excitation de V_K à canton occupé reste possible, mais pour des valeurs de i_{K-1} très supérieures à celles qui donneraient cette excitation dans le cas de polarités non alternées¹. Avec un relais courant continu polarisé ou courant alternatif deux éléments, on peut éliminer tout risque en ne faisant donner de contact + que par un courant de sens ou de phase déterminés.

Par contre, l'opposition des polarités ou des phases de I_{K-1} et I_K peut, si le courant de fuite a une intensité notable et affaiblit par trop le courant normal, empêcher l'excitation du relais V_K alors même que le circuit est libre. Ce raté à l'excitation ne compromet pas la sécurité comme un raté à la désexcitation; il se traduit par la fermeture d'un signal, fermeture qui décèle immédiatement le mauvais état des joints isolants.

Circuits à courant continu. — Les relais courant continu sont presque toujours du type neutre; les relais polarisés, assez peu employés aux États-Unis, ne le sont pas du tout en France.

Comme nous l'avons déjà indiqué, les relais courants sont de 4^m et de 2^m, les derniers étant utilisés pour les circuits de grande longueur à isolement médiocre.

Dans la majorité des cas, l'alimentation se fait par piles. En France, on emploie surtout la pile au sulfate de cuivre, parfois la pile Leclanché. Aux États-Unis la pile au sulfate de cuivre, seule utilisée au début, est maintenant remplacée presque partout par la pile à la soude², dont la force électromotrice, plus faible (0 v, 65 au lieu de 0 v, 9 à 1 volt) est plus constante, et dont la résistance intérieure

¹ Il faut $i_{K-1} > i_c + i_K$ au lieu de $i_{K-1} > i_c - i_K$, i_c étant l'intensité d'excitation du relais. (Pour un maintien à l'excitation, il faudrait écrire i_c , au lieu de i_e , mais en général i_{K-1} ne prend pas de valeur dangereuse quand le train aborde le circuit V_K , et le relais V_K se désexcite toujours).

² Dérivée de la pile de Lalande : électrodes en Zn et CuO dans une solution concentrée de (Na O H).

est pratiquement nulle (0,02₀₀ contre 2 à 3₀₀ pour la pile au sulfate). Cette dernière particularité facilite les réglages, dans lesquels n'intervient que la résistance extérieure r_c montée en série avec la pile et qui n'est pas sujette à variations comme la résistance intérieure d'une pile. Les éléments à la soude ne sont jamais montés en série (comme le sont encore en France les éléments au sulfate); le faible voltage de 0 v. 65 suffit dans tous les cas, à condition de prendre des relais de 2₀₀ quand la résistance du ballast est médiocre. Les pertes dans le ballast sont donc grandement diminuées. D'autre part, les piles à la soude demandent beaucoup moins d'entretien que les piles au sulfate.

L'énergie fournie par des piles est coûteuse et il y a intérêt à y substituer, quand on le peut, de l'énergie industrielle. Ceci est possible notamment dans le block à signaux lumineux, quand on est conduit à avoir pour l'alimentation des signaux, une distribution de courant alternatif le long de la ligne. Dans ce cas, la solution la plus simple semblerait être l'alimentation directe des circuits de voie en courant alternatif, mais sur les lignes non électrifiées où l'on ne craint pas que des courants étrangers viennent troubler le fonctionnement des circuits de voie courant continu, on préfère souvent ces derniers, d'abord parce que les relais courant continu sont plus simples et plus faciles à régler, coûtent moins cher et consomment beaucoup moins que les relais courant alternatif, ensuite parce qu'avec le courant continu on peut avoir, pour chaque circuit ou signal, une réserve d'énergie (sous forme d'une batterie d'accumulateurs), permettant à la signalisation de ne pas être affectée par des irrégularités — voire même des arrêts plus ou moins prolongés — dans la distribution courant alternatif. On emploie alors des groupes « redresseurs-accumulateurs » dans lesquels un redresseur, qui reçoit du courant alternatif et ne laisse passer que les alternances d'une polarité déterminée ¹, débite dans le circuit courant continu en même temps que dans une batterie d'accumulateurs montée en « tampon. Cette batterie est ainsi maintenue à pleine charge et assure la constance du voltage dans le circuit courant continu; elle débite dans ce circuit aux lieu et place du redresseur quand l'alimentation en courant alternatif est interrompue. Pour un circuit de voie, la batterie ne comporte, en général, qu'un élément d'accumulateur au Pb (2 volts) ou au fer-nickel (1¹,2). Le premier, de résistance presque nulle, doit toujours être monté avec une résistance en série. On donne à cet élément une capacité d'au moins 50 AH lui permettant d'assurer sans recharge l'alimentation du circuit de voie pendant plusieurs jours.

¹ On recueille en fait les alternances de l'une et l'autre polarité, en utilisant deux séries d'éléments redresseurs, et en les conjuguant convenablement.

On a des groupes « redresseurs-accumulateurs » avec batteries plus importantes (8 à 10 volts) pour les circuits de ligne et de signaux. Les signaux à feux restent d'ailleurs normalement alimentés en courant alternatif; ce n'est qu'en cas d'arrêt de ce courant que la désexcitation d'un relais branche le circuit des feux sur la batterie.

Les redresseurs les plus employés actuellement aux États-Unis sont des redresseurs électrolytiques type Balkite (électrodes de plomb et de tantale pur dans une solution d'acide sulfurique), dont le fonctionnement est très sûr et qui n'exigent presque pas d'entretien; leur rendement varie de 15 à 20 0/0 (sur batterie de 2 volts) à 40 ou 50 0/0 (sur batterie de 10 volts). On vient d'introduire un autre type, le redresseur à oxyde de cuivre, qui est d'une très grande simplicité (simples rondelles de cuivre oxydées sur une face dans lesquelles l'action redressante se produit à la surface de séparation du cuivre et de l'oxyde) et dont le rendement dépasse 50 0/0. L'un et l'autre type commencent à être employés en France.

Circuits à courant alternatif. — Nous avons dit que le relais courant alternatif doit être à deux éléments dès que le circuit de voie a une longueur un peu grande. Sur lignes électrifiées, il vaut même mieux employer le relais deux éléments dans tous les cas.

Avec les signaux à trois positions, on emploie assez fréquemment, pour ne pas avoir de fils de ligne, des circuits polarisés avec relais à trois positions. Cependant, on préfère en général, sur lignes électrifiées, s'en tenir au relais à deux positions, qui, comme nous l'avons vu, est, avec des circuits à polarités alternées, complètement à l'abri des excitations intempestives par un courant de fuite traversant un joint isolant ¹. (Avec le relais à trois positions, on est exposé, en pareil cas, à avoir une fausse indication « avertissement » au lieu de l'indication « arrêt ».)

Quand on commande par circuits de voie à courant alternatif polarisés des signaux lumineux, on adjoint en général au relais à trois positions V_K un relais à deux positions U_K temporisé, pour éviter qu'au passage du relais V_K de la position « avertissement » (contact $+a$) à la position « voie libre » (contact $+b$), il n'y ait apparition fugitive :

1° Des feux d'arrêt sur S_K (contact — donné passagèrement en position médiane du rotor du relais) ;

2° Des feux d'arrêt et d'avertissement sur tous les signaux amont S_{K-1} , S_{K-2} , ..., etc. (le relais V_K en se désexcitant passagèrement donnant une brève inversion de polarité dans le circuit V_{K-1} , d'où

¹ La « rupture » d'un seul joint isolant peut suffire, quand il y a des connexions inductives. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

renversement passager de ce relais, qui agirait à son tour sur le relais V_{K-2} et ainsi de suite).

U_K est excité en même temps que V_K (par un circuit passant par des contacts $+a$ et $+b$ montés en parallèle (voir fig. 87), mais il n'a pas le temps de se désexciter quand V_K va de l'une à l'autre de ses positions d'excitation $+a$ et $+b$. Il suffit alors de reporter de V_K sur U_K les contacts $-$ qui donnent les feux d'arrêt de S_K et les contacts $+$ et $-$ qui donnent l'inversion de polarité dans le circuit V_{K-1} , pour éviter toutes indications fugitives.

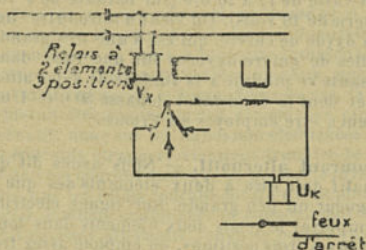


Fig. 87.

Le courant alternatif (qu'il y a intérêt à prendre monophasé quand on le peut pour simplifier les lignes et n'avoir pas à se préoccuper de l'équilibrage des différentes phases) est distribué le long de la voie à haut voltage (plusieurs milliers de volts), mais ramené d'ordinaire à 110 volts aux points d'utilisation. Pour l'alimentation des circuits de voie, ce courant est repris dans des transformateurs de voie, dont le secondaire est muni d'une série de bornes permettant d'obtenir un voltage quelconque entre 2 et 10 ou 15 volts. 2 à 4 volts suffisent pour les circuits allant jusqu'à 1.500 mètres ; pour les circuits plus longs, on va à 6, 8, ... volts.

Ici, on ne peut plus, comme avec le système « courant alternatif-accumulateurs » décrit dans le paragraphe précédent, tolérer une interruption dans l'alimentation générale. Il faut donc des lignes et des sous-stations de secours, sous-stations qui, en général, sont mises en marche automatiquement quand la tension du courant normal baisse de plus de 15 à 20 0/0 (voir ce que nous avons dit de l'alimentation de secours dans les postes d'enclenchements).

Dans les longs circuits de voie courant alternatif, l'alimentation, au lieu d'être faite « en bout » comme nous l'avons toujours admis

jusqu'ici (à l'extrémité aval, le relais étant placé à l'extrémité amont), peut être faite au milieu du circuit, avec relais à chaque extrémité (*fig. 88*). On a ainsi un relais de plus et des fils de ligne supplémentaires (les deux relais intervenant simultanément dans la commande d'un signal), mais le shuntage par un train est mieux assuré et, d'autre part, le voltage au départ est moindre, ce qui réduit les pertes dans le ballast.

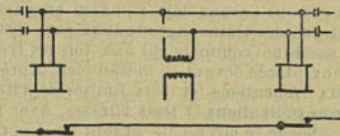


FIG. 88.

Nous avons parlé page 430 de 1930 des connexions inductives à employer sur lignes électrifiées. Ces connexions inductives, qui n'opposent au courant continu qu'une résistance ohmique négligeable (de l'ordre de 1/1000 d'ohm), sont loin d'arrêter complètement le courant alternatif. C'est ainsi que dans une connexion ordinaire à noyau de fer, dont l'impédance est de l'ordre de quelques 1/40 d'ohm aux fréquences usuelles, il passe beaucoup plus de courant que dans le relais. Pour avoir une impédance plus élevée, on emploie parfois des connexions à résonance dans lesquelles on fait réagir sur l'enroulement à grosse section un enroulement à fil fin monté en série avec un condensateur qu'on règle de façon à obtenir un circuit résonant. Ce dispositif qui, avec une fréquence basse (25) peut faire réaliser une notable économie de courant, ne procure plus avec les fréquences usuelles de 50 à 60 qu'un gain bien moindre, et on lui reproche d'être exposé à d'assez fréquents dérèglages.

On emploie aussi des connexions inductives à transformateur, qui constituent alors les seules liaisons entre les fils de rails opposées et dans lesquelles passe non plus un courant de perte, mais le courant normal du circuit de voie. L'enroulement à grosse section de la connexion est pris : 1° à l'aval, comme secondaire d'un transformateur d'alimentation 110 v/2 - 10 volts ; 2° à l'amont, comme primaire d'un transformateur-élévateur de tension (rapport 1 à 10 environ) dont le secondaire débite dans le relais. Ce dernier est, de cette façon, isolé complètement des rails et du courant de traction. On peut, avec ce montage, arriver à réduire assez notablement la consommation d'énergie dans un circuit.

Circuits de voie agissant directement sur les trains. ¹ — **Block sans signaux de voie.** — Nous n'avons considéré jusqu'ici le circuit de voie que comme un instrument permettant à un train d'exercer une action continue sur des appareils fixes, signaux ou autres. Inversement, on peut lui faire exercer une action continue sur un train en utilisant les effets d'induction produits par les courants de voie (qui sont alors obligatoirement des courants alternatifs) sur des appareils récepteurs portés par la locomotive. Cette nouvelle application des circuits de voie a été introduite récemment aux États-Unis et nous l'avons déjà signalée en parlant de la commande automatique des trains (agenda 1930, page 323). Les courants induits sur la machine commandent à la fois les freins et de petits signaux lumineux placés devant le mécanicien. Après avoir fait des montages à deux indications (et deux limites de vitesse), on en fait maintenant à trois indications et trois vitesses. Avec les derniers, un train, quand il aborde le circuit C_K et tant qu'il occupe ce circuit, reçoit une des trois indications :

H (*high speed* = grande vitesse)

M (*medium speed* = moyenne vitesse)

L (*low speed* = faible vitesse)

suivant que :

H/C_K , C_{K+1} et C_{K+2} sont libres

M/C_K et C_{K+1} sont libres, C_{K+2} occupé

L/C_K ou C_{K+1} est occupé.

Aux indications H, M, L correspondent des actions sur les freins qui maintiennent ou ramènent la vitesse au-dessous de certaines limites V_H , V_M , V_L (voisines de 100, 60 et 30 kilomètres à l'heure pour les trains de voyageurs).

Pour obtenir dans le circuit C_K trois états électriques différents correspondant aux trois situations possibles des deux cantons situés à l'aval (C_{K+1} et C_{K+2} libres. — C_{K+2} occupé. — C_{K+1} occupé), on fait passer dans les rails, non plus un, mais deux courants. L'un I_K est le courant ordinaire du circuit de voie, qui continue à actionner un relais de voie V_K , l'autre J_K est le courant d'un circuit mixte, dans lequel les deux rails sont montés en parallèle. J_K a ainsi le même sens dans les deux files de rails alors que I_K a des sens opposés. Les organes de réception sont des bobines placées à 0^m,12 ou 0^m,15 au-dessus des rails et conjuguées 2 à 2, une bobine montée au-dessus d'un rail étant en série avec une bobine montée au-dessus de l'autre rail. Un premier jeu de bobines b_i est placé à l'avant de la machine.

¹ B. A. I., Décembre 1929; — Commande automatique des trains en Allemagne.

et se trouve donc toujours entre la source du circuit de voie et le shunt formé par les essieux; les bobines b_i sont connectées de façon que les forces électro-motrices induites s'ajoutent quand les courants inducteurs dans les deux rails sont de sens opposés et par conséquent ne reçoivent d'énergie que du courant I_K . Dans un second jeu de bobines b_j placé à l'arrière du tender, les connexions sont établies de façon que les forces électromotrices s'ajoutent quand les courants dans les deux rails sont de même sens et par conséquent les bobines ne prennent d'énergie qu'au courant J_K (I_K d'ailleurs n'arrive plus en ce point qu'en quantité infime, ayant passé presque tout entier dans les essieux avant). Le courant J_K , qui passe par des contacts des relais V_{K+1} et V_{K+2} ;

1° Est coupé pendant l'occupation du circuit C_{K+1} ;

2° Est Inversé (déphasage de 180°) pendant l'occupation du circuit C_{K+2} . L'indication H est donnée quand il y a simultanément induction par I_K et par J_K normal — l'indication M est donnée quand il y a simultanément induction par I_K et par J_K inversé — enfin l'indication L est donnée quand manque soit l'induction par J_K (circuit C_{K+1} occupé), soit l'induction par I_K (circuit C_K occupé en avant du train qui vient de s'y engager).

On vient d'introduire un système encore plus complet, donnant quatre indications sur la machine, au moyen d'un seul circuit de voie recevant du courant alternatif $100 \sim$ dans lequel on produit des interruptions suivant trois rythmes différents (180, 120 et 80 interruptions par minute).

On peut, avec tous ces systèmes, se passer de signaux fixes. Il existe déjà aux États-Unis plusieurs centaines de kilomètres de lignes bloquées où il n'y a plus d'autres signaux que ceux manœuvrés par les postes d'enclenchements. Et des applications encore plus étendues sont en voie de réalisation ou à l'étude.

II

Protection des trains sur voie unique.

Le problème est ici plus complexe que sur les lignes à double voie, car pour assurer la sécurité d'un train, à la protection vers l'arrière, contre un train de même sens, doit s'ajouter la protection vers l'avant, contre un train de sens opposé.

On s'est contenté à l'origine, et on se contente encore sur la majorité des lignes à faible et moyenne circulation, d'assurer l'espace-ment par le temps des trains le même sens et de bloquer les points de

croisement des trains de sens opposés. Avant l'emploi du télégraphe et du téléphone, ceci obligeait à n'avoir que des trains à marche connue à l'avance et suivant rigoureusement leur horaire, tout retard d'un train se reportant sur les trains croiseurs et venant troubler ou même paralyser le service. Avec le télégraphe et le téléphone, on est arrivé à une exploitation beaucoup plus souple. Soit qu'il y ait entente directe entre les postes de croisement successifs, soit que ces postes reçoivent des ordres téléphoniques d'un poste central tenu au courant de tous les mouvements de trains sur la ligne (*despatching system*), les changements des points de croisement (ou de dépassement) deviennent possibles; un départ d'un poste de croisement P_K vers le poste suivant P_{K+1} peut être autorisé à un moment quelconque, pourvu qu'on ait vérifié que le dernier train parti de P_{K+1} vers P_K a dégagé le canton $P_K P_{K+1}$ et qu'on ait donné à P_{K+1} l'ordre de n'en plus laisser passer d'autre. Mais aucune forme de block télégraphique ou téléphonique ne fournit une sécurité absolue; des erreurs peuvent se produire et des autorisations de départ être données à tort. Pour écarter tous risques, on peut employer des signaux enclenchés ou commandés par circuits de voie -- et nous retrouverons plus loin du block enclenché et du block automatique-- mais on dispose aussi de systèmes plus économiques n'exigeant que peu ou pas de signaux, dont nous allons dire quelques mots.

Exploitation en navette. — Sur certaines lignes peu importantes et de faible longueur, il arrive qu'on puisse assurer le service par le va-et-vient d'un train unique. Tout système de protection devient alors inutile.

Pilotage. — La ligne est divisée en sections, à chacune desquelles est affecté un pilote qui doit accompagner chaque train dans son parcours sur la section. Comme il n'y a pas toujours alternance régulière de trains de l'un et l'autre sens, le pilote est autorisé à faire partir n trains de suite de l'extrémité où il se trouve, en délivrant des bulletins aux $(n-1)$ premiers et n'accompagnant que le dernier.

Le pilotage par un agent n'est plus guère employé que dans les services provisoires de voie unique qu'on est obligé parfois d'établir sur les lignes à plusieurs voies, en cas d'obstruction partielle. En régime régulier, sur les lignes à voie unique, au lieu d'un agent-pilote, on emploie simplement un bâton-pilote.

Bâton-pilote (*train-staff*). — Le principe est le même. Le train ne peut s'engager dans une section que porteur du bâton-pilote affecté à cette section.

Avec le bâton-pilote, il est possible de faire passer, sur la section, al-

ternance régulière des trains des deux sens. Quand on veut pouvoir faire se suivre plusieurs trains de même sens, il faut adjoindre au bâton-pilote des tickets qu'on enferme dans des boîtes placées aux deux extrémités de la section, boîtes qui ne peuvent être ouvertes qu'au moyen du bâton-pilote et qui doivent être refermées pour qu'on puisse retirer ce dernier. Un train peut partir avec un ticket seulement, pourvu que le bâton-pilote lui ait été présenté. De n trains successifs de même sens, les $(n-1)$ premiers partent alors avec un ticket, le dernier emportant le bâton-pilote.

Bien entendu, aux sections successives doivent correspondre des bâtons-pilotes de formes différentes, de façon que le bâton d'une section ne puisse ouvrir les boîtes à tickets des sections voisines.

Ce système (*staff and tickets*) n'est plus aussi sûr que celui du bâton-pilote simple, car un train qui se contenterait de recevoir un ticket (pouvant être sorti de sa boîte depuis longtemps) et oublierait de se faire présenter le bâton-pilote, pourrait partir alors que ce bâton serait à l'autre extrémité de la section. D'autre part, il reste toujours impossible d'expédier un train hors tour, quand le bâton-pilote a été emporté pour permettre le passage d'un train de sens contraire. Aussi, le système du *staff and tickets*, après avoir été très employé en Angleterre il y a une cinquantaine d'années, a-t-il fait place à peu près partout au système suivant.

Tablette ou bâton-pilote électrique (*electrical tablet or train-staff*). — Il y a ici liaisons électriques entre les deux postes P_K et P_{K+1} d'extrémité de la section. Les appareils à manœuvrer sont assez analogues à ceux du block enclenché anglais, mais, au lieu d'agir sur des signaux, ils agissent sur des appareils distributeurs contenant des tablettes ou des bâtons-pilotes¹. La libération d'une tablette dans un poste s'obtient par une série d'opérations dans lesquelles interviennent les deux postes. Aucun train ne peut s'engager sur la section sans être porteur d'une tablette.

Dans le système « absolu » (qui est à peu près le seul employé en Angleterre, où les sections sont courtes), les conjugaisons sont telles que le retrait d'une tablette de l'un ou l'autre des appareils distributeurs D_K et D_{K+1} correspondant à la section $P_K P_{K+1}$, a pour effet de bloquer ces deux distributeurs. Une tablette sortie de D_K , par exemple, doit être replacée en D_{K+1} (ce pourrait être en D_K), avant

¹ La tablette (en métal, parfois en fibre, portant l'indication de la section et un numéro) est moins encombrante que le bâton-pilote et permet d'avoir des appareils de dimensions réduites. Le bâton-pilote électrique n'a d'ailleurs été introduit qu'après la tablette et simplement pour conserver une forme à laquelle les agents étaient habitués.

qu'on puisse en reprendre une autre, soit en D_K , soit en D_{K+1} . Des n tablettes que contiennent les deux appareils (n est assez fréquemment égal à 24, mais peut dépasser ce nombre 1), il n'y en a jamais qu'une dehors et, par conséquent, il ne peut jamais y avoir qu'un train dans la section.

Dans le système « *permissif* » (employé dans les colonies anglaises, aux États-Unis et dans divers autres pays où les sections entre points de croisement ont parfois de grandes longueurs), il peut être pris successivement plusieurs tablettes dans un même appareil D_K , mais tant que toutes ces tablettes n'ont pas été apportées à l'appareil conjugué D_{K+1} 2, ce dernier reste bloqué. Il est donc possible d'avoir dans la section plusieurs trains se suivant mais non des trains de sens contraires.

Aux États-Unis, où on emploie le bâton-pilote, le système permissif est réalisé par adjonction aux appareils D_K et D_{K+1} du système absolu (appareils contenant un bâton A dont il ne peut être pris qu'un seul) d'appareils auxiliaires D'_K et D'_{K+1} dont chacun peut recevoir deux bâtons, un bâton absolu A et un bâton permissif P. Il n'y a en service qu'un seul bâton P et celui-ci, formé de deux pièces distinctes (11 anneaux détachables montés sur une tige portant un anneau fixe) permet d'expédier douze trains différents. Pour pouvoir retirer ce bâton P, il faut, dans l'appareil D'_K ou D'_{K+1} où il est emprisonné, apporter un bâton A, qui à son tour reste emprisonné jusqu'à ce que P (au complet, avec ses douze anneaux) ait été replacé dans D'_{K+1} ou D'_K . Le service peut se faire avec les seuls bâtons A tant que les trains n'ont pas à se suivre à faibles distances, mais quand il devient nécessaire d'expédier une série de trains de même sens, sans attendre le dégagement de la section devant chaque train, le poste expéditeur, P_K par exemple, après avoir retiré un bâton A de D_K , le porte dans D'_K pour le changer contre le bâton P. Il donne ensuite aux trains successifs un anneau détaché de P, le dernier train de la série (limitée à 12) prenant le bâton avec tout ce qui reste d'anneaux. Un train porteur d'un anneau sait qu'il peut y avoir d'autres trains dans la section, devant et derrière lui (derrière lui seulement s'il a le premier anneau détaché du bâton — devant lui seulement s'il a le dernier anneau et le bâton). Après que tous les trains ont remis leurs anneaux au poste P_{K+1} , ce dernier peut reconstituer le bâton P, avec ses douze anneaux, l'introduire dans

1 La répartition des n tablettes entre les deux appareils varie, évidemment, constamment. Quand les mouvements des deux sens ne s'équilibrent pas, il faut périodiquement rapporter des tablettes d'un appareil dans l'autre.

2 Ici encore, une ou des tablettes peuvent, en cas de non-utilisation, être restituées à l'appareil d'émission D_K , mais pour leur rentrée comme pour leur sortie, le poste P_{K+1} doit intervenir.

l'appareil D'_{K+1} et libérer ainsi dans D'_K le bâton A qui peut être reporté dans D_K . Le bâton P reste au poste P_{K+1} ou est renvoyé au poste P_K (il peut être remis à un train au lieu et place d'un bâton A), suivant que son utilisation est prévue d'un côté ou de l'autre.

Les systèmes à tablettes ou bâtons électriques se prêtent à une foule de combinaisons permettant d'assurer sans signaux la protection de tous les mouvements pouvant s'effectuer à l'intérieur d'une section. On peut réaliser des enclenchements entre aiguilles et tablettes (ou bâtons), installer des appareils distributeurs intermédiaires conjugués avec ceux des postes extrêmes et donnant la possibilité de « rendre la voie » après garage, de « prendre la voie » pour une sortie de garage ou pour l'occupation temporaire d'une certaine zone, etc.

Ces systèmes sont très sûrs et beaucoup moins coûteux que les blocks par signaux enclenchés ou par signaux automatiques dont il reste à parler. Ils imposent des manœuvres un peu plus laborieuses, mais très acceptables néanmoins, même sur les lignes à forte circulation. Il faut remarquer que l'échange des tablettes (ou bâtons) à chaque poste de croisement peut se faire sans arrêt du train, à des vitesses atteignant 70 à 80 kilomètres à l'heure, au moyen d'appareils placés le long de la voie et analogues à ceux utilisés pour l'échange des sacs postaux.

Block enclenché de voie unique. — Nous avons décrit le block enclenché assurant l'espacement des trains sur une voie à sens unique de circulation. Sur les lignes à double voie, on a pour les deux sens de circulation deux systèmes de signaux de block (S) et (S') parlant à deux voies distinctes et entièrement indépendants l'un de l'autre. Sur les lignes à voie unique, on peut avoir les mêmes systèmes, mais, aux liaisons intérieures de chaque système, il faut ajouter des liaisons entre les deux systèmes de façon que des trains de sens opposés ne puissent être engagés simultanément dans la section comprise entre deux postes de croisement successifs. Soit P_p et P_q deux tels postes (encadrant des postes P_{p+1}, \dots, P_{q-1} qui ne jouent que comme postes d'espacement — voir fig. 89). Si le système (S) correspond au sens $P_p P_q$, on doit avoir :

1° (S_p ouvert — S'_q ouvert) ;

2° De plus, le blocage à la fermeture de S'_q , produit par l'ouverture de S_p , doit, quand S_p a été refermé derrière un train, se maintenir jusqu'à arrivée de ce train en P_q .

Ces liaisons peuvent être introduites dans le block d'espacement ou en rester distinctes. Dans le dernier cas, l'enclenchement à distance peut être obtenu facilement au moyen de deux verrous électriques et d'un seul fil de ligne supplémentaire. Et pour réali-

ser (2), il suffit de faire couper ce fil de ligne par les appareils de block des postes successifs de P_p à P_q . Par exemple, avec le block Lartigue, on peut insérer dans le circuit de déverrouillage des contacts donnés par les ailerons effacés, ce qui assure la coupure tant qu'il y a dans la section un aileron développé, pour l'un ou l'autre sens de circulation. Suivant les types de block, on peut faire intervenir d'autres organes d'enclenchement ou d'annonce des pédales, ..., etc. Avec ce système, les postes d'espacement fonctionnent absolument comme sur double voie; leurs signaux peuvent rester normalement ouverts (et aussi permissifs). Par contre, les signaux des postes de croisement doivent, bien entendu, être normalement fermés et infranchissables. Dans le block Lartigue, il faut

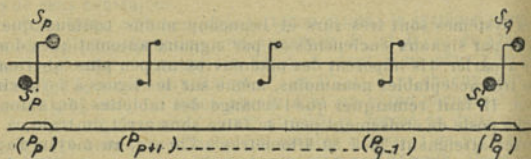


FIG. 89.

munir ces derniers signaux d'une double commande, par la manivelle n° 1 et par un levier. C'est le levier qui est soumis à l'enclenchement (1 + 2). Quand le levier de S_p , par exemple, a été ouvert (bloquant à la fermeture le levier de S'_q), S_p ne dépend plus que de la manivelle n° 1 et s'efface à chaque reddition de voie par P_{p+1} ; il est donc possible d'engager sur la section P_p, P_q une série de trains de même sens. En général, le verrou électrique bloque le levier dans les deux positions et, par conséquent, le levier ouvert ne peut plus être refermé tant que la section n'est pas entièrement dégagée.

Au lieu de superposer les liaisons (1) (2) au block d'espacement, on peut les incorporer dans le block en modifiant ce dernier. Un exemple intéressant est fourni par le block de voie unique du Réseau du Nord français. Les appareils Lartigue du block de double voie sont conservés, mais avec des conjugaisons différentes. Les grandes ailes restent normalement à la fermeture dans tous les postes. Quand un poste P_{k+1} (voir fig. 90) efface son aileron a_{k+1} pour donner voie libre au poste P_k , il n'efface pas la grande aile S_k , mais actionne simplement un voyant qui indique à P_k que le canton est dégagé. L'ouverture de S_k ne se produit qu'au développement de a_{k+1} , lors de l'annonce d'un train faite par P_k ou l'un des postes amont. Le

courant d'annonce qui provoque le déclenchement de $a_{\kappa+1}$, déclenchement qui provoque à son tour, directement ou indirectement, celui de S_{κ} , n'est plus naturellement envoyé par la manivelle n° 1, mais par un commutateur spécial adjoint à cette manivelle et qu'on manœuvre avant l'arrivée du train, la manivelle continuant à être manœuvrée derrière le train pour couvrir ce dernier. D'autre part,

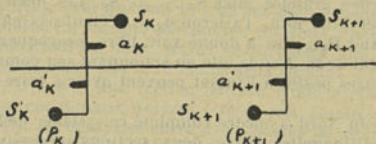


FIG. 90.

on a entre la grande aile et l'aileron de la direction opposée, au poste, l'enclenchement mécanique $\frac{a'_k \text{ développé}}{S_{\kappa} \text{ fermée}}$, puis des coupures électriques s'opposent au développement de a'_k si S_{κ} est ouvert et au développement de l'un des deux ailerons a_{κ} et a'_k si l'autre est déjà développé. On a donc des garanties multiples en ce qui concerne les mouvements de sens opposés, une grande aile S_{κ} , ne pouvant s'ouvrir que si elle n'est pas enclenchée *directement* par l'aileron a'_k annonçant un train de sens contraire et si l'aileron de même sens $a_{\kappa+1}$ du poste suivant se développe effectivement et n'est pas enclenché lui-même par l'ouverture de $S'_{\kappa+1}$ ou le développement de $a'_{\kappa+1}$. En ce qui concerne les mouvements de même sens, la protection obtenue est la même que dans le block de double voie, puisque le déclenchement de S_{κ} doit être précédé de celui de $a_{\kappa+1}$, lequel ne peut avoir lieu que si $a_{\kappa+1}$ a été effacé au préalable par le poste $P_{\kappa+1}$. On a, d'ailleurs, toujours l'enclenchement de continuité qui oblige à fermer $S_{\kappa+1}$ avant d'effacer $a_{\kappa+1}$.

Le block fonctionne alors comme suit entre deux postes de croisement successifs P_p et P_q :

1° Quand il n'y a aucun train dans la section et que P_p prend la voie en manœuvrant son commutateur spécial, il y a déclenchement de tous les ailerons a_{p+1}, \dots, a_q (avec mise au blanc d'un voyant annexé à chaque manivelle n° 2) et, par un courant de retour, déclenchement de toutes les grandes ailes S_{q-1}, \dots, S_p de la direction P_p, P_q (avec mise au rouge d'un voyant annexé à chaque manivelle n° 1). A partir de ce moment, toutes les grandes ailes S' de la direction opposée sont enclenchées à la fermeture. Un poste P_{κ} , après

passage du train, ferme sa grande aile S_K (ce qui fait passer au rouge le voyant n° 2 du poste suivant), puis efface son aileron a_K (ce qui ramène au blanc le voyant n° 1 du poste précédent).

2° Quand P_p manœuvre son commutateur pour livrer passage à un second train, alors que le premier n'a pas encore dégagé la section et se trouve dans le canton $P_K P_{K+1}$, les effets ci-dessus ne se produisent que jusqu'au poste P_K (développement des ailerons a_{p+1}, \dots, a_K . Effacement des grandes ailes S_{K-1}, \dots, S_p . Les déclenchements ne peuvent aller plus loin, l'aileron a_{K+1} n'étant pas effacé). Le poste P_K doit, quand P_{K+1} lui a donné voie libre, provoquer lui-même le déclenchement de sa grande aile en actionnant son commutateur spécial. Et d'autres postes à l'amont peuvent avoir à faire la même manœuvre.

Le réseau du Nord a encore complété ce système de block par des liaisons conditionnelles entre deux sections successives telles que P_p, P_q et P_q, P_r (fig. 91). Au poste de croisement P_q qui sépare les

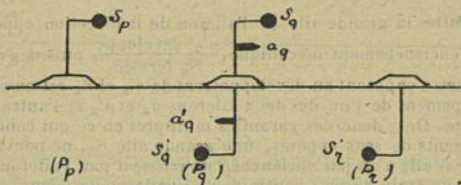


FIG. 91.

deux sections, les deux ailerons a_q et a'_q sont enclenchés dans la position d'effacement au moyen de deux serrures Bouré dont les clés sont conjuguées avec les clés des aiguilles de dédoublement.

Quand ces aiguilles sont disposées pour un croisement, les clés a_q et a'_q peuvent être retirées simultanément de la serrure centrale et les ailerons libérés tous deux. Mais quand les aiguilles donnent la continuité de la voie pour un passage sans arrêt, on ne peut libérer qu'un des ailerons a_q par exemple, et l'autre a'_q reste immobilisé.

Il en résulte qu'un seul (P_p) des postes de croisement situés de part et d'autre peut prendre la voie et expédier un train vers P_q .

Il n'y a guère en France que le réseau ou Nord qui ait généralisé l'emploi du block enclenché de voie unique. Les autres réseaux ont essayé des systèmes divers mais n'en ont fait que des applications peu nombreuses.

Block automatique de voie unique. — Les circuits de voie peuvent évidemment donner la double protection nécessaire sur la voie unique; il suffit qu'ils commandent simultanément des signaux des deux sens.

Les montages les plus simples sont ceux qui superposent, en quelque sorte, deux blocks d'espacement opposés, les signaux des deux systèmes (S) et (S') étant toujours commandés par les mêmes cantons (C) et (C'), quel que soit le sens des mouvements venant engager les circuits. En faisant chevaucher les deux systèmes, on peut assurer la protection de deux trains se dirigeant l'un vers l'autre, par mise à l'arrêt entre eux d'au moins deux signaux de sens opposés S_x et S'_x , séparés par une section-tampon d'une certaine longueur (Bien entendu, ces signaux doivent être d'arrêt absolu.) Mais quand une section P_p, P_q comprise entre deux postes de croisement successifs est divisée en cantons d'espacement par des signaux intermédiaires, ce genre de block ne s'oppose pas à l'engagement de la section par les deux extrémités, d'où possibilité d'envoyer par erreur deux trains à la rencontre l'un de l'autre, nécessité dans ce cas de faire refouler l'un des trains, perte de temps,.... etc...

On préfère donc maintenant employer le système appelé aux États-Unis le « *Block absolu permissif* » (A. P. B., absolu pour les mouvements de sens contraires, permissif pour les mouvements se suivant dans le même sens). Dans ce système, les signaux jouent comme dans le block enclenché décrit précédemment. Les signaux S_p et S'_q d'entrée dans la section sont d'arrêt absolu; les signaux intermédiaires ont uniquement à assurer l'espacement des trains de même sens et sont en général permissifs. A l'entrée en P_q , par exemple, d'un train T', tous les signaux de sens opposé (S) se mettent à la fermeture et S_p reste bloqué jusqu'à arrivée de T' en P_p . On obtient ce résultat en montant en cascade tous les relais R commandant les signaux S (et, de même en sens inverse, tous les relais R' commandant les signaux S'); le relais R_K de S_K est actionné (voir fig. 92) par un circuit de ligne passant par :

1° Un contact + du relais V_K du circuit de voie régnant entre S_K et le signal suivant S_{K+1} ;

12° Un contact + du relais R_{K+1} de S_{K+1} .

Avec ce montage, un train tiendrait fermés non seulement tous les signaux de sens opposé situés devant lui, mais aussi tous les signaux correspondant à son sens de circulation situés derrière lui. Pour permettre la réouverture de ces derniers devant un second train de même sens, on fait jouer des relais spéciaux dits « de direction » D, à auto-excitation ², qui se substituent temporairement aux relais R

1 2° Disparaît pour le dernier signal S_{q-1} .

2 Voir page 347 d'IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

pour donner le contact 2°, mais qui ne s'excitent qu'au passage des trains d'un seul sens. Ainsi, le relais D_{K+1} s'excitera par : (contact sur signal S_{K+1} au passage + contact - de V_{K+1}) et il est facile de voir que ces deux contacts ne sont donnés simultanément, pendant un temps très court, que quand le signal S_{K+1} est abordé par un train T de sens P_p, P_q . D_{K+1} ne reste d'ailleurs auto-excité que pendant l'occupation du canton V_{K+1} , mais sa désexcitation suit la réexcitation de R_{K+1} (provoquée par le jeu du relais de direction

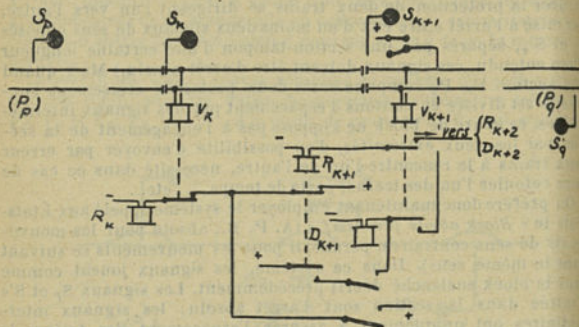


FIG. 92.

suivant D_{K+2}) et l'excitation de R_k , d'abord donnée par D_{K+1} , est donc maintenue.

Finalement, un train T tient fermés devant lui tous les signaux S' de sens opposé, et derrière lui un seul signal S de couverture placé à l'entrée du canton occupé.

Nous venons de décrire un montage usuel, avec signaux normalement ouverts. Il y a des variantes, avec signaux normalement fermés, ..., etc., mais on retrouve partout les mêmes dispositions essentielles.

Le block automatique de voie unique a pris une extension considérable aux États-Unis, mais n'est pas encore utilisé en Europe. Un premier essai a cependant été fait en France (Réseau P.-O.) sur un tronçon de quelques kilomètres.

CHAPITRE XVII

TARIFICATION

§ 1. — Objet et bases de l'exploitation commerciale.

Objet. — L'exploitation commerciale d'une ligne de chemins de fer comprend l'ensemble des opérations qui ont pour but de développer le plus possible sur cette ligne les transports de voyageurs et de marchandises en faisant produire à ces transports un bénéfice suffisant.

Parmi les opérations de l'exploitation commerciale, l'une des plus délicates est la fixation des tarifs ou prix de transports.

Systèmes d'exploitation. — L'exploitation commerciale d'un chemin de fer peut être organisée d'après l'un ou l'autre des trois systèmes suivants :

1° Les prix des transports résultent de l'offre et de la demande et sont abandonnés à la concurrence ;

2° Ces prix sont limités d'après une réglementation en rapport avec les charges imposées aux concessionnaires ;

3° L'Etat exploite le chemin de fer comme tout autre service public : postes, télégraphes, etc.

Le premier système, qui a été pratiqué en Angleterre et en Amérique, a été désastreux pour les Compagnies et pour le public ; on y a renoncé.

Le troisième système est celui de l'Allemagne et de la Hongrie et d'une grande partie des lignes belges, hollandaises, suisses, danoises, russes, suédoises, autrichiennes et italiennes.

Le deuxième est encore le régime normal de la France. La plupart de ses chemins de fer sont exploités par des Compagnies sur lesquelles l'Etat exerce une action d'autant plus directe qu'il leur garantit un minimum de dividende, et qu'il est intéressé, par suite, à leur bonne gestion. Toutefois, l'Etat exploite lui-même un réseau spécial agrandi du réseau de la Compagnie de l'Ouest, racheté suivant les lois du 13 juillet et 18 décembre 1908.

Bases d'établissement des tarifs. — C'est ainsi qu'en France, pour indemniser les Compagnies de chemins de fer des dépenses qui leur sont imposées par le cahier des charges, l'Etat les autorise à percevoir certaines taxes du public qui a recours à leurs services.

Les taxes fixées par les cahiers des charges se composent de deux parties :

Un droit de péage, destiné à rémunérer le capital consacré à la construction des lignes, et qui représente environ les deux tiers de la taxe :

Un prix de transport, qu'on suppose représenter le remboursement des frais réels que supportent les Compagnies, soit pour l'entretien de la ligne, soit pour couvrir ce transport, et qui n'est que le tiers environ de la taxe.

Cette distinction, qui est toute théorique et n'existe pas en pratique, a été faite dès le début des chemins de fer, en vue des cas où le service des transports aurait été confié à plusieurs Compagnies empruntant une même voie ; la Compagnie ayant établi cette voie n'aurait eu droit qu'au péage pour les transports qu'elle n'aurait pas effectués elle-même. En réalité, les exigences de la sécurité n'ont pas permis d'organiser le service dans ces conditions, si ce n'est sur des faibles parcours ou sur des embranchements pour lesquels il existe une entente spéciale entre les Compagnies.

Prix de revient comparatifs des divers moyens de transports¹.

— Aux colonies, le *portage* revient à 2 ou 3 francs par tonne et par kilomètre.

Le *roulage* sur nos routes de France revient de 0 fr. 25 à 0 fr. 30 par tonne et par kilomètre.

Au dernier temps des diligences, le prix de revient par voyageur variait de 0 fr. 08 à 0 fr. 18. A Paris, le prix moyen payé est de 0 fr. 18 pour un parcours moyen évalué à 3 ou 4 kilomètres.

Sur les *canaux* du Nord, le prix du transport est d'environ 1 fr. 25 à 1 fr. 50 pour Paris (environ 300 à 350 kilomètres des houillères) ; il monte à 2 centimes pour les petits parcours et descend à 1 centime au-dessus de 500 kilomètres. Le fret de retour se paie souvent moins, 0,6 à 0,8 centime.

Sur les canaux du centre, où les écluses sont plus nombreuses et le trafic moindre, les prix sont plus élevés : 2 centimes à 2 c. 5.

En Allemagne, sur des canaux en pays plats, comportant des biefs de 50 kilomètres et accessibles aux bateaux de 600 tonnes, les prix descendent au-dessous de 1 centime ; il en est de même sur la Seine, avec des chalands de 800 à 1.200 tonnes : 0 fr. 07 à 0 fr. 08 pour la houille ; 1 centime à 1 c. 2 pour les blés.

Sur le Volga on trouve des prix de 0,4 à 0,8 centime ; sur le Mississipi et les grands lacs d'Amérique, des prix de 0,2 centime. Au contraire,

¹ Tous ces prix sont des prix d'avant-guerre pour permettre de les comparer aux prix de base des tarifs.

sur le Rhône, les prix varient de 2 à 5 centimes. Le prix des services accélérés varie, sur la Seine, de 4 à 7 centimes.

Les prix des *transports maritimes* sont le plus souvent fixés à forfait pour toute une région et ne sont pas proportionnels à la distance ; ils n'atteignent que quelques *millimes* ou *fractions de millimes*.

Sur les *chemins de fer*, si on admet que la dépense est la même pour les trains de voyageurs et pour les trains de marchandises, on trouve un prix de revient de 3,65 centimes par voyageur et de 1,82 centime par tonne ; sur les lignes de montagne, ce dernier prix atteint 2 à 3 centimes.

Le prix de transport d'un voyageur peut revenir à 1/2 ou même à 1/4 de centime pour les trains complets à l'aller et au retour, avec 24 voitures à 800 ou 900 places. Pour les grands express de 200 à 300 places, le prix serait de 1 à 2 centimes, tous frais compris, si toutes les places étaient occupées à l'aller et au retour.

Les voitures *automotrices* des lignes à voie normale offrant 65 places paraissent coûter 0 fr. 65 à 0 fr. 80 par kilomètre, tout compris.

Les *tramways* urbains coûtent, à Paris, 0 fr. 75 à 0 fr. 85 par voiture de 50 à 60 places, avec la traction animale ; 0 fr. 80 à 0 fr. 90 avec la traction par machine à feu ou accumulateurs ; 0 fr. 65 à 0 fr. 70 avec trolley ou caniveaux électriques. En province, ils descendent à 0 fr. 30 ou 0 fr. 40 par voiture-kilomètre.

En résumé, et dans l'ensemble, les prix de revient partiels de la navigation intérieure, de la navigation maritime sur les petits parcours et des chemins de fer sont du même ordre de grandeur et dix à vingt fois plus faibles que ceux du roulage.

§ 2. — Classification des tarifs.

Tarif légal. — Le maximum des taxes autorisées constitue le *tarif légal*, *tarif maximum* ou *tarif du cahier des charges*.

Les Compagnies de chemins de fer, usant du droit que leur confère le cahier des charges, d'après lequel elles peuvent « abaisser leurs taxes, avec ou sans conditions, au-dessous des limites légales, soit pour le parcours total, soit pour le parcours partiel de la voie ferrée », s'écartent le plus souvent de ce maximum, elles appliquent deux sortes de tarifs : les *tarifs généraux* et les *tarifs spéciaux*.

Tarifs généraux. — Les *tarifs généraux* confèrent à la marchandise qui les paie tous les droits, toutes les garanties, toutes les conditions qui résultent du cahier des charges et du droit commun ; ils sont applicables toutes les fois que l'expéditeur ne demande pas l'application d'un autre tarif.

Tarifs spéciaux. — *Les tarifs spéciaux* comportent des prix plus réduits que ceux des tarifs généraux; les Compagnies les offrent au public en demandant à celui-ci d'accepter en échange certaines conditions de tonnage, de délai, de garantie, qui sont plus avantageuses pour elles. Ils constituent une convention particulière entre la Compagnie et l'expéditeur.

§ 3. — Différentes formes des tarifs.

Au point de vue de leur forme, les tarifs peuvent être distingués en *tarifs à la distance*, *tarifs à prix ferme*, *tarifs de gare à gare*.

Les tarifs à la distance se subdivisent en *tarifs proportionnels* et *tarifs différentiels*.

Tarifs proportionnels. — Ils sont établis en admettant que les dépenses de toute nature afférentes aux transports (déduction faite d'une constante pour frais de gare) sont proportionnelles aux distances parcourues. Or, il a été reconnu que cette hypothèse est inexacte et que son application stricte n'est pas favorable au commerce. En effet, la dépense kilométrique concernant un transport donné décroît à mesure que la distance parcourue augmente : car les frais généraux se répartissent sur une somme plus forte, il y a une meilleure utilisation du matériel, etc. Les tarifs proportionnels sont contraires à ce principe commercial d'après lequel les prix du gros doivent être relativement moindres que les prix du détail. Au point de vue du développement du trafic, comme il importe de multiplier les transports, il est nécessaire de favoriser ceux qui parcourent les plus grandes distances et de faire croître les prix de moins en moins rapidement à mesure que la distance augmente.

Tarifs différentiels. — Les tarifs différentiels les plus simples sont ceux dans lesquels le prix par kilomètre s'abaisse à mesure que la distance parcourue augmente.

Si l'abaissement est continu, il faut calculer la taxe point par point, ou kilomètre par kilomètre, si on prend le kilomètre pour unité, ce qui exige l'emploi de barèmes énormes ou de formules compliquées.

Si l'abaissement est discontinu, un autre inconvénient se présente. On peut concevoir, par exemple, un tarif tel que, de 0 à 200 kilomètres, la taxe du transport soit n centimes par tonne et par kilomètre; que, de 201 à 400 kilomètres, elle soit de $(n - 1)$ centimes; que, de 401 à 600 kilomètres, elle soit de $(n - 2)$ centimes; ainsi de suite. En appliquant ces taxes, on voit que le prix du transport est plus faible pour 201 kilomètres que pour 200, pour 401 kilomètres que pour 400, etc. ce qui n'est pas admissible.

On corrige cette anomalie en établissant des *paliers*, c'est-à-dire des intervalles pour lesquels l'augmentation de prix est interrompue. D'après les données précédentes, on adopterait, par exemple, le prix de transport $(n - 1) \times 201$ kilomètres toutes les fois que ce prix serait inférieur à celui résultant du produit de la taxe n par la distance de 0 à 200 kilomètres.

On adopterait $(n - 2) \times 401$ kilomètres lorsque ce produit serait inférieur à celui de $(n - 1)$ par la distance de 200 à 400 kilomètres; ainsi de suite.

Tarifs à bases variables. — Dans ces tarifs, connus également sous le nom de *tarifs belges*, parce qu'ils ont été appliqués tout d'abord en Belgique, le prix par kilomètre s'abaisse progressivement, mais seulement pour les distances partant du point où commence l'abaissement. C'est ainsi que l'on peut supposer une taxe de n centimes par tonne et par kilomètre de 0 à 100 kilomètres ($n - 1$) pour les distances comprises entre 101 et 200, ($n - 2$) pour les distances comprises entre 201 et 300, de sorte que, si D est la distance considérée, les prix de transport seront :

De 0 à 100.... $(n \times D)$;

De 0 à 200.... $(n \times 100) + (n - 1) \times (D - 100)$;

De 0 à 300.... $(n \times 100) + (n - 1) \times 100 + (n - 2) \times (D - 200)$.

En France, c'est d'après des tarifs à bases décroissantes que sont taxés les transports des marchandises : pour les voyageurs, au contraire, la taxe est proportionnelle au parcours. (Voir pages suivantes.)

Tarif par zones. — Au lieu de prendre le kilomètre pour unité dans l'application des taxes, on peut choisir des groupes de plusieurs kilomètres ou de plusieurs gares formant chacun une zone et on peut établir un prix unique pour toutes les localités comprises dans la même zone.

Ce système simplifie les barèmes, mais on lui reproche de créer des inégalités choquantes entre les points voisins de la limite de deux zones et situés chacun dans l'une de ces zones.

Tarif postal. — On désigne ainsi, par assimilation avec les tarifs uniformes adoptés pour le transport des lettres, les tarifs qui ne tiennent pas compte des distances; tels sont, par exemple, les tarifs appliqués au transport des articles de messagerie désignés sous le nom de *colis postaux*. Dans quelques ouvrages, on désigne sous le nom de *tarif penny-porto* un tarif d'après lequel, pour un même pays ou pour un même réseau, il existe trois taxes, une pour les petites distances, une pour les moyennes, une pour les grandes. C'est un tarif postal comportant trois prix au lieu d'un prix unique.

Tarif à prix ferme. — Il existe des tarifs qui indiquent pour certaines marchandises des prix fixés en bloc de telle gare à telle gare, suivant les circonstances locales; c'est ce qu'on appelle les tarifs à prix ferme, ou prix exceptionnels.

Les prix fermes sont quelquefois appliqués dans les deux sens; ils sont dits *reciproques*; d'autres fois, ils ne jouent que dans un sens, lorsqu'ils ont pour but, par exemple, de favoriser l'exportation de certains produits. Ils tendent à disparaître pour être remplacés par des barèmes spéciaux.

§ 4. — Différentes applications des tarifs.

Tarifs intérieurs. — Les tarifs intérieurs sont ceux dont l'application est limitée à l'étendue d'un seul réseau.

Tarifs communs. — Les tarifs communs sont ceux qui ont été combinés entre deux ou plusieurs Compagnies, françaises ou étrangères (on les dit, dans ce dernier cas, internationaux), pour être appliqués dans toute l'étendue de leurs réseaux.

Tarifs de transit. — Ce sont ceux qui ont pour but d'attirer sur les lignes d'un réseau les marchandises étrangères à destination de l'étranger.

On sait que, en général, les tarifs sont établis en raison de la provenance et de la destination des marchandises. Dans le but de faire passer par la France des expéditions qui pourraient se faire par la Belgique, l'Allemagne, la Suisse ou la voie maritime, les Compagnies ont abaissé leurs taxes de transport pour les marchandises provenant de l'étranger et destinées à la réexpédition; elles ont ainsi donné naissance aux tarifs de transit.

On a attaqué ces tarifs comme constituant, au profit d'expéditeurs étrangers, des avantages dont ne jouissent pas les expéditeurs français. Ce reproche n'est pas fondé, car les tarifs de transit, en attirant sur nos voies de fer des transports qui eussent pris une autre direction, ne nuisent en rien aux commerçants français; ces tarifs, au contraire, procurent indirectement au pays des bénéfices sérieux qui profitent directement aux Compagnies de chemins de fer, aux maisons de banque et de commission, et enfin à notre marine marchande.

Tarifs d'exportation. — A côté des tarifs de transit existent les tarifs d'exportation, dans lesquels les prix de transports sont abaissés

pour les produits que les commerçants français expédient à l'étranger. Le décret du 26 avril 1862 a affranchi les tarifs de *transit* et d'*exportation* des prescriptions relatives à l'annonce et à l'affichage préalables des abaissements ou des relèvements des tarifs ordinaires.

Tarifs de pénétration. — On a donné ce nom aux tarifs internationaux qui favorisent l'introduction de marchandises venant de l'étranger. Ils ont donné lieu à de nombreuses controverses ¹.

§ 5. — Tarifs en usage.

Les renseignements donnés ci-après se rapportent aux prix de base des tarifs.

Pour tenir compte des augmentations du prix de toutes choses résultant de la guerre 1914-1918, l'État a accepté que les compagnies majoraient provisoirement ces prix de base.

Les majorations successivement appliquées donnent, au total, au 16 août 1926, les relèvements temporaires suivants :

240 0/0 pour les voyageurs de toutes classes.

La même majoration s'applique aux billets des militaires et marins, aux cartes d'abonnement de travail, à celles des apprentis, des élèves des écoles, etc.

Les majorations pour les bagages, marchandises de grande et de petite vitesse, varient de 290 0/0 à 320 0/0, les relèvements les moins importants étant réservés aux denrées et aux engrais.

Pour obtenir les taxes nouvelles, il y a donc lieu d'appliquer ces diverses majorations aux prix de base indiqués ci-après ; on augmente ensuite ces prix majorés des impôts correspondants qui s'élèvent maintenant à 32,5 0/0 (double décime compris) pour les voyageurs, et à 11,5 0/0 ou 5,75 0/0 pour les marchandises.

Tarifs des voyageurs. — En France, les cahiers des charges des grandes Compagnies fixent ainsi qu'il suit, à l'article 42, les taxes concernant le transport des voyageurs :

¹ Voir le discours prononcé par M. Allain-Targé, le 16 février 1880, devant la Chambre des députés, et la *Tarifification sur les Chemins de fer et les tarifs de pénétration*, par M. G. Noblemaire (*Revue des Deux-Mondes*, 1^{er} novembre 1880).

VOYAGEURS PAR TÊTE ET PAR KILOMÈTRE	PRIX		
	de péage	de transport	Total
	francs	francs	francs
Voitures couvertes, garnies et fermées à glace (1 ^{re} classe).....	0,067	0,033	0,10
Voitures couvertes, fermées à glace, à banquettes rembourrées (2 ^e classe)....	0,050	0,025	0,075
Voitures couvertes et fermées à vitres (3 ^e classe).....	0,037	0,018	0,055

Enfants. — Au-dessous de 3 ans, les enfants ne paient rien, à la condition d'être portés sur les genoux des personnes qui les accompagnent.

De 3 à 7 ans, ils paient demi-place et ont droit à une place distincte; toutefois, dans un même compartiment, deux enfants ne pourront occuper que la place d'un voyageur.

Au-dessus de 7 ans, ils payent place entière.

Mais, en réalité, ces taxes ne sont pas celles qui sont perçues du public, à cause des impôts dont elles sont majorées et que les Compagnies perçoivent pour le compte de l'État.

Un premier impôt, égal au dixième de la taxe, avec double décime, fut établi en 1855 (loi du 1^{er} juillet); à la suite de la guerre de 1870, un second impôt, s'élevant au dixième du prix précédemment perçu, fut ajouté au premier (loi du 16 septembre 1871), de sorte que, si P représente le prix payé par le voyageur, et T la taxe prévue par le cahier des charges, on a :

$$P = \left(1 + \frac{1}{10} + \frac{2}{100}\right) \left(1 + \frac{1}{10}\right) T.$$

$$P = 1,232T.$$

L'application de cette formule donnait les chiffres suivants :

<i>Transport des voyageurs</i>		PRIX PAR TÊTE ET PAR KILOMÈTRE		
		Revenant à la C ^{ie}	Revenant à l'État	Total
Voyageurs... {	1 ^{re} classe...	0 ^f ,10	0 ^f ,0232	0 ^f ,1232
	2 ^e classe...	0,075	0,0174	0,0924
	3 ^e classe...	0,055	0,01276	0,06776

Mais, par suite du dégrèvement résultant de la loi de finances du 26 janvier 1892, l'impôt de guerre de 1871, et des

concessions consenties par les Compagnies ¹, les tarifs ont subi, depuis le 1^{er} avril 1892, des réductions totales qui les ramènent aux prix suivants :

<i>Transport des voyageurs</i>		PRIX PAR TÊTE ET PAR KILOMÈTRE		
		Revenant à la C ^{ie}	Revenant à l'Etat	Total ²
Voyageurs....	{ 1 ^{re} classe...	0 ^f ,10	0 ^f ,012	0 ^f ,112
	{ 2 ^e — ...	0,0675	0,0081	0,0756
	{ 3 ^e — ...	0,044	0,00528	0,04928

Ce tarif, à base kilométrique, est un *tarif proportionnel*.

Taxe moyenne. — Par suite de la création des billets d'excursion, billets de famille, des aller et retour, trains de plaisir, trains d'ouvriers, des cartes d'abonnement, des réductions accordées aux instituteurs, aux militaires, aux indigents, la taxe moyenne par voyageur, qui était

¹ Ces concessions ont consisté à faire subir les réductions suivantes à la partie de la taxe qui revient aux Compagnies, d'après le cahier des charges :
Pour les voyageurs par billets simples :

En 1 ^{re} classe.....	0
2 ^e —	10 0/0
3 ^e —	20 0/0

Pour les voyageurs par billets d'aller et retour :

En 1 ^{re} classe.....	25 0/0
2 ^e —	28 0/0
3 ^e —	36 0/0

Les billets à demi-place ont été réduits dans la même proportion que les billets simples.

Pour les transports autres que ceux des voyageurs, les Compagnies ont réalisé, en sus de la suppression des impôts, des réductions allant de 20 à 63 0/0.

² Par application des majorations indiquées au commencement du chapitre, ces prix deviennent les suivants par tête et par kilomètre :

		Revenant	Revenant	Total
		à la C ^{ie}	à l'État	
Voyageurs.....	{ 1 ^{re} classe...	0,310	0,0375	0,3475
	{ 2 ^e —	0,2092	0,0253	0,2345
	{ 3 ^e —	0,1364	0,0165	0,1529

en tenant compte des impôts correspondants qui s'élèvent maintenant à 32,50/0, lesquels impôts sont appliqués sur les prix majorés.

de 0,0591 en 1855, s'était abaissée; en 1889, à 0,045. La réforme des tarifs de 1892 l'a abaissée encore à 0,039. Elle a été en 1923 de 0,10 environ (majoration comprise).

Tarifs des marchandises. — Il faut considérer les marchandises transportées en *grande vitesse* et celles transportées en *petite vitesse*.

Tarifs de grande vitesse. — Les marchandises expédiées en grande vitesse sont désignées sous le nom de *messageries*: elles sont transportées par les trains de voyageurs ou par des trains spéciaux de même vitesse; elles doivent être expédiées aussitôt après leur remise et livrées dès leur arrivée.

Les cahiers des charges comportent pour les messageries un tarif uniforme qui est le suivant :

MARCHANDISES TRANSPORTÉES EN GRANDE VITESSE	PRIX PAR TONNE ET PAR KILOMÈTRE		
	Péage	Transport	Total
	franc	franc	franc
Huitres, poissons frais, denrées, excédents de bagages et marchandises de toutes classes transportées à la vitesse des trains de voyageurs.....	0,20	0,16	0,36

Avant l'abaissement des tarifs de 1892, le prix de transport de 100 kilogrammes de marchandises en grande vitesse correspondait à peu près au prix d'une place de 3^e classe. Ces transports étaient frappés du même impôt que les transports de voyageurs, soit 0,232 par franc, comme il a été dit ci-dessus.

La loi du 26 janvier 1892 a supprimé totalement l'impôt pour les transports de marchandises en grande vitesse. Les Compagnies et le réseau de l'Etat ont abaissé parallèlement leurs tarifs, qui étaient différents d'un réseau à l'autre, et ont adopté un tarif unique dont nous reproduisons ci-après les principales données; on remarquera que ce tarif est établi sur le type des *tarifs différentiels*.

Depuis les majorations de tarifs, l'impôt a été rétabli et il s'élève maintenant, suivant la série des marchandises, à 15 0/0 ou 7,5 0/0 (double décime compris), aussi bien pour les transports de grande vitesse que pour ceux de petite vitesse.

§ 1. — ARTICLES DE MESSAGERIE ET MARCHANDISES A GRANDE VITESSE

1° Expéditions d'un poids ne dépassant pas 40 kilogrammes.

Jusqu'à 200 kilomètres	0 ^{fr} ,44	} Par tonne et par kilomètre. Il n'est pas perçu de frais de chargement et de déchargement.
Pour chaque kilomètre en excédent au delà de :	200 jusqu'à 300 kilomètres. 0,40	
	300 — 400 — . 0,39	
	400 — 800 — . 0,375	
	800 — 1.000 — . 0,35	
	1.000..... 0,315	

En aucun cas, la taxe ne pourra être supérieure à celle d'une expédition pesant plus de 40 kilogrammes.

2° Expéditions d'un poids supérieur à 40 kilogrammes.

Jusqu'à 500 kilomètres	0 ^{fr} ,36	} Par tonne et par kilomètre, plus 6 francs par tonne pour frais de chargement et de déchargement.
Pour chaque kilomètre en excédent au delà de :	500 jusqu'à 600 kilomètres. 0,34	
	600 — 700 — . 0,32	
	700 — 800 — . 0,29	
	800 — 900 — . 0,25	
	900 — 1.000 — . 0,24	
	1.000 — 1.000 — . 0,18	
	1.000..... 0,15	

§ 2. — DENRÉES

1° Expéditions d'un poids ne dépassant pas 40 kilogrammes.

Prix fixés au paragraphe 1^{er} pour les articles de messagerie et marchandises d'un poids équivalent, sans que la taxe puisse être supérieure à celle d'une expédition de plus de 40 kilogrammes.

2° Expéditions de plus de 40 kilogrammes.

Jusqu'à 100 kilomètres	0 ^{fr} ,24	} Par tonne et par kilomètre, plus 6 francs par tonne pour frais de chargement et de déchargement.
Pour chaque kilomètre en excédent au delà de :	100 jusqu'à 300 kilomètres. 0,225	
	300 — 500 — . 0,21	
	500 — 600 — . 0,195	
	600 — 700 — . 0,18	
	700 — 800 — . 0,165	
	800 — 900 — . 0,15	
	900 — 1.000 — . 0,135	
	1.000 — 1.000 — . 0,12	
1.000..... 0,105		

Les prix de ce tarif ont été adoptés par les chemins de fer de l'Alsace-Lorraine, de l'Est, de l'Etat, du Midi, du Nord, d'Orléans, de Paris à Lyon et à la Méditerranée, de Grand-Ceinture et de Petite-Ceinture ;

ils sont applicables d'une gare quelconque de ces réseaux à une gare quelconque des mêmes réseaux.

Tarifs de petite vitesse. — Les cahiers des charges des compagnies françaises répartissent les marchandises de petite vitesse en quatre classes, comme l'indique le tableau ci-après :

MARCHANDISES TRANSPORTÉES EN PETITE VITESSE	PRIX PAR TONNE ET PAR KILOMÈTRE		
	Péage	Transport	Total
	francs	francs	francs
1 ^{re} classe. — Spiritueux. — Huiles. — Bois de menuiserie, de teinture et autres bois exotiques. — Produits chimiques non dénommés. — Œufs. — Viande fraîche. — Gibier. — Sucre. — Café. — Drogues. — Epicerie. — Tissus. — Denrées coloniales. — Objets manufacturés. — Armes.....	0,09	0,07	0,16
2 ^e classe. — Blés. — Grains. — Farines. — Légumes farineux. — Riz, maïs, châtaignes et autres denrées alimentaires non dénommées. — Chaux et plâtre. — Charbon de bois. — Bois à brûler dit de corde. — Perches. — Chevrons. — Madriers. — Planches. — Bois de charpente. — Marbre en bloc. — Albâtre. — Bitumes. — Cotons. — Laines. — Vins. — Vinaigres. — Boissons. — Bières. — Levure sèche. — Coke. — Fers. — Cuivre. — Plombs et autres métaux ouvrés ou non. — Fontes moulées..	0,08	0,06	0,14
3 ^e classe. — Pierres de taille et produits de carrières, minerais autres que le minerai de fer, fonte brute, sel, moellons, meulière, argile, briques, ardoises.....	0,06	0,04	0,10
4 ^e classe. — Houilles, Pour les parcours de 0 marne, cendres, à 100 kilomètres, sans fumiers, engrais, que la taxe puisse être pierres à chaux et supérieure à 5 fr... à plâtre, pavés Pour les parcours de et matériaux pour 101 à 300 kilomètres, la construction et sans que la taxe la réparation des puisse être supérieure routes, minerais de à 13 fr. 50.. fer, cailloux et Au delà de 300 kilomètres..... sable.	0,045	0,035	0,08
	0,03	0,02	0,05
	0,025	0,015	0,04

La 4^e classe n'existait pas au début ; elle a été introduite en 1863. On remarquera qu'elle est taxée d'après un *tarif différentiel*, car le prix kilométrique varie suivant le nombre de kilomètres parcouru. Les trois premières classes sont taxées d'après le tarif kilométrique ou proportionnel.

Tarif général. — C'est de cette classification que sont parties les Compagnies françaises, dès 1879, pour répartir, suivant leur nature, leur densité ou leur valeur, toutes les marchandises transportables, en six séries dont les bases kilométriques initiales varient de 16 à 8 centimes par tonne, pour décroître à mesure que le parcours augmente. C'est cette classification qui constitue le *tarif général*. Elle s'applique à environ 10/0 du tonnage total de petite vitesse. Les prix de transport du tarif général sont établis par tonne et sur des bases kilométriques qui varient pour les six séries et vont en décroissant pour chacune d'elles. Ainsi que le montre le tableau ci-dessous, les bases kilométriques de la 1^{re} série varient de 16 centimes à 10 centimes ; celles de la 2^e série varient de 14 centimes à 8 centimes, etc.

PARCOURS		1 ^{re} série	2 ^e série	3 ^e série	4 ^e série	5 ^e série	6 ^e série
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Par kilomètre, jusqu'à 25 kilom.		16	14	14	14	10	08
Pour chaque kilomètre en excédent de :	25 — 33	16	14	14	10	10	08
	33 — 50	16	14	14	10	10	035
	50 — 100	16	14	12	10	08	035
	100 — 200	16	14	11	09	07	035
	200 — 300	16	14	10	08	06	035
	300 — 500	16	14	10	08	06	03
	500 — 600	16	14	09	07	05	03
	600 — 700	15	13	08	06	04	025
	700 — 800	14	12	07	05	03	025
	800 — 900	13	11	06	04	03	025
900 — 1.000	12	10	05	04	03	025	
1.000 — 1.100	11	09	05	04	03	025	
1.100 kilomètres	10	08	05	04	03	025	

Tarifs spéciaux. — La plus grande partie du tonnage de petite vitesse, soit 90 0/0, est régie par les *tarifs spéciaux*, dont les prix, ainsi que nous l'avons déjà dit, sont inférieurs à ceux du tarif général.

Ces tarifs sont constitués tantôt par des barèmes analogues à ceux du tarif général, tantôt par des prix fermes. Chaque tarif spécial concerne des marchandises de même nature ; voici la série des principaux tarifs spéciaux ;

1. Animaux vivants ; — 2. Céréales ; — 3. Denrées ; — 4, Sel ; —

5. Sucre ; — 6. Boissons ; — 7. Combustibles minéraux ; — 8. Combustibles végétaux ; — 9. Bois de construction ; — 10. Chaux, ciment, plâtre ; — 11. Matériaux de construction ; — 12. Terres et terres servant aux Arts et Métiers ; — 13. Minerais ; — 14. Produits métallurgiques ; — 15. Matières résineuses, bitumineuses ; — 16. Corps gras ; — 17. Matières tinctoriales ; — 18. Produits chimiques ; — 19. Papiers ; — 20. Textiles et tissus ; — 21. Produits céramiques, verreries ; — 22. Amendements, engrais ; — 23. Fourrages ; — 24. Objets manufacturés, etc., etc.

Homologation des tarifs. — D'après leur cahier des charges (art. 48), les Compagnies peuvent abaisser leurs taxes au-dessous des limites légales ; aux termes du décret du 11 novembre 1912 (art. 68), les changements de taxes sont soumis à diverses formalités et ne peuvent être appliqués que lorsque les nouvelles taxes sont homologuées.

L'homologation est l'approbation donnée par le Ministre aux tarifs proposés par les Compagnies¹.

Les propositions des Compagnies sont insérées au *Journal officiel* et affichées dès qu'elles sont soumises au Ministre.

Les tarifs homologués sont mis en vigueur dans un délai de quinze jours, s'il s'agit de tarifs intérieurs, et de un mois, s'il s'agit de tarifs communs.

La nouvelle Convention du 28 juin 1921 (art. 17) modifie ce régime d'homologation en confiant au conseil supérieur des chemins de fer le soin de proposer les revisions ou augmentations de tarifs, et en rendant les nouveaux tarifs, ainsi proposés, applicables de plein droit si le Ministre des Travaux publics n'y fait pas opposition dans le délai d'un mois.

§ 6. — Frais accessoires.

Indépendamment des taxes fixées par les tarifs, les marchandises transportées par les chemins de fer ont à acquitter certains frais que nécessitent leur expédition et leur manutention : enregistrement, chargement, transmission, transbordement, déchargement, pesage, comptage, magasinage, etc. Ces frais, aux termes des cahiers des charges, doivent être fixés par le Ministre des Travaux publics ; ils ont été déterminés en dernier lieu par l'arrêté ministériel du 20 décembre 1924, prorogé et modifié par l'arrêté du 24 décembre 1925 ; on les trouve inscrits dans les tarifs généraux des Compagnies.

¹ Aucoc, *Conférence sur l'Administration et le Droit administratif*, 2^e édition, t. III.

Le même arrêté fixe les délais de livraison et d'enlèvement des marchandises.

Les délais de transport inscrits dans les tarifs généraux sont réglés par les arrêtés ministériels des 12 juin 1866, 11 février 1916, 21 juillet 1919 et 22 janvier 1923.

§ 7. — Camionnage et factage.

Le *camionnage* est l'opération qui consiste à transporter les marchandises à petite vitesse du domicile de l'expéditeur à la gare de départ, ou, inversement, de la gare d'arrivée au domicile du destinataire. On donne le nom de *factage* aux opérations semblables concernant les marchandises à grande vitesse.

Les Compagnies sont obligées d'assurer les services du camionnage et du factage pour la remise des marchandises aux destinataires dans les villes de 5.000 habitants et au-dessus; elles ne sont pas tenues de faire l'opération inverse; mais le camionnage et le factage ne font pas partie du monopole des transports, les destinataires peuvent les faire exécuter par qui bon leur semble.

Les tarifs de camionnage et de factage sont fixés par arrêtés ministériels.

Les Compagnies sont autorisées à faire camionner d'office, soit au domicile du destinataire, soit dans un magasin public, toute marchandise qui, adressée en gare, ne serait pas enlevée dans un délai de 48 heures, à dater de l'expiration du délai imparti pour son enlèvement par les arrêtés ministériels en vigueur (arrêté du 20 décembre 1924).

Pour une gare qui reçoit 1 million de tonnes de marchandises par an, ce délai de 48 heures exige des halles et quais pouvant recevoir 7.000 tonnes de marchandises, soit, à raison de 4 à 5 mètres carrés par tonne, une surface de 3 à 4 hectares, non compris les cours ni les voies.

En Angleterre, les marchandises, dès leur arrivée, sont camionnées d'office par les Compagnies de chemins de fer, aussi les quais et halles des gares sont-ils moins grands qu'en France.

§ 8. — Colis postaux.

L'article 13, de la loi du 29 octobre 1921 relative au nouveau régime des chemins de fer, prévoyait qu'une convention passée entre le ministre des Travaux publics, l'administration des Postes et des Télégraphes et les grands réseaux régèlerait d'une part la circulation du

matériel appartenant à l'administration des Postes et d'autre part les conditions de délai et de transport des colis postaux.

Cette convention a été passée le 19 décembre 1925 et complétée par l'avenant du 12 janvier 1927.

En régime intérieur français, les colis postaux ne doivent pas dépasser le poids de 20 kilogrammes ; ils sont répartis en cinq coupures : 0 à 3 kilogrammes, 3 à 5 kilogrammes, 5 à 10 kilogrammes, 10 à 15 kilogrammes, et 15 à 20 kilogrammes. A chacune des trois premières coupures correspond une taxe uniforme, quelle que soit la distance. Pour chacune des coupures de 10 à 15 et de 15 à 20 kilogrammes, il existe trois taxes différentes, suivant les zones de distances (jusqu'à 400 kilomètres, de 401 à 700 kilomètres et au-dessus de 700 kilomètres) qui ont été établies.

L'affranchissement des colis postaux est obligatoire au départ ; ces colis peuvent être acceptés livrables en gare, ou livrables à domicile, lorsqu'un service de livraison à domicile est organisé dans la localité destinataire ; dans ce cas, il est perçu de l'expéditeur, pour la remise à domicile, une taxe supplémentaire.

Les colis postaux peuvent faire l'objet d'une déclaration de valeur ou d'intérêt à la livraison (maximum 5.000 francs) et être grevés de remboursement (maximum 2.000 francs), moyennant le paiement de taxes spéciales.

En régime international, le transport des colis postaux est réglementé par une Convention passée entre les pays qui adhèrent à l'Union Postale universelle. Cette réglementation est, dans l'ensemble, analogue à celle existant en régime intérieur, sauf certaines différences, dont les principales sont indiquées ci-après :

Les limites de poids (10 kilogrammes au maximum), les taxes, les maxima fixés pour les déclarations de valeur et les remboursements varient selon les pays.

Il n'est pas admis de déclarations d'intérêt à la livraison.

Cette convention a expiré le 30 juin 1929, une nouvelle convention a été signée en mars 1929.

L'idée essentielle de la nouvelle convention est de réaliser la diffusion des colis postaux dans les campagnes en associant les moyens d'action des réseaux et de l'administration des Postes.

Le montant maximum des remboursements a été élevé à 5.000 francs.

Les délais de transport sont réduits.

Le maximum de déclaration de valeur est porté à 10.000 francs.

La convention aura la même durée d'application que les concessions des grands réseaux (R. C., juin 1929).

CHAPITRE XVIII

RECETTES ET DÉPENSES DES CHEMINS DE FER

§ 1. — Classification des recettes et dépenses.

Les recettes et dépenses des chemins de fer sont généralement rapportées au nombre moyen de kilomètres exploités et au nombre de kilomètres de trains. En France, elles sont publiées chaque année pour l'année précédente par les comptes de gestion que les compagnies présentent à leurs actionnaires. Elles sont publiées en outre, un an ou deux après, par le ministère des Travaux publics dans deux volumes intitulés *Statistique des Chemins de fer français*¹ et consacrés l'un aux chemins de fer d'intérêt général, l'autre aux chemins de fer d'intérêt local et aux tramways.

Les dépenses et recettes des chemins de fer sont divisées en chapitres et paragraphes, selon l'usage généralement admis pour toutes les compagnies. Les tableaux de la Statistique (5^e partie) ci-après donnent les derniers résultats connus au moment de l'impression du présent recueil.

Les désignations adoptées pour les divers chapitres et paragraphes sont suffisamment explicites par elles-mêmes; il est nécessaire toutefois de dire en quelques mots ce que comprennent les rubriques, *accessoires, recettes et dépenses diverses*.

Les *accessoires* de la grande vitesse autres que les recettes des voyageurs proviennent du transport des bagages, chiens, messageries, marchandises et autres expédiées en G. V.

Les *recettes accessoires* de la petite vitesse proviennent des transports de voitures, chevaux, mulets, ânes, bestiaux (bœufs, vaches, veaux, porcs, moutons, chèvres, etc.), des frais de magasinage, etc.

Les *recettes diverses* s'appliquent plus spécialement aux articles suivants : 1^o location du matériel et solde de parcours réciproques; 2^o produits d'omnibus et de correspondances; 3^o factage et camionnage à domicile; 4^o produit du domaine du réseau; 5^o participation

¹ Indépendamment de cette publication, le *Journal officiel* fait connaître chaque semaine les recettes hebdomadaires des chemins de fer et il donne en juin de chaque année les recettes comparées des deux derniers exercices.

des réseaux étrangers dans les frais d'exploitation des gares communes; 6° redevances, péages; 7° intérêts des comptes courants; 8° recettes d'exercices clos; 9° participation dans les charges d'établissement des gares communes.

Les *dépenses diverses* comprennent celles qui correspondent aux articles de recettes spécifiés dans l'alinéa ci-dessus, ainsi que le timbre et les frais de service des actions.

§ 2. — Tableaux des recettes et dépenses.

Pour pouvoir donner une idée générale de ce que sont les recettes et les dépenses des chemins de fer, nous publions ci-après (5° partie, *Statistique*) :

1° Les recettes et les dépenses d'exploitation de chaque grand réseau français pour 1925, en les détaillant par nature de compte, et en les chiffrant : d'abord au total, ensuite par kilomètre exploité et par kilomètre de train; les mêmes tableaux donnent l'indication du produit net et du coefficient d'exploitation;

2° Les recettes et les dépenses kilométriques de chaque grand réseau pour la période 1910-1925;

3° Les recettes totales des grands réseaux de 1901 à 1925, exprimées en millions de francs.

Répartition des recettes. — Les recettes de l'exploitation ne se répartissent pas également entre tous les jours de l'année. Il y a souvent, d'un mois à l'autre, des différences considérables, qui se produisent tous les ans à pareille époque, indépendamment des variations brusques dues au chômage accidentel de certaines industries.

La division des recettes par nature de produit, donne, en moyenne, les résultats suivants pour les grandes Compagnies et les chemins de fer de l'État :

	EST	MIDI	NORD	P.-L.-M.	P.-O.	ÉTAT	ALSACE-LORRAINE
Voyageurs	20,5	26,54	23,7	26,19	28,0	27,7	14,2
Grande vitesse...	8,6	10,76	8,12	13,03	13,93	16,0	4,3
Petite vitesse...	68,9	58,81	65,18	59,39	55,57	53,9	79,8
Recettes diverses.	1,9	3,89	3,0	1,39	2,45	2,2	1,7
	100	100	100	100	100	100	100

§ 3. — Coefficient d'exploitation.

On désigne sous le nom de coefficient d'exploitation le rapport de la dépense d'exploitation aux recettes, pendant une même année. Soient R la recette, D la dépense, le coefficient d'exploitation est exprimé par $\frac{100D}{R}$. Les résultats statistiques fournis par les grandes Compagnies accusent les coefficients inscrits pour chaque compagnie au tableau de la page 409.

Il résulte de l'examen de ces tableaux que les frais d'exploitation d'un chemin de fer à grand trafic absorbent plus de la moitié de la recette. Quand le trafic de la ligne est au-dessous de 15.000 à 20.000 fr. par kilomètre, le coefficient d'exploitation augmente, et, comme, à partir d'un certain chiffre, les dépenses ne descendent pas au-dessous du minimum cité ci-dessus, le coefficient peut atteindre et dépasser 100 0/0. Il en résulte qu'une ligne à faible trafic ne peut donner un bon coefficient, quelque économique que soit son exploitation.

Si l'on veut faire des comparaisons ayant une réelle portée, il faut prendre des lignes placées dans des conditions semblables de pentes, de courbes, de trafic et d'âge, et dont les transports soient répartis également dans les deux sens. Encore ce rapprochement, pour être exact, exigerait-il que les lignes à comparer eussent le même tarif moyen : car il est évident que des tarifs plus bas et que des satisfactions plus grandes données au public contribuent à augmenter le coefficient d'exploitation. Enfin, pour faire une comparaison rigoureuse, il faudrait s'assurer que les impôts, les dépenses et recettes diverses sont comptés de la même manière par les compagnies en cause. Le principal intérêt d'une comparaison des coefficients d'exploitation est de voir comment et pourquoi ils varient d'une année à l'autre pour une même compagnie.

§ 4. — Impôts.

Les impôts sur les chemins de fer et les économies que l'État réalise sur certains services publics n'avaient plus été publiés depuis 1913. On vient de reprendre cette publication pour les années 1921 à 1924.

Impôts sur les chemins de fer et évaluation des économies que l'État réalise sur certains services publics (année 1924)

Impôts sur les transports.....	677.429.000 fr.
— sur les titres.....	303.294.000 fr.
Économies résultant des clauses du cahier des charges,	
Administration des Postes et Télégraphes.....	254.654.000 fr.
Transport de militaires et marins.....	127.557.000 fr.
— des agents des contributions directes et des douanes..	10.038.000 fr.
Transport des prisonniers.....	301.000 fr.
Total arrondi.....	392.551.000 fr.
Économies sur les prix du commerce résultant d'arrangements amiables avec l'État.....	7.600.000 fr.
Total général pour 1924.....	1.380.876.000 fr.
Total par kilomètre.....	32.000 fr.
Total général pour 1913.....	320.767.000 fr.
— 1921.....	1.039.952.000 fr.
— 1922.....	1.096.152.000 fr.
— 1923.....	1.169.420.000 fr.
— 1924.....	1.380.876.000 fr.

Ces impôts ne comportent pas ceux qui figuraient dans les statistiques jusqu'en 1913, sous le titre III, « autres impôts sur les matières imposables, créées par l'industrie des chemins de fer : impôts sur la propriété bâtie, patentes, droits de douane... etc. ».

CINQUIÈME PARTIE

STATISTIQUE

Dans cette cinquième partie se trouvent groupés des renseignements épars dans des publications périodiques ou dans des recueils volumineux qu'il n'est pas toujours facile d'avoir sous la main au moment où on voudrait les consulter.

On trouvera de nombreux renseignements dans *La statistique des chemins de fer français* en vente à l'Imprimerie Nationale. Ces statistiques, qui ne paraissaient plus depuis 1913, ont été publiées à nouveau pour les années 1921 à 1927.

Coefficients d'exploitation des grands réseaux ou rapport 0/0 des dépenses aux recettes, de 1910 à 1928.

ANNÉES	EST	MIDI	NORD	ORLÉANS	P.-L.-M.	OUEST ÉTAT	ÉTAT	Alsace- Lorraine
1910	57,4	56,5	58,3	55,2	53,8	79,9	83,1	»
1911	57,4	55,3	61,4	56,8	55,2	86,5	80,7	»
1912	59,3	53,5	61,3	56,1	56,5	88,6	91,5	»
1913	61,5	54,6	61,3	59,1	57,0	85,7	86,1	»
1918	96,5	71,5	112,5	84,9	89,7	104,8		»
1919	111,5	123,2	153,1	119,8	104,8	»		195,7
1920	121,8	151,9	140,1	136,0	116,0	157,3		120,0
1921	99,5	119,0	107,5	118,5	103,7	143,7		108,3
1922	81,7	103,7	90,6	96,8	88,5	114,7		92,8
1923	82,4	94,9	89,6	89,1	85,5	111,6		88,0
1924	78,8	87,0	79,5	88,6	79,9	97,7		78,2
1925	80,2	84,8	79,0	89,6	79,2	98,0		83,6
1926	71,6	73,3	72,4	78,6	71,6	87,0		78,1
1927	77,0	79,0	78,0	82,0	79,0	93,9		83,8
1928	68,0	74,0	72,0	73,0	75,0	89,4		78,4

**Recettes des grands réseaux
de 1901 à 1928.**

Années	EST	MIDI	NORD	ORLÉANS	P.-L.-M.	Ouest- État	ÉTAT	Alsace- Lorraine	TOTAL
En millions de francs									
1901	180	109	233	230	444	182	49	»	1.429
1902	183	112	235	232	448	183	50	»	1.447
1903	189	115	239	234	456	189	51	»	1.476
1904	192	116	239	234	459	190	52	»	1.485
1905	201	118	249	246	473	196	53	»	1.540
1906	215	121	257	257	496	206	55	»	1.610
1907	227	121	265	267	513	209	56	»	1.660
1908	229	130	274	279	511	218	59	»	1.703
1909	242	132	278	286	522	219	61	»	1.742
1910	255	133	292	287	534	229	63	»	1.795
1911	275	134	307	285	555	241	65	»	1.863
1912	289	147	322	304	585	244	68	»	1.962
1913	304	150	336	309	596	250	72	»	2.040
1922	1.037	443	1.170	911	1.806	1.041	521	6.961	
1923	1.062	475	1.237	1.030	1.956	1.094	545	7.401	
1924	1.273	560	1.433	1.195	2.396	1.332	741	8.933	
1925	1.443	641	1.614	1.338	2.803	1.484	794	10.100	
1926	1.817	849	2.120	1.745	3.689	1.965	1.006	13.191	
1927	1.879	866	2.152	1.771	3.637	1.988	1.016	13.309	
1928	2.197	976	2.452	1.961	4.130	2.204	1.142	15.062	

**Dépenses des grands réseaux
de 1922 à 1928.**

ANNÉES	EST	MIDI	NORD	ORLÉANS	P.-L.-M.	ÉTAT	Alsace- Lorraine	TOTAL
En millions de francs								
1922..	848	459	1.061	911	1.598	1.194	483	6.556
1923..	875	451	1.109	917	1.672	1.221	479	6.726
1924..	1.002	487	1.139	1.059	1.915	1.301	580	7.487
1925..	1.158	543	1.276	1.200	2.220	1.455	667	8.509
1926..	1.302	623	1.535	1.373	2.652	1.710	786	9.981
1927..	1.456	684	1.683	1.458	2.876	1.866	851	10.873
1928..	1.492	717	1.771	1.437	3.080	1.970	895	11.362

Recettes kilométriques des grands réseaux, de 1910 à 1928.

EXERCICES	EST	MIDI	NORD	ORLÉANS	P.-L.-M.	ÉTAT ¹		ALSACE-LORRAINE
						Anc. rés.	Rés. racheté	
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1910	51.684	34.306	76.780	37.156	55.892	21.284	38.544	"
1911	55.104	34.025	81.130	38.149	57.990	21.985	39.611	"
1912	57.790	35.678	84.531	40.405	60.947	22.808	40.578	"
1913	60.711	36.246	87.581	41.337	61.513	23.862	41.576	"
1918	62.790	35.563	"	69.431	79.662	54.444		"
1919	93.220	50.068	"	80.957	102.354	"		"
1920	143.675	83.854	"	122.313	162.241	103.915		"
1921	181.060	102.768	"	123.685	170.824	111.953		"
1922	206.357	108.234	"	126.001	184.649	115.605		233.464
1923	211.347	116.904	"	137.940	210.171	121.432		241.777
1924	253.276	136.115	"	160.117	245.020	147.231		327.820
1925	287.084	153.396	421.447	179.243	286.670	163.915		351.224
1926	361.599	201.853	553.722	233.700	377.260	216.859		473.978
1927	373.781	204.245	561.879	226.615	330.336	219.333		448.075
1928	437.040	228.570	640.208	250.927	347.739	243.162		498.440

Dépenses kilométriques des grands réseaux, de 1910 à 1928.

EXERCICES	EST	MIDI	NORD	ORLÉANS	P.-L.-M.	ÉTAT ¹		ALSACE-LORRAINE
						Anc. rés.	Rés. racheté	
	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs	francs
1910	29.708	19.366	44.947	20.354	30.073	17.678	30.369	"
1911	32.321	18.704	49.822	21.558	31.997	19.165	34.172	"
1912	34.879	18.868	51.796	22.638	34.446	20.867	35.974	"
1913	37.378	19.799	53.703	24.447	35.069	20.556	35.633	"
1918	60.578	25.441	"	58.941	71.439	57.075		"
1919	03.940	61.697	"	96.972	107.251	"		"
1920	174.948	127.397	"	166.327	188.156	163.430		"
1921	180.101	122.322	"	146.520	177.125	160.865		"
1922	168.726	112.245	"	121.969	163.440	132.557		216.564
1923	174.165	110.945	"	122.873	185.788	135.503		212.690
1924	199.504	118.433	"	141.903	195.864	143.816		256.517
1925	230.393	129.788	333.317	160.718	227.056	160.718		293.343
1926	259.120	148.006	400.943	183.900	271.192	188.736		347.010
1927	289.635	161.320	439.425	186.564	261.217	205.935		375.508
1928	296.792	167.915	462.402	183.877	279.219	217.407		394.871

¹ En vertu des lois du 13 juillet et du 18 décembre 1908, le réseau de l'Ouest a été racheté par l'État le 1^{er} janvier 1909; les dernières lignes du tableau se rapportent donc à l'exploitation par l'État.

Effectif du Matériel roulant des grands Réseaux français au 31 décembre 1928
(D'après le bulletin de l'Union Internationale des Chemins de fer).

RÉSEAUX	LOCOMOTIVES		AUTOMOTRICES et Locotracteurs	VOITURES à voyageurs	WAGONS
	à vapeur	élec- triques			
Alsace-Lorraine.....	1.661	—	7	4.572	48.478
Est.....	2.410	—	—	4.709	86.572
État.....	3.925	39	203	7.757	85.161
Midi.....	1.149	119	71	2.450	34.557
Nord.....	2.824	—	10	4.968	91.742
Paris-Lyon-Méditerranée.....	5.361	15	174	7.779	136.136
Paris-Orléans.....	2.588	220	93	4.245	61.398
	19.918	303	558	36.460	543.944

Longueur des lignes exploitées en Franc

(Voie normale et voie de 1 mètre.)

Etat	9.050
A.-L.	2.262
Nord.....	3.830
Est.....	4.962
P. O.....	7.469
P.-L.-M.....	9.781
Midi.....	4.163
Ceintures et réseaux secondaires.....	1.562
TOTAL	43.079

Effectif du personnel des réseaux au 1^{er} janvier 1925.

	EFFECTIF TOTAL	PAR 100.000 VÉHICULES km annuels
	Etat	91.854	6,92
A.-L.	39.165	5,54
Nord.....	81.158	6,39
Est.....	67.064	4,68
P. O.....	66.757	5,20
P.-L.-M.....	116.855	4,56
Midi.....	37.626	6,65
Ceinture.....	3.463	4,87
Réseaux secondaires.....	3.656	12,68
TOTAL.....	507.598	5,48

Effectif total en 1913.....	359.308 ^b
— 1921.....	473.131
— 1922.....	500.673
— 1923.....	501.971
— 1924.....	507.598

**Combustible (houille et brique) et travail électrique
dépensé par les réseaux en 1926.**

	COMBUSTIBLE tonnes	ÉLECTRICITÉ kwh
Alsace-Lorraine.....	920.500	
Ceinture.....	84.600	
Est.....	1.415.200	
Etat.....	1.828.900	19.584.500
Midi.....	617.100	33.954.100
Nord.....	1.718.000	
P.-L.-M.....	2.961.000	
P. O.....	1.618.000	31.033.700
TOTAL.....	11.163.300	84.572.300

A 10 0/0 près la consommation de charbon est la même pour les années suivantes.

SIXIÈME PARTIE

LÉGISLATION ET DIVERS

ORGANISATION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER

Le passage du matériel roulant d'un réseau sur un autre ou d'un pays à un autre a créé de nombreux problèmes d'ordre technique ou financier que les administrations de chemins de fer se sont efforcées de résoudre par des conventions successives.

Ces conventions ont été conclues tout d'abord entre les réseaux d'un même pays.

L'Union des chemins de fer allemands (Verein deutscher Eisenbahn Verwaltungen), fondée en 1846, a unifié d'abord les règlements d'exploitation, puis elle a établi deux conventions : l'une en 1856, relative à la construction et à l'exploitation technique, l'autre en 1868, relative à l'utilisation réciproque du matériel de chemins de fer.

En *France*, dès 1856, une réglementation commune concernant les échanges de matériel est intervenue. Puis, en 1872, un règlement a unifié les prescriptions relatives aux avaries des véhicules d'une compagnie circulant sur le réseau d'une autre compagnie. Plus tard, un autre accord passé en 1886, en supprimant la reconnaissance contradictoire des marchandises aux points de transit, a accéléré la circulation des wagons.

A l'exemple des réseaux d'un même pays, les administrations de chemins de fer de pays différents se sont efforcées de conclure des accords. Ceux-ci se sont généralisés et trois grandes conventions ont été établies; elles règlent actuellement toutes les questions d'échange. Ce sont :

- 1° *Règlement pour l'Unité technique des chemins de fer (U. T.)* ;
- 2° *Règlement pour l'emploi réciproque des wagons en trafic international (R. I. V.)* ;
- 3° *Convention pour l'emploi réciproque des voitures et fourgons en service international (R. I. C.)*.

Ces accords englobent le plus grand nombre des administrations importantes des chemins de fer d'Europe à voie normale. L'emploi

des ferry-boats a permis d'ailleurs la participation à ces accords des chemins de fer des îles de Danemark, de la Suède et de la Norvège.

I. — UNITÉ TECHNIQUE DES CHEMINS DE FER.

Les conférences internationales pour l'Unité technique des chemins de fer se sont tenues à Berne. Elles ont été provoquées par le gouvernement suisse, en prévision de l'augmentation de trafic sur ses lignes que lui procurerait la construction des lignes du Gothard et de l'Arleberg, dans le but de réaliser l'unité technique du matériel pour faciliter le trafic entre les pays.

Il faut remarquer que les *conventions intervenues à la suite des conférences de Berne doivent être ratifiées par les gouvernements pour devenir applicables.*

Il y a eu, jusqu'à ce jour, trois conférences :

Première conférence. — La première, en Octobre 1882, qui réunissait seulement la Suisse, l'Allemagne, l'Autriche-Hongrie, la France et l'Italie, sans déterminer des cotes fixes pour les parties du matériel appelé à entrer dans la composition des trains internationaux, se borna à indiquer les dimensions maxima et minima relatives à l'écartement des roues, aux dimensions des bandages, à l'écartement des tampons, etc.

Deuxième conférence. — La deuxième, en Mai 1886, réunit les gouvernements des mêmes pays et précisa les décisions techniques prises par la conférence de 1882. Son protocole de clôture contenait, en outre, un projet de convention concernant la fermeture des wagons devant passer en douane. Ultérieurement, la Belgique, la Bulgarie, la Grèce, les Pays-Bas, la Roumanie et la Serbie ont adhéré à ce protocole.

Les dispositions de cette conférence ont été rendues applicables, sur les chemins de fer français, à partir du 1^{er} avril 1887, par deux décrets du 31 mars 1887, signés l'un par le Ministre des travaux publics, pour les dispositions techniques relatives aux voies et au matériel, l'autre par le Ministre des finances, pour la fermeture des wagons devant passer la douane.

Troisième conférence. — La troisième conférence eut lieu en Mai 1907. Elle réunissait, en plus des représentants des gouvernements qui avaient déjà assisté aux deux premières, ceux de la Belgique, de la Bulgarie, du Danemark, de la Norvège, des Pays-Bas, de la Roumanie, de la Russie et de la Suède.

Cette conférence a abouti à l'établissement de deux protocoles concernant, l'un, l'Unité technique des chemins de fer, l'autre, la fermeture des wagons devant passer en douane. Ils ont été ratifiés en

France, par deux arrêtés du 15 juin 1938, l'un du Ministre des travaux publics, l'autre du Ministre des finances, et sont entrés en application à partir du 1^{er} juillet 1938.

Résumé des prescriptions de l'Unité technique. — Le protocole de l'Unité technique se divise en quatre articles :

L'article 1^{er} donne les dimensions de la voie.

L'article 2 est relatif à la construction du matériel roulant : il comporte vingt-cinq paragraphes et spécifie les conditions de construction essentielles, écartement des essieux et des roues, dimensions des bandages et des boudins, hauteur, écartement, diamètre des tampons, attelages, freins, serrures des voitures à voyageurs, portes roulantes, etc. ; le paragraphe 25 énumère les inscriptions qui permettent aux agents de connaître les particularités essentielles des véhicules. D'autre part, le caractère obligatoire de ces dispositions est précisé au paragraphe 1.

Dans l'article 3, le protocole détermine les conditions d'entretien du matériel roulant qui vise la révision, le graissage et la propreté des véhicules échangés et énumère les défauts qui permettent le refus.

Enfin, l'article 4 indique les conditions que doit remplir le chargement des wagons à marchandises.

Pendant la troisième conférence de l'Unité technique, les administrations avaient aussi abordé les problèmes concernant l'adoption d'attelages automatiques et d'un système de frein continu au matériel à marchandises.

Pour ce qui est de l'*attelage automatique*, la conférence décida qu'il n'y avait pas lieu de prévoir, pour le moment, l'introduction d'un attelage automatique, étant donné qu'il n'existait aucun appareil réunissant les conditions nécessaires.

Quant au *frein continu*, la conférence en renvoya l'étude à une commission internationale, convoquée par le Conseil fédéral, qui s'est réunie à Berne, en mai 1909, pour fixer un programme d'essais.

À la suite de cette conférence, des essais eurent lieu sur le frein à bande Hardy, en Autriche (1912), et sur le frein Westinghouse, en Hongrie (1913).

Les travaux, interrompus par la guerre, ont été repris, comme nous l'indiquerons plus loin, par une sous-commission des questions techniques de l'Union internationale des Chemins de fer, dont les conclusions, établies à la conférence de Paris, de décembre 1926, ont été soumises à l'unité de technique.

D'autre part, la troisième conférence qui avait, au cours de ses travaux, reconnu l'utilité d'établir un *gabarit passe-partout*, confia à une commission spéciale le soin de rassembler les documents s'y rapportant. Cette commission, IRIS LILLIAD Université Lille 1

tobre 1911, en mai et en décembre 1912, et le 14 décembre 1912, elle rédigeait son protocole final qui modifiait celui de 1907 en y ajoutant, en annexe, le dessin d'un gabarit passe-partout pour wagon à marchandises. De plus, un nouveau paragraphe définissait ce que l'on appelle le « wagon de transit ».

Le texte ainsi modifié est devenu celui de l'« Unité technique des chemins de fer » (rédaction 1913) qui avait été rendu applicable en France, par un arrêté du ministre des travaux publics, du 1^{er} mai 1911.

C'est ce terme qui est actuellement en vigueur.

(Indépendamment des pays déjà nommés, la Serbie et le Luxembourg ont adhéré aux conventions concernant l'unité technique des chemins de fer, *qui ont la valeur d'une convention intervenue entre gouvernements, et ne peuvent être modifiées que par une nouvelle conférence dont les décisions devront être approuvées par les pouvoirs publics*).

Ces dispositions, intentionnellement rédigées sous une forme succincte, ont été complétées et explicitées par des prescriptions émanant des administrations de chemins de fer en vue de leur application, et c'est dans cet esprit qu'ont été établis, en particulier, les règlements divers que nous appellerons R. I. V., règlement pour l'emploi réciproque des voitures et des fourgons en trafic international.

(On peut se procurer les règlements de l'unité technique ainsi que les procès-verbaux des séances de Berne auprès de l'administration des chemins de fer fédéraux suisses, à Berne.)

II. — CONVENTIONS RELATIVES AUX ÉCHANGES DE WAGONS ENTRE LES ADMINISTRATIONS DE CHEMINS DE FER DE DIVERS PAYS. R. I. V.

Avant 1876, le règlement des avaries était l'objet de conventions particulières et les conditions d'acceptation au transit étaient plus ou moins laissées à l'arbitraire des agents locaux.

En novembre 1876, sur l'initiative de l'État Belge, se réunit une conférence internationale, à Bruxelles, qui aboutit à l'établissement du *Règlement technique de l'Union internationale pour l'admission réciproque du matériel et la responsabilité des avaries* dont l'administration gérante était l'État Belge à Bruxelles.

Mais un certain nombre de conventions particulières de réseau à réseau ou d'administration à administration dérogeaient à ce règlement technique international.

Parmi ces conventions, il convient surtout de citer le règlement dit du « Verein », pour l'emploi réciproque du matériel roulant dans l'étendue de l'union des chemins de fer allemands qui traite principalement des prescriptions et dispositions concernant l'emploi du ma-

tériel sur les lignes étrangères et des redevances dues pour l'emploi réciproque des véhicules.

Une convention dite « *I. W. R.* » rendant applicable ce règlement, régissait jusqu'en 1914 les échanges entre l'Allemagne, l'Autriche-Hongrie, la Roumanie, les Pays-Bas, le Luxembourg, le chemin de fer de Chimay, les chemins de fer Vienne-Varsovie, la Serbie, la Bulgarie, la Turquie, la Suisse, la Belgique, le Danemark, la Suède et la Norvège.

En 1919, la direction générale des chemins de fer italiens de l'État, faisant valoir l'urgence qu'il y avait à reprendre le trafic international, proposa de soumettre à une conférence internationale un projet de règlement concernant l'échange et l'utilisation réciproque des véhicules entre les diverses administrations de chemins de fer européens.

R. I. V. — Une première conférence tenue à Rome fut suivie d'une autre à Stresa en avril 1921, au cours de laquelle fut définitivement constituée l'*Union internationale des wagons* dont le but a été limité à l'emploi réciproque des wagons et qui elabora le règlement dit *R. I. V.* qui est entré en vigueur le 1^{er} janvier 1922. Ce règlement a été commenté et modifié au cours de plusieurs conférences à Gratz (septembre 1922), à Lucerne (novembre 1922), à Roncegno (septembre 1923), à Vevey (mars 1924), enfin à Pérouse (juin 1924).

Le nouveau règlement dit « *Édition de Pérouse* », publié par la direction des chemins de fer fédéraux à Berne, est applicable à partir du 1^{er} janvier 1925.

Résumé des dispositions du R. I. V. — Ce règlement comprend plusieurs chapitres énumérés ci-dessous :

- A. — Dispositions préliminaires (validité du règlement) ;
- B. — Emploi des wagons hors de leur réseau ;
- C. — Agrès de chargement ;
- D. — Redevance de location et décompte ;
- E. — Conditionnement et traitement technique des wagons ;
- F. — Prescriptions spéciales aux wagons de particuliers ;
- G. — Monnaie, notification, compensation et paiement ;
- H. — Disposition finale. — Entrée en vigueur du règlement.

A ce règlement sont adjointes diverses annexes :

ANNEXE I. — Unité technique des chemins de fer (rédaction 1913).

ANNEXE II. — Prescriptions spéciales des administrations de chemins de fer pour le chargement des wagons.

ANNEXE III. — Dispositions relatives à la fermeture douanière des wagons de chemins de fer dans le trafic international.

ANNEXE IV. — Liste des unités d'avarie.

Enfin l'appendice I donne la liste des administrations adhérentes

à *R. I. V.*

Les organes de l'Union internationale des wagons sont :

a) L'assemblée générale qui se réunit en session ordinaire tous les cinq ans et au cours de laquelle elle nomme l'administration générale (actuellement administration des chemins de fer fédéraux suisses à Berne) et statue sur les modifications au règlement.

b) Le Comité, composé d'une administration de la Suisse, de la France, de l'Allemagne, de l'Italie et de la Belgique, qui statue, entre les sessions ordinaires, sur les admissions de nouveaux membres, et sur les propositions à soumettre à l'assemblée générale et qui rend jugement arbitral sur tout litige dû à l'emploi réciproque des wagons.

c) L'Administration générale.

Le R. I. V. a pratiquement annulé et remplacé le règlement technique international, dont il est question au début de ce paragraphe.

III. — CONVENTIONS TECHNIQUES CONCERNANT L'EMPLOI RÉCIPROQUE DES VOITURES ET FOURGONS EN TRAFIC INTERNATIONAL.

R. I. C.

Jusqu'en 1911, il n'a été question d'aucune entente internationale touchant les conditions de construction et d'entretien des voitures et des fourgons circulant dans les services directs.

Naturellement, les prescriptions des conventions de Berne étaient applicables aux véhicules, en grande vitesse, mais aucune condition supplémentaire relative aux aménagements spéciaux à ces véhicules n'avait fait l'objet d'un règlement.

Cependant, la Compagnie du chemin de fer de Lubeck à Büchen, sur l'initiative du Verein, avait publié en 1894, puis en 1901 et 1907 (dernière édition) les conditions que doivent remplir, pour le transit exceptionnel (c'est-à-dire quand il ne s'agit pas d'un service régulier, des véhicules isolés attelés à des trains rapides, express ou de voyageurs pour passer d'un réseau sur un autre en trafic international. Ces conditions, connues sous le nom de *Conditions de Lübeck*, énuméraient les exigences de chaque pays, en ce qui concernait le gabarit des véhicules, les freins, le chauffage, l'éclairage, les signaux d'intercommunication et d'alarme ainsi que les conditions relatives à la construction des véhicules.

L'autre part, la conférence dite *des voitures directes* était chargée de régler le nombre et le type des voitures devant assurer ces services directs, ainsi que les compensations de parcours. Mais les questions techniques restaient en principe étrangères à cette conférence.

C'est en juin 1911, à la session de Stockholm de cette conférence des voitures directes, qu'à la demande des chemins de fer italiens, et

chercha à codifier ces conditions techniques. Le projet de convention fut élaboré en 1914, mais aucune suite ne lui fut donnée en raison de la guerre.

La proposition des chemins de fer italiens de 1919, que nous avons relatée plus haut, se rapportait aussi bien aux voitures qu'aux wagons. Mais la partie concernant les voitures et les fourgons avait été disjointe à Stresa en avril 1921.

Le projet fut cependant repris aux conférences d'Innsbrück (juillet 1921) et Salzbourg (juillet 1921) où il fut définitivement arrêté sous le nom de *Convention pour l'emploi réciproque des voitures et fourgons en service international (R. I. C.)*, et approuvé par la conférence internationale des voitures directes à Berne, en novembre 1921.

Enfin, à Amsterdam (mai 1924), il fut procédé à la révision des accords concernant la compensation des parcours des voitures et des fourgons et il fut apporté quelques modifications aux autres parties de la convention. Les nouveaux textes ont été approuvés à Naples, en novembre 1924, par la conférence européenne des voitures directes, et sont entrés en vigueur à partir du 1^{er} janvier 1925.

L'Union ainsi constituée prend le nom de *l'Union pour les services internationaux de voitures*.

Résumé des dispositions du R. I. C. — Le règlement comprend trois parties :

La première partie « Prescription pour le décompte et la compensation » définit l'unité de calcul, fixe les délais pour la restitution du matériel ainsi que les indemnités pour retard, définit également l'Office central de compensation (Administration des chemins de fer fédéraux suisses à Berne, — Contrôle central des wagons à Berne) et ses attributions, et détermine la monnaie et les modes de liquidation et de paiement.

La deuxième partie est le « règlement d'exploitation » tant pour le service régulier que pour le service extraordinaire. Il fixe les conditions d'entretien, de nettoyage et de désinfection des véhicules, puis détermine les conditions d'approvisionnement et d'échange des pièces mobiles placées dans les voitures (plaques d'itinéraire, accouplement, etc.), et indique le mode de règlement des avaries et des réparations des véhicules.

Enfin, la troisième partie « Prescriptions concernant la construction et les conditions d'entretien des véhicules » comprend deux paragraphes.

Le premier se rapporte à la construction des véhicules. Les prescriptions de l'unité technique y sont reproduites, mais légèrement élargies. Puis des règles y sont énoncées qui concernent les inscriptions, les soufflets et passerelles d'intercirculation, les freins, le frein d'alarme, le chauffage, l'éclairage, les porte-signaux, les réservoirs à

eau et appareils d'alimentation, les plaques d'itinéraire, les plateaux de tampons, etc...

En outre, sont envisagées quelques dispositions transitoires.

Toutes ces questions font l'objet d'un certain nombre d'annexes qui précisent les conditions énoncées.

Le deuxième paragraphe contient les conditions d'entretien des véhicules et en particulier les déficiences permettant de refuser ou de différer des véhicules.

En outre, l'annexe I au règlement donne la liste des administrations qui font partie de l'Union (R. I. C.).

Règlement technique français. — Il y a lieu de signaler ici que, les sept grands réseaux français, en vue de faciliter les échanges de matériel entre leurs administrations, ont établi le *Règlement technique français sur les conditions réciproques d'admission, de circulation et de réparation du matériel roulant*.

Ce règlement fixe les conditions auxquelles doivent satisfaire les voitures et les wagons des Réseaux français pour être admis à circuler, relativement à leur construction, à leur entretien, à leur passage en douane, à leur chargement et à leur réparation en cas d'avarie. Il détermine d'autre part le mode de règlement des dépenses diverses des wagons particuliers immatriculés sur les réseaux français et des wagons des réseaux donnés en location à des particuliers, puis le mode de règlement des frais de réparation des wagons particuliers français et étrangers en service international.

IV. — CONVENTIONS INTERNATIONALES DIVERSES

Indépendamment des trois grandes conventions dont nous venons de parler, il existe un certain nombre d'autres conventions internationales qui ne concernent pas les prescriptions techniques.

Nous donnons ci-dessous la liste des organisations internationales existantes :

En premier lieu, quatre organisations entre Etats :

1° Commission des communications et du transit de la Société des Nations ;

2° Conférence internationale de l'Unité technique ;

3° Union de la Convention internationale sur le transport des marchandises par chemins de fer (Convention de Berne). (C. I. M.) ;

4° Union de la Convention internationale sur le transport des voyageurs et bagages par chemins de fer (de formation récente) (C. I. V.).

Ensuite viennent dix organisations entre administrations de chemins de fer.

1° Association des chemins de fer allemands (Verein Deutscher Eisenbahn Verwaltungen);

2° Association du Congrès international des chemins de fer dont le siège est à Bruxelles;

3° Comité international des transports par chemins de fer, dont le siège est à Berne;

4° Union internationale pour l'émission des billets à coupons combinés, dont le siège est à Bruxelles;

5° Union pour l'émission des billets des administrations de chemins de fer autrichien et hongrois;

6° Union de liquidation entre les chemins de fer autrichiens, hongrois, polonais, roumains, tchécoslovaques, avec bureaux de liquidation à Vienne et à Prague;

7° Union internationale des wagons-marchandises (R. I. V.);

8° Union pour les services internationaux des voitures et fourgons (R. I. C.);

9° Conférence des horaires;

10° Union internationale des chemins de fer (U. I. C.).

Nous donnons ci-dessous quelques renseignements concernant diverses organisations dont nous n'avons pas encore parlé.

La convention internationale sur le transport des marchandises par chemins de fer, du 14 octobre 1890 (C. I.) conclue entre l'Allemagne, l'Autriche et la Hongrie, la Belgique, la France, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, la Russie et la Suisse, est une convention entre gouvernements. Elle a été le résultat de plusieurs conférences tenues à Berne, convoquées sur l'initiative de la Suisse, et qui eurent lieu en 1878, 1881, 1886 et 1890.

Cette convention revêt le caractère d'une loi sur le territoire de chaque Etat. Elle a été approuvée en France par une loi du 29 décembre 1891.

Son but est de simplifier les conditions des transports internationaux, par l'emploi d'une « lettre de voiture directe », c'est-à-dire créée à la gare de départ pour la gare de destination définitive et quelles que soient les administrations traversées. Cette convention établit aussi des principes uniformes en matière de responsabilité.

En 1896 et 1905 eurent lieu des conférences de revision et le texte qui en est découlé est entré en vigueur le 22 décembre 1908.

Le Danemark, la Roumanie, la Suède, la Serbie et la Bulgarie ont successivement adhéré à la Convention.

Pour assurer sa propre exécution, la convention a créé l'*Office central des transports internationaux* dont le siège est à Berne et qui a pour but de centraliser les communications des États, de coordonner et publier les renseignements divers concernant le service des transports internationaux et d'instruire les demandes de modification de la Convention.

Afin d'éviter les contradictions auxquelles pouvaient conduire les « prescriptions complémentaires », qui avaient été nécessairement introduites dans leurs tarifs par certains pays participant à d'autres unions, plusieurs conférences se réunirent de 1894 à 1901 et aboutirent à Munich en 1901 au « Règlement uniforme concernant les conditions complémentaires ». Pour arriver à l'élaboration de ces « conditions complémentaires uniformes » les différentes administrations adhérant à ces conditions, décidèrent à Paris, en 1899, de créer le « Comité international des transports » dont la mise en vigueur fut fixée au 1^{er} janvier 1903, et qui s'est réuni annuellement jusqu'en 1914.

L'ensemble des différents textes : « Convention internationale, conditions complémentaires » forment le « Règlement uniforme pour le transport international des marchandises par chemins de fer ».

Pendant la guerre, l'application de la Convention de Berne fut suspendue.

Ce ne fut qu'en 1920 que fut envisagée la reconstitution du Comité international des transports par chemins de fer qui a repris son activité depuis la session de Naples 1922.

D'autre part, à Amsterdam en 1923, le Comité a révisé les conditions complémentaires de la C. I. et les a complétées.

La nouvelle convention ainsi perfectionnée a été approuvée à la conférence diplomatique de Berne du 23 octobre 1914 et a été ratifiée en France par une loi du 27 août 1926 (*Journal officiel*, 2 septembre 1926).

Tous les pays d'Europe, sauf la Grande-Bretagne, la Russie et la Turquie, ont adhéré à cette convention.

(Le texte de la C. I. peut se lire dans le *Bulletin de l'U. I. C.*, n° 3 de mars 1926).

La *Convention internationale sur le transport des voyageurs et des bagages par chemins de fer (C. I. V.)* a été élaborée à la Conférence de Berne en mai et juin 1923. (Un premier projet avait déjà été envisagé à Berne en 1911, mais n'avait pas eu de suite à cause de la guerre.) Cette convention à laquelle ont adhéré tous les pays d'Europe, sauf la Grande-Bretagne, la Russie et la Turquie, a été approuvée par la Conférence diplomatique de Berne du 23 octobre 1924 et elle a été ratifiée en France par la loi du 27 août 1926.

Cette convention a pour objet la codification uniforme des dispositions essentielles régissant le transport des voyageurs et des bagages dans la plupart des pays d'Europe. Elle se manifeste aux yeux des voyageurs par la création d'un « billet international » qui leur procure des facultés nouvelles sans leur enlever aucun droit.

Le texte de cette convention se trouve dans le *Bulletin de l'U. I. C.* n° 5 de mai 1926.

L'Association internationale du Congrès des chemins de fer est un or-

ganisme permanent d'études techniques, les bases en furent posées au congrès convoqué à Bruxelles.

Dans cette première réunion, de même que dans les sessions suivantes, les délégués s'occupèrent exclusivement de questions techniques ou administratives ayant pour but de faire progresser la science des chemins de fer. Les travaux des congrès sont répartis en cinq sections : 1° Voie et travaux ; 2° matériel et traction ; 3° exploitation ; 4° budget général ; 5° chemins de fer secondaires.

La commission permanente instituée par le premier congrès se réunit à Bruxelles le 20 février 1886.

L'un de ses premiers soins fut de rédiger un projet de statuts dont le texte définitif fut adopté à la session de Milan en 1887.

Dans la séance de clôture de la huitième session (Berne, 1910), où a été célébré le vingt-cinquième anniversaire de la fondation de l'Association, l'assemblée plénière avait décidé que la neuvième session aurait lieu à Berlin en 1915.

Les préparatifs de cette session étaient très avancés en 1914 quand se produisit la déclaration de guerre de l'Allemagne, ce qui eut pour conséquence de paralyser l'activité de l'association pendant près de cinq ans.

Après le retour du gouvernement belge, l'Association a été mise sous séquestre, parce qu'une partie de son avoir appartenait à des sujets des empires centraux et de leurs alliés.

Le séquestre ayant ordonné la dissolution et la liquidation de la société, les administrations de chemins de fer, membres effectifs de l'Association appartenant à trente-six pays d'Europe ou hors d'Europe, ont décidé de transmettre leur avoir à une association fondée exactement sur les mêmes bases qu'auparavant et dénommée : *Association internationale des chemins de fer*.

Le comité de direction, qui a reçu des membres effectifs pleins pouvoirs à cet effet, a mis ces résolutions à exécution.

Les statuts provisoires de l'association dissoute n'ont pas été modifiés. On s'est borné à y ajouter un article permettant d'étendre l'Association à d'autres pays, en suite d'un vote écrit de la commission permanente réunissant une majorité des trois quarts des membres.

Le gouvernement belge a, par arrêté royal du 15 septembre 1919, maintenu son adhésion et transféré à la nouvelle association tous les avantages accordés à sa devancière. Les gouvernements des pays auxquels s'étend l'Association ont également maintenu leur adhésion.

Comme première manifestation de la reprise de l'activité de l'association, le comité de direction a recommencé, depuis le mois de juillet 1919, la publication des éditions française et anglaise de son bulletin mensuel.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La neuvième session a eu lieu à Rome en avril 1922 et le pro-

gramme des questions mises à l'ordre du jour avant la guerre fut maintenu parce qu'elles n'avaient rien perdu de leur intérêt.

Les statuts définitifs de l'Association furent adoptés par le Congrès de Rome dans l'assemblée plénière du 27 avril 1922. Ils comportent en leur article 1^{er} le rétablissement de l'ancien titre : Association internationale du Congrès des chemins de fer.

La dixième session a été tenue à Londres, en 1925.

Les statuts ont été modifiés et complétés dans l'Assemblée plénière de cette session.

L'association se compose actuellement d'administration des chemins de fer d'État et d'administrations exploitant directement des chemins de fer d'intérêt public dans les pays auxquels elle s'étend.

Ces pays sont aujourd'hui :

Argentine.	Finlande.	Paraguay.
Belgique et Colonie.	France, Algérie, Tunisie.	Pays-Bas et Colonies.
Bolivie.	Colonies et Protectorats.	Pérou.
Bésil.	Grande-Bretagne et Nord	Pologne.
Bulgarie.	de l'Irlande.	Portugal et Colonies.
Chili.	Inde, Dominions, Protec-	Roumanie.
Chine.	torats et Colonies.	Salvador.
Costa-Rica.	Grèce.	Serbes, Croates et Slo-
Cuba.	Haiti.	vènes (Royaume des).
Danemark.	Italie.	Siam.
République Dominicaine.	Japon.	Suède.
Égypte.	Luxembourg.	Suisse.
Équateur.	Mexique.	Tchécoslovaquie.
Espagne.	Nicaragua.	Uruguay.
États-Unis d'Amérique.	Norvège.	

La commission permanente peut, par un vote écrit, à la majorité des trois quarts des voix de la totalité de ses membres, modifier provisoirement, et sous réserve de ratification par le prochain congrès, la liste des pays auxquels s'étend l'association et celle des organismes admis à en faire partie.

Elle statue sur les demandes d'admission de ces organismes et des Administrations de chemins de fer, sur le rapport écrit d'un membre désigné, dans chaque cas, par le président.

Les seules administrations de chemins de fer qui puissent être admises à faire partie de l'association, en dehors de celles qui l'ont constituée en 1922, sont celles qui ont pour objet principal l'exploitation de lignes à traction mécanique, gérées ou concédées par une autorité publique, ouvertes au service public et ayant au minimum 100 kilomètres de longueur exploitée et une recette moyenne de deux millions de francs par année.

Les administrations participantes peuvent nommer un nombre de délégués en rapport avec l'étendue de leur réseau, savoir :

- 1 délégué pour les exploitations ne dépassant pas 200 kilomètres;
- 2 délégués pour les exploitations de 200 à 500 kilomètres;
- 1 délégué en plus par 500 kilomètres ou par fraction de 500 kilomètres en sus de 500 jusqu'à 3.000 kilomètres;
- 1 délégué en plus par 1.000 kilomètres ou par fraction de 1.000 kilomètres en sus de 3.000 jusqu'à 6.000 kilomètres;
- 1 délégué en plus par 2.000 kilomètres ou fraction de 2.000 kilomètres en sus de 6.000 jusqu'à 10.000 kilomètres;
- 1 délégué en plus par 4.000 kilomètres ou fraction de 4.000 kilomètres en sus de 10.000 kilomètres.

Les gouvernements des pays auxquels l'association s'étend peuvent adhérer à l'association.

Peuvent être admis à y adhérer également les organismes internationaux dont l'objet se rapporte essentiellement à l'exploitation des chemins de fer ainsi que les unions nationales groupant des administrations exploitant au minimum 5.000 kilomètres de chemins de fer ne faisant pas partie de l'association.

Les gouvernements et les organismes adhérents peuvent nommer des délégués au nombre de dix au plus à raison d'un délégué par 100 francs-or de cotisation jusqu'à 500 francs-or et d'un délégué en sus par 250 francs-or de cotisation au delà de 500 francs-or.

L'association est représentée par une commission permanente qui est élue par elle et qui a son siège à Bruxelles. Cette commission se compose des anciens présidents de session, membres de droit et de membres élus dont le nombre est fixé par chaque congrès; elle a pour président : M. E. Foulon, directeur général de la Société nationale des Chemins de fer belges, et pour secrétaire général M. P. L. N. Ghilain, ingénieur principal aux mêmes chemins de fer, président de la commission de réception du matériel et des approvisionnements.

Dans la première séance qui suit un Congrès, la commission permanente délègue trois de ses membres qui forment avec le président et les vice-présidents de la commission, un comité de direction. Le comité est chargé spécialement de l'expédition des affaires courantes, de la gestion des finances, ainsi que de la surveillance et de la direction de tous les travaux, études et publications, de la rédaction du bulletin, de la conservation de la bibliothèque et des archives.

Le tableau ci-après donne la liste des sessions tenues par l'association avec, pour chacune d'elles, le nombre des gouvernements adhérents et des administrations de chemins de fer participantes, l'étendue des chemins de fer représentés et le nombre des délégués.

SESSIONS	GOUVERNEMENTS	NOMBRE de réseaux	KILOMÉTRAGE	NOMBRE DE DÉLÉGUÉS	
				désignés	présents
1 Bruxelles..... 1885	19	131	50.000	361	229
2 Milan..... 1887	26	165	53.857	413	332
3 Paris..... 1889	34	208	168.339	675	591
4 St-Petersbourg. 1892	47	262	207.420	788	374
5 Londres..... 1895	43	326	276.427	1.048	793
6 Paris..... 1900	48	338	336.345	1.265	911
7 Washington.... 1905	44	409	508.004	1.206	582
8 Berne..... 1910	48	420	579.125	1.370	799
9 Rome..... 1922	39	267	399.000	845	637
10 Londres..... 1925	39	239	503.680	951	754

Le *Bulletin* mensuel de l'association contient, outre des articles originaux sur toutes les questions concernant spécialement la technique, l'exploitation et l'organisation des chemins de fer, des reproductions des articles les plus intéressants parus dans les revues de chemins de fer du monde entier et des comptes rendus détaillés des ouvrages traitant des questions de chemins de fer.

Le *Bulletin* contient aussi tous les exposés des questions traitées dans les sessions de l'association, ainsi que les comptes rendus complets des discussions.

Édité en langue française depuis son origine, en 1887, le *Bulletin* possède une édition anglaise depuis 1896.

L'assemblée générale du Congrès de Londres a, dans sa séance du 1^{er} juillet 1925, décidé de tenir sa prochaine session à Madrid, en 1930.

V. — UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER

Nous arrivons enfin à l'organisation internationale la plus récente, mais la plus importante et la plus active, il s'agit de l'Union internationale des chemins de fer (U. I. C.).

L'idée de la création de cette union a été émise à la conférence de Porto-Rose, en 1921, puis reprise à la conférence de Gênes où la Commission internationale économique dite « des transports » a émis le vœu, adopté par la conférence en séance plénière, le 3^e mai 1922, « que les administrations des chemins de fer français convoquent, aussitôt que possible, toutes les mesures possibles pour rétablir le trafic international dans des conditions au

moins aussi satisfaisantes qu'avant la guerre, une conférence de représentants techniques de toutes les administrations de chemins de fer d'Europe et d'autres pays intéressés ».

Cette réunion avait pour objet de tendre à établir une collaboration aussi étroite que possible, entre les administrations intéressées, sans rien sacrifier de l'autonomie des divers réseaux et sans empiéter sur les attributions des associations internationales existantes.

Convoquée par le Comité de direction des grands réseaux de chemins de fer français, la conférence prévue par cette résolution s'est réunie à Paris, le 17 octobre 1922. Vingt-sept pays et quarante-six administrations de chemins de fer d'Europe et d'Asie y étaient représentés. A cette conférence, fut décidée la constitution d'un organisme permanent, chargé d'établir et d'assurer entre les diverses administrations de chemins de fer la collaboration souhaitée par la conférence de Gênes en vue du rétablissement et de l'amélioration du trafic international. Les statuts de cette union furent approuvés en séance plénière, le 20 octobre 1922, et l'union est entrée en existence le 1^{er} décembre 1922.

Organes de l'U. I. C. — Les organes essentiels de l'U. I. C. sont :

1^o Des *organes de gestion* qui comprennent :

a) L'Assemblée générale des membres de l'Union qui se réunit périodiquement ;

b) Le comité de gérance, qui se réunit deux fois par an, avec le secrétariat général de l'union qui est permanent et a son siège à Paris. Les pays appelés à fournir les membres du comité de gérance sont désignés pour dix ans par l'assemblée générale.

2^o Des *organes d'études* constitués par cinq commissions permanentes :

1^o Commission du « Trafic-voyageurs » ;

2^o Commission du « Trafic-marchandises » ;

3^o Commission des « décomptes et changes » ;

4^o Commission d'« échange du matériel roulant » ;

5^o Commission des « questions techniques ».

Ces commissions sont constituées par les administrations de divers pays nommées pour cinq ans par l'assemblée générale.

Les commissions, qui peuvent désigner des sous-commissions pour l'élaboration de conclusions, résument leurs travaux dans des décisions qui sont soumises par le comité de gérance à l'assemblée générale.

Celle-ci ratifie ces décisions qui deviennent obligatoires pour les membres de l'Union, sous réserves de l'approbation des autorités administratives ou gouvernementales des divers pays si l'objet de la décision l'exige. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Rapport de l'U. I. C. avec les autres organisations internationales. — Les commissions se réunissent annuellement.

Une commission spéciale a été chargée dès l'origine d'étudier les rapports de l'U. I. C. avec les organisations internationales existantes et que nous avons citées plus haut. Cette commission s'est réunie à Berne en juin 1923. Elle a émis les conclusions résumées ci-dessous.

1° Vis-à-vis des organisations entre États, l'U. I. C. ne peut agir que par suggestion : mais l'Union étudiera toutes les améliorations désirables et portera le résultat de ses études à la connaissance des organes compétents ;

2° Vis-à-vis des organisations entre administrations de chemins de fer, il est nécessaire de coordonner les efforts entre celles-ci et l'Union et d'éviter les contradictions ; à cet effet, les administrations de l'U. I. C. qui font partie de ces organisations donneront à leurs délégués les instructions nécessaires pour que l'U. I. C. soit tenue au courant de leurs travaux.

Les commissions se sont réunies en juin 1923 à Vienne, pour les « questions techniques » et le « trafic-voyageurs », à Berne pour le « trafic-marchandises » et pour l'« échange du matériel roulant », à Prague pour les « décomptes et changes », en avril et mai 1924, à Florence pour toutes les commissions, en mai 1925, à Munich et en mai 1926 à Séville.

La dernière session a eu lieu en juin 1927, à Stockholm.

Le secrétariat général a son siège à Paris, 24, rue Georges-Bizet (16^e).

Le comité de gérance a pour administration présidente la France et comprend l'Allemagne, la Grande-Bretagne, l'Italie, l'Autriche (qui représente aussi la Bulgarie, et les chemins de fer orientaux), la Belgique, la Pologne (qui représente en outre l'Esthonie, la Lettonie), la Roumanie (qui représente aussi la Yougo-Slavie), la Suède (représentant du groupe Danemark, Finlande, Norvège, Suède), la Suisse, la Tchéco-Slovaquie et l'U. R. S. S.

Les administrations-présidentes des commissions sont

- 1° Pour le trafic-voyageurs, l'Allemagne ;
- 2° Pour le trafic-marchandises, la Suisse ;
- 3° Pour les décomptes et changes, la Belgique ;
- 4° Pour l'échange du matériel roulant, l'Italie ;
- 5° Pour les questions techniques, la France.

Les commissions ont déjà abouti à de nombreuses conclusions, en particulier, la commission des questions techniques a résolu, entre autres, la question si importante du frein continu qui est actuellement soumise à l'unité technique et elle procède à la révision de l'unité technique des chemins de fer.

La commission du trafic-voyageurs a arrêté la forme d'un tarif international IRIS-LILLIAD. Université Lille 1 conditions de la convention internationale pour le transport des voyageurs.

D'autre part, fonctionne à Bruxelles, depuis le 1^{er} janvier 1925, le Bureau de compensation des soldes (B. C. C.) qui a été l'aboutissement de travaux entrepris par la commission des décomptes et changes et qui s'est substitué au Bureau international de compensation des soldes dont la formation avait été décidée à Amsterdam en 1924 par le Comité international des transports.

Ce bureau ne cherche pas à se substituer aux nombreux organismes de liquidation déjà existants, mais pouvant tous les accueillir dans son organisation, il s'offre à se superposer à eux pour balancer les soldes et établir une compensation générale favorisant les règlements de comptes issus d'un échange de matériel de plus en plus important, même entre des pays n'ayant aucun rapport immédiat au point de vue trafic. Cet aperçu de quelques travaux de l'Union pris parmi le nombre déjà considérable des questions qui ont figuré à son ordre du jour montre le degré et l'universalité de son activité ainsi que l'importance du rôle qu'elle doit certainement jouer dans l'avenir pour toutes les relations internationales.

L'organe de l'Union est le *Bulletin de l'U. I. C.* publié par le secrétariat général qui renseigne sur tous les actes officiels des commissions et du comité de gérance de l'Union (G. Ficker, éditeur, Paris).

NOTE SUR L'AMÉLIORATION DU GABARIT PASSE-PARTOUT

Au cours de sa réunion d'avril 1924, la Commission des questions techniques (V^e Commission) de l'Union internationale des Chemins de fer a constitué une sous-commission présidée par la Belgique (M. Ronsse) et comprenait l'Allemagne, l'Autriche, la France et la Tchécoslovaquie dans le but « d'étudier un gabarit de voies plus large que le gabarit actuel, à observer dans l'avenir par les administrations ».

Cette sous-commission a établi un projet de gabarit qui ne diffère du gabarit passe-partout de l'Unité technique (Rédaction 1913) que par sa largeur, qui a été portée de 3^m,100 à 3^m,150; cette augmentation de largeur peut donc procurer un élargissement de 50 millimètres des véhicules établis conformément aux règles de l'Unité technique de 1913.

Ce projet a été approuvé par la V^e commission dans sa réunion de Séville (mai 1926), mais en raison de quelques observations présentées par les chemins de fer allemands, les chemins de fer de l'État polonais, et les chemins de fer de l'U. R. S. S., le Comité de gérance de l'U. I. C. a chargé la V^e commission de reprendre l'examen de la question. Finalement, le projet de gabarit présenté à Séville a été adopté par la V^e commission à Stockholm (juin 1927).

Le Comité de gérance de l'U. I. C. a prescrit comme suit les conditions de son application :

« Il sera adopté, à compter du 1^{er} janvier 1931, le gabarit passe-partout dont le croquis était joint au procès-verbal de la réunion du 16 février 1926 de la sous-commission.

« Les administrations de l'Union internationale des chemins de fer feront connaître, avant le 1^{er} janvier 1931, les lignes ou tronçons de lignes qui seront interdits au matériel répondant à ce gabarit passe-partout ».

Toutefois le Comité de gérance a chargé la V^e commission de « poursuivre l'étude en cherchant l'amélioration des formules de réduction dans les courbes, dans le but de permettre, si possible, la circulation des voitures plus larges ».

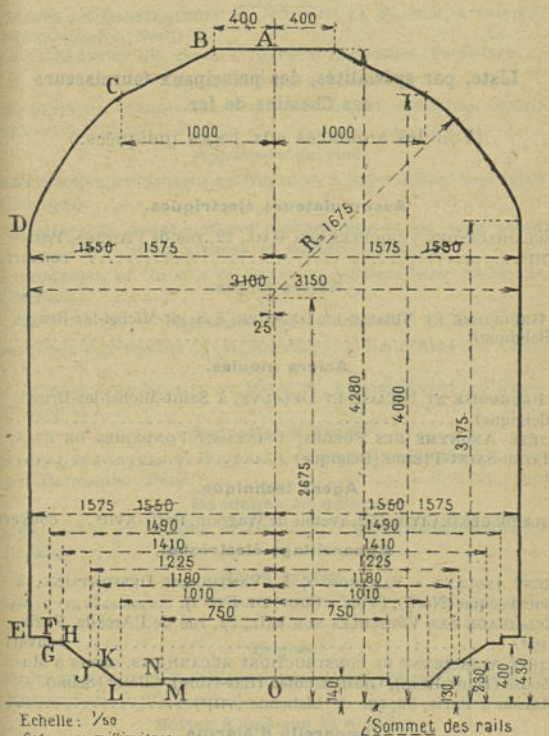
Cette étude fait actuellement l'objet d'un examen de la part de la sous-commission Ronsse, et la délégation française a proposé à ce sujet de remplacer la condition actuelle de l'Unité technique :

« En aucun point, les véhicules placés dans la position la plus défavorable, en courbe de 250 mètres de rayon, sur une voie à 1^m,465 d'écartement, ne doivent faire sur le gabarit passe-partout une saillie supérieure à 100 millimètres ».

« En aucun point, les véhicules placés dans la position la plus dé-

favorable, en courbe de 300 mètres de rayon, sur une voie à 1^m,460 d'écartement, ne doivent faire sur le gabarit passe-partout une saillie supérieure à $k = 0^m,075$ ».

Cette étude se poursuit au sein de la sous-commission Ronsse.



PARTIE COMMERCIALE

Liste, par spécialités, des principaux fournisseurs des Chemins de fer.

(Voir les annonces aux pages indiquées.)

Pages.

Accumulateurs électriques.

L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris-VIII ^e	couvert. 11
--	-------------

Aciers forgés.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
---	---

Aciers moulés.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES FORGES, USINES ET FONDERIES DE ET A HAINE-SAINT-PIERRE (Belgique)	4

Agent technique.

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL, 152, avenue de Wagram, Paris-XVII ^e ..	couvert. 1
---	------------

Appareillage électrique.

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bonsbecque (Nord), (Voir « COUP. DE FEU »).....	12
L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris-VIII ^e	couvert. 2
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, usines à Mulhouse (Haut-Rhin), Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII ^e).....	5

Appareils d'alarme.

COMPAGNIE IRIS-FREINS WESTINGHOUSE, 21, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
--	----

Pages.

Appareils d'enclenchements.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
---	----

Appareils de levage et de manutention.

ATELIERS DE CONSTRUCTION DU NORD DE LA FRANCE, à Crespin, Blanc-Misseron (Nord)	3
MARCEL SEBIN ET C ^{ie} , chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-IX ^e	9

Appareils de sécurité.

COMPAGNIE DES FREINS WESTINGHOUSE, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
---	----

Appareils de voie.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
---	---

Ateliers de constructions mécaniques et de réparations (Fournitures et matériel pour).

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
---	---

Attelages des véhicules.

COMPAGNIE DES FREINS WESTINGHOUSE, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6

Baguettes à braser.

SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRÉS A SOUDER J. LAFFITTE, 102, avenue Parmentier, Paris.....	garde IV.
---	-----------

Bandages en acier.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
---	---

Block-system.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
---	----

Bogies.

SOCIÉTÉ DE LOCATION DES WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ, 24, rue du Rocher, Paris-VIII ^e	7
---	---

Boîtes à graisse et à huile.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris.....	8
---	---

	Pages
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES FORGES, USINES ET FONDERIES DE ET A HAINE-SAINT-PIERRE (Belgique).....	4
Bois divers.	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS ARMAND BEAUMARTIN, 33, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde).....	garde III
Brasure.	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, avenue Parmentier, Paris.....	garde IV
Brouettes.	
ATELIERS DE CONSTRUCTION DU NORD DE LA FRANCE, à Crespin, Blanc-Misseron (Nord).....	3
Buttoirs.	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
Chaînes.	
MARCEL SEBIN ET C ^{ie} , chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI ^e	9
Charriots électriques.	
SOCIÉTÉ DES FREINS JOURDAIN-MONNERET, 30, rue Claude-Decaen, Paris-XII ^e	garde II
Chauffage des bâtiments.	
ÉTABLISSEMENT MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris-X ^e	8
Chauffage des voitures.	
L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris-VIII ^e	couvert. 2
COMPAGNIE DES FREINS WESTINGHOUSE, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
ÉPERVIER, GILLET ET C ^{ie} , 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV ^e	9
SOCIÉTÉ DES FREINS JOURDAIN-MONNERET, 30, rue Claude-Decaen, Paris-XII ^e	garde 2
Compresseurs.	
COMPAGNIE DES FREINS WESTINGHOUSE, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11

	Pages.
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
Connecteurs.	
FAURIS (Ch.) 81, rue d'Inkermann, à Lyon (Rhône).....	6
Conservation des bois.	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS ARMAND BEAUMARTIN, 33, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde).....	garde III
Criqs.	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, usines à Mulhouse (Haut-Rhin), Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII ^e).....	5
Croisements de voies.	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez Bruges (Belgique).....	6
Déchargement automatique.	
SOCIÉTÉ DE LOCATION DES WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ, 24, rue du Rocher, Paris-VIII ^e	7
Disques.	
ÉPERVIER, GILLET ET C ^{ie} , 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV ^e	9
Draisines.	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ANCIENS ÉTABLISSEMENTS BILLARD ET C ^{ie} , 21, rue du Rempart, Tours (Indre-et-Loire).....	carton 1
CAMPAGNE, 45, boulevard de Belleville, Paris-XI ^e	garde I
Dynamos.	
CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord), (Voir « COUP DE FEU »).....	12
L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris-VIII ^e	couvert. 2
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Usines à Mulhouse (Haut-Rhin), Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII ^e).....	5
Éclairage des bâtiments.	
ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris-X ^e	8
ÉPERVIER, GILLET ET C ^{ie} , 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV ^e	9

Éclairage des travaux.

ÉPERVIER, GILLET ET C¹e, 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV^e..... 9

Éclairage des wagons.

ÉPERVIER, GILLET ET C¹e, 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV^e..... 9
L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris-
VIII^e..... couvert. 2

Éccles spéciales.

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL ET DE NAVIGATION, 152, avenue Wagram,
Paris-XVII^e..... couvert. 1

Éjecteurs.

COMPAGNIE DES FREINS WESTINGHOUSE, 23, rue d'Athènes, Paris-
IX^e..... 11
SOCIÉTÉ DES FREINS JOURDAIN-MONNERET, 30, rue Claude-Decaen,
Paris-XII^e..... garde II

Enclenchements.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-
IX^e..... 11

Essieux.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges
(Belgique)..... 6
SOCIÉTÉ ANONYME DES FORGES, USINES ET FONDERIES DE ET A
HAINE-SAINT-PIERRE (Belgique)..... 4

Excavateurs.

MARCEL SEBIN ET C¹e, chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI^e.... 9

Ferrures de wagons.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges
(Belgique)..... 6

Fournitures générales pour usines.

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à
Bousbecque (Nord), (Voir « GOUP DE FEU »)..... 12

Fontes.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg
Poissonnière, Paris-X^e..... 8

Fourgons.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges
(Belgique)..... 6

Freins.

COMPAGNIE DES FREINS WESTINGHOUSE, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11
SOCIÉTÉ DES FREINS JOURDAIN-MONNERET, 30, rue Claude-Decaen, Paris-XII ^e	garde 11

Galets.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris-X ^e	8
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6

Graisseurs.

SOCIÉTÉ DES FREINS JOURDAIN-MONNERET, 30, rue Claude-Decaen, Paris-XII ^e	garde 11
---	----------

Grues.

MARCEL SEBIN ET C ^{ie} , chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI ^e	9
--	---

Grues hydrauliques.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris-X ^e	8
---	---

Ingénieurs.

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL ET DE NAVIGATION, 152, avenue Wagram, Paris-XVII ^e	couvert. 1
--	------------

Instruments de dessins.

DARNAY (F.), 1, rue Coypel, Paris-XIII ^e	garde 1
---	---------

Lanternes et Falots.

ÉPERVIER, GILLET ET C ^{ie} , 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV ^e	9
---	---

Linoléum.

DOUCE ET MOULIN, 64, rue Petit, Paris-XIX ^e	1
--	---

Locomotives.

ATELIERS DE CONSTRUCTION DU NORD DE LA FRANCE, à Crespin, Blanc-Misseron (Nord).....	3
SOCIÉTÉ ANONYME DES FORGES, USINES ET FONDERIES DE ET A HAINE-SAINT-PIERRE (Belgique).....	4

Locomotives électriques.

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord), (Voir « COUP DE FEU »).....	12
MARCEL SEBIN ET C ^{ie} , chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI ^e	9

Locomotives à pétrole.

MARCEL SEBIN ET C^{ie}, chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI^e. 9

Locotracteurs.

CAMPAGNE, 45, boulevard de Belleville, Paris-XI^e. garde 1

Machines outils.

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, usines à Belfort (Haut-Rhin), Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII^e). 5

Machines à vapeur.

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, usines à Belfort (Haut-Rhin), Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII^e). 5

Matériel de chemins de fer d'intérêt local.

L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris-VIII^e. couvert. 2

Matériel électrique.

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord), (Voir « COUP DE FEU »). 12

L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris-VIII^e. couvert. 2

Matériel d'entrepreneur.

SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS ARMAND BEAUMARTIN, 33, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde). garde III

Matériel roulant.

SOCIÉTÉ DE LOCATION DES WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ, 24, rue du Rocher, Paris-VIII^e. 7

Meubles à plans.

DARNAY (F.), 1, rue Coypel, Paris-XIII^e. garde 1

Moteurs électriques.

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord), (Voir « COUP DE FEU »). 12

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Usines à Mulhouse (Haut-Rhin), Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII^e). 5

Moteurs à gaz.

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Usines à Mulhouse (Haut-Rhin), Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII^e). 5

Normographe.	
DARNAY (F.), 1, rue Coypel, Paris-XIII ^e	garde 4
Papiers peints.	
GERMAIN (A.), 86, rue de la Guillotière, à Lyon (Rhône).....	8
Parquet de wagons.	
DOUCE ET MOULIN, 64, rue Petit, Paris-XIX ^e	1
GERMAIN (A.), 86, rue de la Guillotière, à Lyon (Rhône).....	8
Pâtes à braser.	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, avenue Parmentier, Paris.....	garde IV
Pétards.	
ÉTABLISSEMENTS RUGGIERI, 21, rue Ballu, Paris-IX ^e	2
Pièces de forges.	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
Plaques et poudres à braser.	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, avenue Parmentier, Paris.....	garde IV
Plaques et poudres à souder.	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, avenue Parmentier, Paris.....	garde IV
Plaques tournantes.	
ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris-X ^e	8
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
Ponts et ponts à bascule.	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
Ponts-roulants.	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
MARCEL SEBIN ET C ^{ie} , chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI ^e	9
Ponts-tournants.	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
Postes électriques.	
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-IX ^e	11

Poteaux télégraphiques.

SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS ARMAND BEAUMARTIN, 33,
rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde)..... garde III

Pylônes métalliques.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg
Poissonnière, Paris-X^e 8

Réfecteurs.

ÉPERVIER, GILLET ET C^{ie}, 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV^e..... 9

Réservoirs.

ÉPERVIER, GILLET ET C^{ie}, 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV^e..... 9

Ressorts.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges
(Belgique)..... 6

Robinetterie.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg
Poissonnière, Paris-X^e 8

Roues.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg-
Poissonnière, Paris-X^e 8

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges
(Belgique)..... 6

Sablières.

COMPAGNIE DES FREINS WESTINGHOUSE, 23, rue d'Athènes, Paris-
IX^e..... garde II

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg
Poissonnière, Paris-X^e..... 8

SOCIÉTÉ DES FREINS JOURDAIN-MONNERET, 30, rue Claude-Decaen,
Paris-XII^e..... garde II

Sabots et freins.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg
Poissonnière, Paris-X^e 8

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges
(Belgique)..... 6

Signaux.

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE SIGNALISATION, 23, rue d'Athènes, Paris-
IX^e..... 11

ÉPERVIER, GILLET ET C^{ie}, 32, boulevard Henri-IV, Paris-IV^e..... 9

Soudure.

Pages.

SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POWDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, avenue Parmentier, Paris..... garde IV

Tables à dessin.

DARNAY (F.), 1, rue Coypel, Paris-XIII^e..... garde 1

Tableaux de distribution.

SOCIÉTÉS ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, Usines à Mulhouse (Haut-Rhin); Graffenstaden (Bas-Rhin), Clichy (Seine).
— Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII^e)..... 5

Tachéomètres.

ÉTABLISSEMENTS SANGUET, 31, rue Monge, Paris-V^e..... garde II

Tampons.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique)..... 6

Tenders.

ATELIERS DE CONSTRUCTION DU NORD DE LA FRANCE, à Crespin, Blanc-Misseron (Nord)..... 3

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique)..... 6

SOCIÉTÉ DE LOCATION DES WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ, 24, rue du Rocher, Paris-VIII^e..... 7

Théodolites.

ÉTABLISSEMENTS SANGUET, 31, rue Monge, Paris-V^e..... garde II

Topographie (Appareils de).

ÉTABLISSEMENTS SANGUET, 31, rue Monge, Paris-V^e..... garde II

CAMPAGNE, 45, boulevard de Belleville, Paris-XI^e..... garde I

Tracteurs.

SOCIÉTÉ ANONYME DES ANCIENS ÉTABLISSEMENTS BILLARD ET C^{ie}, 21, rue du Rempart, Tours (Indre-et-Loire)..... carton 1

SOCIÉTÉ DES FREINS JOURDAIN-MONNERET, 30, rue Claude-Decaen, Paris-XII^e..... garde II

Transporteurs.

MARCEL SEBIN ET C^{ie}, chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI^e.... 9

Traverses.

SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS ARMAND BEAUMARTIN, 33, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde)..... garde III

Trucks.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique)..... 6

Tuyauteries.

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris-X ^e	8
--	---

Ventilateurs.

L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris- VIII ^e	couvert. 2
--	------------

Voitures et wagons.

ATELIERS DE CONSTRUCTION DU NORD DE LA FRANCE, à Crespin, Blanc-Misseron (Nord).....	3
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ DE LOCATION DES WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ, 24, rue du Rocher, Paris-VIII ^e	7
SOCIÉTÉ ANONYME DES FORGES, USINES ET FONDERIES DE ET A HAINE-SAINT-PIERRE (Belgique).....	4

Wagons (pièces détachées pour).

ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES A. DURENNE, 26, Faubourg Poissonnière, Paris-X ^e	8
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges, (Belgique).....	6
L'ÉCLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAIL, 22, rue de l'Arcade, Paris- VIII ^e	couvert. 2
SOCIÉTÉ DE LOCATION DES WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ, 24, rue du Rocher, Paris-VIII ^e	7

Wagons-réservoirs.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ DE LOCATION DES WAGONS DE GRANDE CAPACITÉ, 24, rue du Rocher, Paris-VIII ^e	7

Société Anonyme des Anciens Établissements

BILLARD & C^{IE}

Ingénieurs-Constructeurs

21, Rue du Rempart -:- TOURS (I.-et-L.)

DRAISINES

tous écartements
toutes puissances
toutes carrosseries



TRACTEURS

d'embranchement
et de manutention

Le plus d'Appareils en service

Les plus belles références

LE MOTEUR BALLOT

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La publicité dans les **AGENDAS DUNOD**



COLLECTION D'AIDE-MÉMOIRE
FONDÉE EN 1878

ASSURANCES

par P. Véron & F. Pourcheyrou
CONSTRUCTION AUTOMOBILE
par G. Lienhard de la Vie Automobile

BANQUE

par H. Dufayel, Prof. de Comptab.
BATIMENT

E. Aucamus, Ing. A. & M.

rev. par Ph. Rousseau, Ing. Cons.

BÉTON ARMÉ

par V. Forestier, Ing. const. (A. & M.)

CHEMINS DE FER

par P. Place, Ing. ppol. à l'O.C.M.

CHIMIE

par E. Javet, Ingén. Chimiste

COMMERCE

par G. Lemaucien, Exp. pr. Trib. Rouen

CONSTRUCTION MÉCANIQUE

par J. Izart, Ingénieur Civil des Mines

ELECTRICITÉ

par L. D. Fourcault, Ing. Conseil.

MÉTALLURGIE

par L. Dezcroix, Ingénieur Conseil

rev. par A. Roux, Ingénieur ECP

MINES

par J. Roux-Brahic, Ing. Civil des Mines

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

par J. Izart, Ingénieur Civil des Mines

TRAVAUX PUBLICS

par E. Aucamus, Ing. A. & M.

VENTE ET PUBLICITÉ

par E. Rachinel, Insp. de l'enz. Tech.,

& M. Buisson, chef de publicité



vous assure :

la plus large ►
◀ ◀ ◀ diffusion

les « Agendas Dunod », depuis 1878, ayant une place dans tous les bureaux d'études et dans la poche des ingénieurs, chefs d'entreprises, et hommes d'affaires.

les meilleurs ►
◀ ◀ ◀ résultats

puisque l'annonce insérée passe à tout moment sous les yeux du lecteur à la recherche d'une formule technique.

une grande ► ►
◀ ◀ ◀ économie

parce que vous payez au plus bas prix, une publicité circulant partout où elle doit agir mais pas au delà des milieux que vous avez choisis.

Demandez le Tarif

1907 B.

LES AGENDAS DUNOD

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

92, RUE BONAPARTE (VI^e). T. LITRE 33-43, 45



ARITHMÉTIQUE.

Proportions.

$$a : b :: c : d, \frac{a}{b} = \frac{c}{d}, a = \frac{b \times c}{d}, ad = bc, \frac{a \pm b}{b} = \frac{c \pm d}{d},$$

$$\frac{a \pm c}{b \pm d} = \frac{a}{b} = \frac{c}{d}, \frac{a^n}{b^n} = \frac{c^n}{d^n}, \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} = \frac{\sqrt{c}}{\sqrt{d}}.$$

Progressions.

Progression arithmétique ou par différence. — La différence d'un terme quelconque avec le précédent est constante; cette différence prend le nom de *raison*. Soient a le premier terme; r , la raison; n , le nombre de termes.

On a : $a . a + r . a + 2r . a + 3r \dots a + (n - 1)r$

la valeur du dernier terme est : $t = a + (n - 1)r$,

la somme des n premiers termes, $s = \frac{a + t}{2} n$

la raison de la progression formée en insérant m moyennes entre a et t :

$$r = \frac{t - a}{m + 1}.$$

Progression géométrique ou par quotient. — Le rapport d'un terme quelconque au précédent est constant; ce rapport prend le nom de *raison*. Soient a le premier terme; q , la raison; n , le nombre de termes.

On a :

$$a . aq . aq^2 . aq^3 \dots aq^{n-1}$$

la valeur du dernier terme est $t = aq^{n-1}$

la somme des n premiers termes, $s = a \frac{q^n - 1}{q - 1}$

si la progression est croissante, et

$$s = a \frac{1 - q^n}{1 - q} \text{ si la progression est décroissante;}$$

la raison de la progression formée en insérant m moyennes entre a et t ,

$$q = \sqrt[m+1]{\frac{t}{a}}.$$

Sommes de quelques progressions. — La somme des n premiers nombres de 1 à n .

$$1 + 2 + 3 + 4 + \dots + (n - 1) + n = \frac{(1 + n)n}{2}.$$

La somme des n premiers nombres impairs de 1 à $(2n - 1)$,

$$1 + 3 + 5 + 7 + \dots + (2n - 3) + (2n - 1) = n^2$$

La somme des n premiers nombres pairs jusqu'à $2n$,

$$2 + 4 + 6 + 8 + \dots + (2n - 2) + 2n = (1 + n)n,$$

La somme des carrés des n premiers nombres,

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \dots + (n - 1)^2 + n^2 = \frac{n(n + 1)(2n + 1)}{6}.$$

(C'est la formule qui permet de calculer le poids de boulets en forme de pyramide à base quadrangulaire.)

TRIGONOMÉTRIE

FORMULES GÉNÉRALES

$$\sin^2 a + \cos^2 a = 1.$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin a}{\cos a}$$

$$\operatorname{cotg} a = \frac{\cos a}{\sin a}$$

$$\sin(a+b) = \sin a \cos b + \sin b \cos a$$

$$\sin(a-b) = \sin a \cos b - \sin b \cos a$$

$$\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

$$\cos(a-b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$$

$$\operatorname{tg}(a+b) = \frac{\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} b}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$$

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2},$$

$$\sin a + \sin b = 2 \sin \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2},$$

$$\operatorname{tg}(a-b) = \frac{\operatorname{tg} a - \operatorname{tg} b}{1 + \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$$

$$\sin 2a = 2 \sin a \cos a$$

$$\cos 2a = \cos^2 a - \sin^2 a$$

$$\operatorname{tg} 2a = \frac{2 \operatorname{tg} a}{1 - \operatorname{tg}^2 a}$$

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos a}{2}}$$

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos a}{2}}$$

$$\cos a - \cos b = -2 \sin \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2},$$

$$\sin a - \sin b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2}.$$

RÉSOLUTION DES TRIANGLES

Triangles rectangles

$$A = 90^\circ$$

$$b = a \sin B, \quad c = a \sin C$$

$$a = \sqrt{b^2 + c^2}$$

$$\log b = \log a + \log \sin B$$

$$\log c = \log a + \log \sin C$$

$$B = 90^\circ - C$$

Triangles obliques

$$a = \frac{b \sin A}{\sin B} = \frac{c \sin A}{\sin C}, \quad b = \frac{a \sin B}{\sin A} = \frac{c \sin B}{\sin C}, \quad c = \frac{a \sin C}{\sin A} = \frac{b \sin C}{\sin B}$$

Premier cas. — On donne a, B et A .

$$C = 180 - (A + B) \quad \log c = \log a + \log \sin C - \log \sin A.$$

$$\log b = \log a + \log \sin B - \log \sin A.$$

Deuxième cas. — On donne a, b et C : $\frac{A+B}{2} = 90^\circ - \frac{C}{2}$

$$\log \operatorname{tg} \frac{(A-B)}{2} = \log(a-b) + \log \cot \frac{C}{2} - \log(a+b)$$

$$\log c = \log a + \log \sin C - \log \sin A.$$

Troisième cas. — On donne a, b et c [$a + b + c = 2p$]

$$\log \operatorname{tg} \frac{A}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-b) + \log(p-c) - \log p - \log(p-a)]$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{B}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-a) + \log(p-c) - \log p - \log(p-b)]$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{C}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-a) + \log(p-b) - \log p - \log(p-c)]$$

Facteurs usuels

$e =$ base des logarithmes népériens. $Lx = \frac{\log x}{\log e}$

$e = 2,718282,$	$\log e = 0,43429,$	$\frac{1}{e} = 0,367879,$	$\frac{1}{\log e} = 2,30259$
$\pi = 3,141592$	$\log \pi = 0,49715$	$\frac{1}{\pi} = 0,318310$	$\log \frac{1}{\pi} = \bar{1},50285$
$\pi^2 = 9,869604$	$\log \pi^2 = 0,99430$	$\frac{1}{\pi^2} = 0,101321$	$\log \frac{1}{\pi^2} = \bar{1},00570$
$\pi^3 = 31,006276$	$\log \pi^3 = 1,49145$	$\frac{1}{\pi^3} = 0,032252$	$\log \frac{1}{\pi^3} = \bar{2},50855$
$\sqrt{\pi} = 1,772454$	$\log \sqrt{\pi} = 0,24857$	$\sqrt[3]{\pi} = 1,464592$	$\log \sqrt[3]{\pi} = 0,16572$
$\frac{2}{\pi} = 0,636620$	$\frac{\pi}{2} = 1,570796$	$\frac{3}{\pi} = 0,954929$	$\frac{\pi}{3} = 1,047197$

$g,$ accélération d'un corps qui tombe dans le vide.

Valeur de g à Paris 9,80896 ou plus simplement 9,809 ; au pôle, 9,831 ; à l'équateur, 9,781 ; à Rome, 9,803.

$g = 9,80896$	$\log g = 0,99162$	$g^2 = 96,21569$	$\log g^2 = 1,98324$
$\frac{1}{g} = 0,10194$	$\log \frac{1}{g} = \bar{1},00838$	$\frac{1}{g^2} = 0,01039$	$\log \frac{1}{g^2} = \bar{2},01675$
$2g = 19,61792$	$\log 2g = 1,29265$	$\sqrt{g} = 3,13193$	$\log \sqrt{g} = 0,49581$
$\frac{1}{2g} = 0,05097$	$\log \frac{1}{2g} = \bar{2},70735$	$\frac{1}{\sqrt{g}} = 0,31929$	$\log \frac{1}{\sqrt{g}} = \bar{1},50419$
$2\sqrt{g} = 6,26386$	$\log 2\sqrt{g} = 0,79684$	$\sqrt{2g} = 4,42921$	$\log \sqrt{2g} = 0,64633$

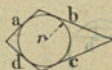
GÉOMÉTRIE

SURFACES



$$\sqrt{(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}$$

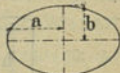
$$p = \frac{a+b+c+d}{2}$$



$$pr$$



$$\frac{1}{2} mn \sin \alpha$$



Ellipse
 πab

SURFACES (suite)

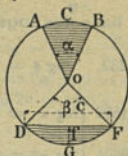


Triangle

$$1^{\circ} \frac{a h}{2} \quad 2^{\circ} \frac{a b c}{4 R} \quad 3^{\circ} p^2$$

$$p = \frac{a + b + c}{2}$$

$$\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$



Cercle, $\pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 D^2$

Secteur circulaire :
 $\frac{\text{arc } ACB \times R}{2}$ ou $\frac{\pi R^2 \alpha}{360}$

α = nombre de degrés de l'arc ACB

Segment circulaire :

$$\frac{\pi R^2 \beta}{360} - \frac{c}{2} (R - r')$$

β = nombre de degrés de l'arc DGF

Polygones réguliers.



c , côtés ; R , rayon du cercle circonscrit ; n , nombre de côtés ;
 r , rayon du cercle inscrit ; S , surface du polygone.
 Somme des angles d'un polygone : $2(n - 2)$ droits.

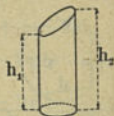
POLYGONES	R	r	c	S
Triangle.....	0.577 c	0.289 c	1.732 R ou 3.463 r	0.433 c ² ou 1.299 R ²
Carré.....	0.707 c	0.300 c	1.414 R » 2.000 r	1.000 c ² » 2.000 R ²
Pentagone...	0.851 c	0.688 c	1.176 R » 1.453 r	1.721 c ² » 2.378 R ²
Hexagone...	1.000 c	0.866 c	1.000 R » 1.155 r	2.598 c ² » 2.598 R ²
Heptagone...	1.152 c	1.038 c	0.868 R » 0.963 r	3.634 c ² » 2.736 R ²
Octogone....	1.307 c	1.207 c	0.765 R » 0.828 r	4.828 c ² » 2.828 R ²
Ennéagone...	1.462 c	1.374 c	0.684 R » 0.728 r	6.182 c ² » 2.892 R ²
Décagone....	1.618 c	1.53 c	0.618 R » 0.649 r	7.694 c ² » 2.939 R ²
Endécagone...	1.775 c	1.710 c	0.563 R » 0.587 r	9.366 c ² » 2.973 R ²
Dodécagone...	1.932 c	1.866 c	0.518 R » 0.536 r	11.19 c ² » 3.000 R ²



Aire latérale = $2 \pi R h$
 Aire totale = $2 \pi R (R + h)$



Sphère $\frac{4}{3} \pi R^2 = \pi D^2$
 Zone sphérique = $2 \pi R h$



$\pi R (h_1 + h_2)$ = Aire latérale

SURFACES (suite)



$S = Ch$
C = Circonférence de la section droite
h = Longueur des génératrices



Aire latérale = $\pi l (R+r)$



Aire latérale = $\pi R l$
 Aire totale = $\pi R (R+l)$

VOLUMES



Onglet cylindrique

$$V = \frac{2}{3} R^2 h$$



Cône

$$V = \frac{\pi R^2 H}{3}$$

Tronc de cône

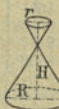
$$V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$$



Tronc de pyramide à bases parallèles

$$1^\circ V = \frac{1}{3} H (B + b + \sqrt{Bb})$$

$$2^\circ V = \frac{BH}{3} (1 + k + k^2)$$

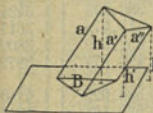


Tronc de cône de seconde espèce

$$V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 - Rr)$$

$$\text{Sphère} = \frac{4}{3} \pi R^3 = 4,189 R^3$$

$$\text{Sphère creuse} V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$$



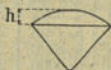
Tronc de prisme triangulaire

$$1^\circ V = \frac{B}{3} (h + h' + h'')$$

$$2^\circ V = S \left(\frac{a + a' + a''}{3} \right) Sz$$

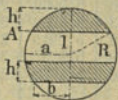
S, section droite

z, droite joignant les centres de gravité des deux bases



Secteur sphérique

$$V = \frac{2}{3} \pi R^2 h$$



Segment sphérique à une base de rayon *AI*

$$1^\circ V = \frac{1}{6} \pi h (h^2 + 3AI^2)$$

$$2^\circ V = \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h)$$

Segment sphérique à deux bases de rayons *a* et *b*

$$V = \frac{1}{6} \pi h (3a^2 + 3b^2 + h^2)$$

Carrés, Cubes, Racines carrées, Racines cubiques
Circonférences, Surfaces
et Logarithmes des nombres ou diamètres de 1 à 105.

Nombres d	Carrés d^2	Cubes d^3	Racine carrée \sqrt{d}	Racine cubique $\sqrt[3]{d}$	Circon- férence πd	Surface $\frac{1}{4} \pi d^2$	Logarith Log d
1	1	1	1.	1.	3,142	0,7854	0.0000
2	4	8	1.4142	1.2599	6,283	3,1416	0.3010
3	9	27	1.7321	1.4422	9,426	7,0686	0.4771
4	16	64	2.0000	1.5874	12,566	12,5664	0.6021
5	25	125	2.2361	1.7100	15,708	19,6350	0.6990
6	36	216	2.4495	1.8171	18,850	28,2743	0.7781
7	49	343	2.6458	1.9129	21,991	38,4845	0.8451
8	64	512	2.8284	2.0000	25,133	50,2655	0.9031
9	81	729	3.0000	2.0801	28,274	63,6173	0.9542
10	100	1000	3.1623	2.1544	31,416	78,5398	1.0000
11	121	1331	3.3166	2.2240	34,558	95,0332	1.0414
12	144	1728	3.4641	2.2894	37,699	113,097	1.0792
13	169	2197	3.6056	2.3513	40,841	132,732	1.1139
14	196	2744	3.7417	2.4101	43,982	153,938	1.1461
15	225	3375	3.8730	2.4662	47,124	176,715	1.1761
16	256	4096	4.0000	2.5198	50,265	201,062	1.2041
17	289	4913	4.1231	2.5713	53,407	226,980	1.2304
18	324	5832	4.2426	2.6207	56,549	254,469	1.2553
19	361	6859	4.3589	2.6684	59,690	283,529	1.2788
20	400	8000	4.4721	2.7144	62,832	314,159	1.3010
21	441	9261	4.5826	2.7589	65,973	346,361	1.3222
22	484	10648	4.6904	2.8020	69,115	380,133	1.3424
23	529	12167	4.7958	2.8439	72,257	415,476	1.3617
24	576	13824	4.8990	2.8845	75,398	452,389	1.3802
25	625	15625	5.0000	2.9240	78,540	490,874	1.3979
26	676	17576	5.0990	2.9625	81,681	530,929	1.4150
27	729	19683	5.1962	3.0000	84,823	572,555	1.4314
28	784	21952	5.2915	3.0366	87,965	615,752	1.4472
29	841	24389	5.3852	3.0723	91,106	660,520	1.4624
30	900	27000	5.4772	3.1072	94,248	706,858	1.4771
31	961	29791	5.5678	3.1414	97,389	754,768	1.4914
32	1024	32768	5.6569	3.1748	100,531	804,248	1.5051
33	1089	35937	5.7446	3.2075	103,673	855,299	1.5185
34	1156	39304	5.8310	3.2396	106,814	907,920	1.5315
35	1225	42875	5.9161	3.2711	109,956	962,113	1.5441

Nombres <i>d</i>	Carrés	Cubes	Racine carrée	Racine cubique	Circon- férence	Surface	Logarith
	d^2	d^3	\sqrt{d}	$\sqrt[3]{d}$	πd	$\frac{1}{4} \pi d^2$	Log <i>d</i>
36	1296	46656	6.0000	3.3019	113,097	1017,88	1.5563
37	1369	50653	6.0828	3.3322	116,239	1075,21	1.5682
38	1444	54872	6.1644	3.3620	119,381	1134,11	1.5798
39	1521	59319	6.2450	3.3912	122,522	1194,59	1.5911
40	1600	64000	6.3246	3.4200	125,66	1256,64	1.6021
41	1681	68921	6.4031	3.4482	128,81	1320,25	1.6128
42	1764	74088	6.4807	3.4760	131,95	1385,44	1.6232
43	1849	79507	6.5574	3.5034	135,09	1452,20	1.6335
44	1936	85184	6.6332	3.5303	138,23	1520,53	1.6434
45	2025	91125	6.7082	3.5569	141,37	1590,43	1.6532
46	2116	97336	6.7823	3.5830	144,51	1661,90	1.6628
47	2209	103823	6.8557	3.6088	147,65	1734,94	1.6721
48	2304	110592	6.9282	3.6342	150,80	1809,56	1.6812
49	2401	117649	7.0000	3.6593	153,94	1885,74	1.6902
50	2500	125000	7.0711	3.6840	157,08	1963,50	1.6990
51	2601	132651	7.1414	3.7084	160,22	2042,82	1.7076
52	2704	140608	7.2111	3.7325	163,36	2123,72	1.7160
53	2809	148877	7.2801	3.7563	166,50	2206,18	1.7243
54	2916	157464	7.3485	3.7798	169,65	2290,22	1.7324
55	3025	166375	7.4162	3.8030	172,79	2375,83	1.7404
56	3136	175616	7.4833	3.8259	175,93	2463,01	1.7482
57	3249	185193	7.5498	3.8485	179,07	2551,76	1.7559
58	3364	195112	7.6158	3.8709	182,21	2642,08	1.7634
59	3481	205379	7.6811	3.8930	185,35	2733,97	1.7708
60	3600	216000	7.7460	3.9149	188,50	2827,43	1.7781
61	3721	226981	7.8102	3.9365	191,64	2922,47	1.7853
62	3844	238328	7.8740	3.9579	194,78	3019,07	1.7924
63	3969	250047	7.9373	3.9791	197,92	3117,25	1.7993
64	4096	262144	8.0000	4.0000	201,06	3216,99	1.8062
65	4225	274625	8.0623	4.0207	204,20	3318,31	1.8129
66	4356	287496	8.1240	4.0412	207,35	3421,49	1.8195
67	4489	300763	8.1854	4.0615	210,49	3525,65	1.8261
68	4624	314432	8.2462	4.0817	213,63	3631,68	1.8325
69	4761	328509	8.3066	4.1016	216,77	3739,28	1.8388
70	4900	343000	8.3666	4.1213	219,91	3848,45	1.8451

Nombres d	Carrés d^2	Cubes d^3	Racine carrée \sqrt{d}	Racine cubique $\sqrt[3]{d}$	Circon- férence πd	Surface $\frac{1}{4} \pi d^2$	Logarith Log d
71	5041	357911	8.4261	4.1408	223,05	3959,19	1.8513
72	5184	373248	8.4853	4.1602	226,19	4071,50	1.8573
73	5329	389017	8.5440	4.1793	229,34	4185,39	1.8633
74	5476	405224	8.6023	4.1983	232,48	4300,84	1.8692
75	5625	421875	8.6603	4.2172	235,62	4417,86	1.8751
76	5776	438976	8.7178	4.2358	238,76	4536,46	1.8808
77	5929	456533	8.7750	4.2543	241,90	4656,63	1.8865
78	6084	474552	8.8318	4.2727	245,04	4778,36	1.8921
79	6241	493039	8.8882	4.2908	248,19	4901,67	1.8976
80	6400	512000	8.9443	4.3089	251,33	5026,55	1.9031
81	6561	531441	9.0000	4.3267	254,47	5153,00	1.9085
82	6724	551368	9.0554	4.3445	257,61	5281,02	1.9138
83	6889	571787	9.1104	4.3621	260,75	5410,61	1.9191
84	7056	592704	9.1652	4.3795	263,89	5541,77	1.9243
85	7225	614125	9.2195	4.3968	267,04	5674,50	1.9294
86	7396	636056	9.2736	4.4140	270,18	5808,80	1.9345
87	7569	658503	9.3274	4.4310	273,32	5944,68	1.9395
88	7744	681472	9.3808	4.4480	276,46	6082,12	1.9445
89	7921	704969	9.4340	4.4647	279,60	6221,14	1.9494
90	8100	729000	9.4868	4.4814	282,74	6361,73	1.9542
91	8281	753571	9.5394	4.4979	285,88	6503,88	1.9590
92	8464	778688	9.5917	4.5144	289,03	6647,61	1.9638
93	8649	804357	9.6437	4.5307	292,17	6792,91	1.9685
94	8836	830584	9.6954	4.5468	295,31	6939,78	1.9731
95	9025	857375	9.7468	4.5629	298,45	7088,22	1.9777
96	9216	884736	9.7980	4.5789	301,59	7238,23	1.9823
97	9409	912673	9.8489	4.5947	304,73	7389,81	1.9868
98	9604	941192	9.8995	4.6104	307,88	7542,96	1.9912
99	9801	970299	9.9499	4.6261	311,02	7697,69	1.9956
100	10000	1000000	10.0000	4.6416	314,16	7853,98	2.0000
101	10201	1030301	10.0498	4.6570	317,30	8011,85	2.0043
102	10404	1061208	10.0995	4.6723	320,44	8171,28	2.0086
103	10609	1092727	10.1488	4.6875	323,58	8332,29	2.0128
104	10816	1124864	10.1980	4.7026	326,73	8494,87	2.0170
105	11025	1157625	10.2469	4.7176	329,87	8659,01	2.0212

Arcs, Cordes, Flèches et Surfaces des segments pour $R = 1$.

Si $R = r$, la surface est proportionnelle à r^2 .

Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments	Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments
1	0.0175	0.0175	0.00004	0.00000	46	0.8029	0.7815	0.0795	0.04176
2	0.0349	0.0349	0.00015	0.00500	47	0.8203	0.7975	0.0829	0.04448
3	0.0524	0.0524	0.00034	0.00001	48	0.8378	0.8135	0.0865	0.04731
4	0.0698	0.0698	0.00061	0.00003	49	0.8552	0.8294	0.0900	0.05025
5	0.0873	0.0872	0.00095	0.00006	50	0.8727	0.8452	0.0937	0.05331
6	0.1047	0.1047	0.00137	0.00010	51	0.8901	0.8610	0.0974	0.05649
7	0.1222	0.1221	0.00187	0.00015	52	0.9076	0.8767	0.1012	0.05978
8	0.1396	0.1395	0.00244	0.00023	53	0.9250	0.8924	0.1051	0.06319
9	0.1571	0.1569	0.00308	0.00032	54	0.9425	0.9080	0.1090	0.06673
10	0.1745	0.1743	0.00381	0.00044	55	0.9599	0.9235	0.1130	0.07039
11	0.1920	0.1917	0.00460	0.00059	56	0.9774	0.9389	0.1171	0.07417
12	0.2094	0.2091	0.00548	0.00076	57	0.9948	0.9543	0.1212	0.07808
13	0.2269	0.2264	0.00643	0.00097	58	1.0123	0.9696	0.1254	0.08212
14	0.2443	0.2437	0.00745	0.00121	59	1.0297	0.9848	0.1296	0.08629
15	0.2618	0.2611	0.00856	0.00149	60	1.0472	1.0000	0.1340	0.09059
16	0.2793	0.2783	0.00973	0.00181	61	1.0647	1.0151	0.1384	0.09502
17	0.2967	0.2956	0.01098	0.00217	62	1.0821	1.0301	0.1428	0.09958
18	0.3142	0.3129	0.01231	0.00257	63	1.0996	1.0450	0.1474	0.10428
19	0.3316	0.3301	0.01371	0.00302	64	1.1170	1.0598	0.1520	0.10911
20	0.3491	0.3473	0.01519	0.00352	65	1.1345	1.0746	0.1566	0.11408
21	0.3665	0.3645	0.01675	0.00408	66	1.1519	1.0893	0.1613	0.11919
22	0.3840	0.3816	0.01837	0.00468	67	1.1694	1.1039	0.1661	0.12443
23	0.4014	0.3987	0.02008	0.00535	68	1.1868	1.1184	0.1710	0.12982
24	0.4189	0.4158	0.02185	0.00607	69	1.2043	1.1328	0.1759	0.13535
25	0.4363	0.4329	0.02376	0.00686	70	1.2217	1.1472	0.1808	0.14102
26	0.4538	0.4499	0.02563	0.00771	71	1.2392	1.1614	0.1859	0.14683
27	0.4712	0.4669	0.02763	0.00862	72	1.2566	1.1756	0.1910	0.15279
28	0.4887	0.4838	0.02969	0.00961	73	1.2741	1.1896	0.1961	0.15889
29	0.5061	0.5008	0.03185	0.01067	74	1.2915	1.2036	0.2014	0.16514
30	0.5236	0.5176	0.03407	0.01180	75	1.3090	1.2175	0.2066	0.17154
31	0.5411	0.5345	0.03637	0.01301	76	1.3265	1.2313	0.2120	0.17808
32	0.5585	0.5512	0.03874	0.01429	77	1.3440	1.2450	0.2174	0.18477
33	0.5760	0.5680	0.04118	0.01566	78	1.3614	1.2586	0.2229	0.19160
34	0.5934	0.5847	0.04370	0.01711	79	1.3788	1.2722	0.2284	0.19859
35	0.6109	0.6014	0.04628	0.01864	80	1.3963	1.2856	0.2340	0.20573
36	0.6283	0.6180	0.04894	0.02027	81	1.4137	1.2989	0.2396	0.21301
37	0.6458	0.6346	0.05168	0.02198	82	1.4312	1.3121	0.2453	0.22045
38	0.6632	0.6511	0.05448	0.02378	83	1.4486	1.3252	0.2510	0.22804
39	0.6807	0.6676	0.05735	0.02568	84	1.4661	1.3383	0.2569	0.23578
40	0.6981	0.6840	0.06031	0.02767	85	1.4835	1.3512	0.2627	0.24367
41	0.7156	0.7004	0.06333	0.02976	86	1.5010	1.3640	0.2686	0.25171
42	0.7330	0.7167	0.06642	0.03195	87	1.5184	1.3767	0.2746	0.25990
43	0.7505	0.7333	0.06951	0.03425	88	1.5359	1.3894	0.2807	0.26825
44	0.7679	0.7492	0.07281	0.03664	89	1.5533	1.4018	0.2867	0.27675
45	0.7854	0.7654	0.07612	0.03915	90	1.5708	1.4142	0.2929	0.28540

Degrés	Arcs	Cordes	Fleches	Surfaces des segments	Degrés	Arcs	Cordes	Fleches	Surfaces des segments
91	1.5882	1.4265	0.2991	0.29420	136	2.3736	1.8544	0.6254	0.83949
92	1.6057	1.4387	0.3053	0.30316	137	2.3911	1.8608	0.6335	0.85455
93	1.6232	1.4507	0.3116	0.31226	138	2.4086	1.8672	0.6416	0.86971
94	1.6406	1.4627	0.3180	0.32152	139	2.4260	1.8733	0.6498	0.88497
95	1.6580	1.4748	0.3244	0.33093	140	2.4435	1.8794	0.6580	0.90034
96	1.6755	1.4863	0.3309	0.34050	141	2.4609	1.8853	0.6662	0.91580
97	1.6930	1.4979	0.3374	0.35021	142	2.4784	1.8910	0.6744	0.93135
98	1.7104	1.5094	0.3439	0.36008	143	2.4958	1.8966	0.6827	0.94700
99	1.7279	1.5208	0.3506	0.37009	144	2.5133	1.9021	0.6910	0.96274
100	1.7453	1.5321	0.3572	0.38026	145	2.5307	1.9074	0.6993	0.97858
101	1.7628	1.5432	0.3639	0.39058	146	2.5482	1.9126	0.7076	0.99449
102	1.7802	1.5543	0.3707	0.40104	147	2.5656	1.9176	0.7160	1.01050
103	1.7977	1.5652	0.3775	0.41166	148	2.5831	1.9225	0.7244	1.02658
104	1.8151	1.5760	0.3843	0.42242	149	2.6005	1.9273	0.7328	1.04275
105	1.8326	1.5867	0.3912	0.43334	150	2.6180	1.9319	0.7412	1.05900
106	1.8500	1.5973	0.3982	0.44439	151	2.6354	1.9363	0.7496	1.07532
107	1.8675	1.6077	0.4052	0.45560	152	2.6529	1.9406	0.7581	1.09171
108	1.8850	1.6180	0.4122	0.46695	153	2.6704	1.9447	0.7666	1.10818
109	1.9024	1.6282	0.4193	0.47844	154	2.6878	1.9487	0.7750	1.12472
110	1.9199	1.6383	0.4264	0.49008	155	2.7053	1.9526	0.7836	1.14132
111	1.9373	1.6483	0.4336	0.50187	156	2.7227	1.9563	0.7921	1.15799
112	1.9548	1.6581	0.4408	0.51379	157	2.7402	1.9598	0.8006	1.17472
113	1.9722	1.6678	0.4481	0.52586	158	2.7576	1.9632	0.8092	1.19151
114	1.9897	1.6773	0.4554	0.53807	159	2.7751	1.9665	0.8178	1.20835
115	2.0071	1.6868	0.4627	0.55041	160	2.7925	1.9696	0.8264	1.22525
116	2.0246	1.6961	0.4701	0.56289	161	2.8100	1.9726	0.8350	1.24221
117	2.0420	1.7053	0.4775	0.57551	162	2.8274	1.9754	0.8436	1.25921
118	2.0595	1.7143	0.4850	0.58827	163	2.8449	1.9780	0.8522	1.27626
119	2.0769	1.7233	0.4925	0.60116	164	2.8623	1.9805	0.8608	1.29335
120	2.0944	1.7321	0.5000	0.61418	165	2.8798	1.9829	0.8695	1.31049
121	2.1118	1.7407	0.5076	0.62734	166	2.8972	1.9851	0.8781	1.32766
122	2.1293	1.7492	0.5152	0.64063	167	2.9147	1.9871	0.8868	1.34487
123	2.1468	1.7576	0.5228	0.65404	168	2.9322	1.9890	0.8955	1.36212
124	2.1642	1.7659	0.5305	0.66759	169	2.9496	1.9908	0.9042	1.37940
125	2.1817	1.7740	0.5388	0.68125	170	2.9671	1.9924	0.9128	1.39671
126	2.1991	1.7820	0.5460	0.69505	171	2.9845	1.9938	0.9215	1.41404
127	2.2166	1.7899	0.5538	0.70897	172	3.0020	1.9951	0.9302	1.43140
128	2.2340	1.7976	0.5616	0.72301	173	3.0194	1.9963	0.9390	1.44878
129	2.2515	1.8052	0.5695	0.73716	174	3.0369	1.9973	0.9477	1.46617
130	2.2689	1.8126	0.5774	0.75144	175	3.0543	1.9981	0.9564	1.48359
131	2.2864	1.8199	0.5853	0.76584	176	3.0718	1.9988	0.9651	1.50101
132	2.3038	1.8271	0.5933	0.78034	177	3.0892	1.9993	0.9738	1.51845
133	2.3213	1.8341	0.6013	0.79497	178	3.1067	1.9997	0.9825	1.53589
134	2.3387	1.8410	0.6093	0.80970	179	3.1241	1.9999	0.9913	1.55334
135	2.3562	1.8478	0.6172	0.82454	180	3.1416	2.0000	1.0000	1.57080

**Tangentes et cotangentes
des angles de 0° à 90°.**

**Sinus et cosinus
des angles de 0° à 90°.**

Angle (1)	Tangente de (1) et cotangente de (3)	Angle (3)	Angle (1)	Tangente de (1) et cotangente de (3)	Angle (3)	Angle (1)	Sinus de (1) et cosinus de (3)	Angle (3)	Angle (1)	Sinus de (1) et cosinus de (3)	Angle (3)
0°	0,0000	90°	46°	1,0355	44	0°	0,0000	90°	46°	0,7193	44°
1	0,0174	89	47	1,0724	43	1	0,0174	89	47	0,7314	43
2	0,0349	88	48	1,1105	42	2	0,0349	88	48	0,7431	42
3	0,0524	87	49	1,1504	41	3	0,0523	87	49	0,7547	41
4	0,0699	86	50	1,1918	40	4	0,0698	86	50	0,7660	40
5	0,0875	85	51	1,2349	39	5	0,0872	85	51	0,7771	39
6	0,1051	84	52	1,2799	38	6	0,1045	84	52	0,7880	38
7	0,1228	83	53	1,3270	37	7	0,1219	83	53	0,7986	37
8	0,1405	82	54	1,3764	36	8	0,1392	82	54	0,8090	36
9	0,1584	81	55	1,4281	35	9	0,1564	81	55	0,8192	35
10	0,1763	80	56	1,4826	34	10	0,1736	80	56	0,8290	34
11	0,1944	79	57	1,5399	33	11	0,1908	79	57	0,8387	33
12	0,2126	78	58	1,6003	32	12	0,2079	78	58	0,8480	32
13	0,2309	77	59	1,6643	31	13	0,2250	77	59	0,8572	31
14	0,2493	76	60	1,7321	30	14	0,2419	76	60	0,8660	30
15	0,2679	75	61	1,8040	29	15	0,2588	75	61	0,8746	29
16	0,2867	74	62	1,8807	28	16	0,2756	74	62	0,8819	28
17	0,3057	73	63	1,9626	27	17	0,2924	73	63	0,8910	27
18	0,3249	72	64	2,0503	26	18	0,3090	72	64	0,8988	26
19	0,3443	71	65	2,1445	25	19	0,3256	71	65	0,9063	25
20	0,3640	70	66	2,2450	24	20	0,3420	70	66	0,9135	24
21	0,3839	69	67	2,3529	23	21	0,3584	69	67	0,9205	23
22	0,4040	68	68	2,4781	22	22	0,3746	68	68	0,9272	22
23	0,4245	67	69	2,6051	21	23	0,3907	67	69	0,9336	21
24	0,4452	66	70	2,7475	20	24	0,4067	66	70	0,9397	20
25	0,4663	65	71	2,9042	19	25	0,4226	65	71	0,9455	19
26	0,4877	64	72	3,0777	18	26	0,4384	64	72	0,9511	18
27	0,5095	63	73	3,2709	17	27	0,4540	63	73	0,9563	17
28	0,5317	62	74	3,4874	16	28	0,4695	62	74	0,9613	16
29	0,5543	61	75	3,7321	15	29	0,4848	61	75	0,9659	15
30	0,5774	60	76	4,0108	14	30	0,5000	60	76	0,9703	14
31	0,6009	59	77	4,3315	13	31	0,5150	59	77	0,9744	13
32	0,6249	58	78	4,7046	12	32	0,5299	58	78	0,9781	12
33	0,6491	57	79	5,1445	11	33	0,5446	57	79	0,9816	11
34	0,6745	56	80	5,6713	10	34	0,5592	56	80	0,9848	10
35	0,7002	55	81	6,3138	9	35	0,5736	55	81	0,9877	9
36	0,7265	54	82	7,1154	8	36	0,5878	54	82	0,9903	8
37	0,7536	53	83	8,1443	7	37	0,6018	53	83	0,9925	7
38	0,7813	52	84	9,5144	6	38	0,6157	52	84	0,9945	6
39	0,8098	51	85	11,4301	5	39	0,6293	51	85	0,9962	5
40	0,8391	50	86	14,3007	4	40	0,6428	50	86	0,9976	4
41	0,8693	49	87	19,0811	3	41	0,6561	49	87	0,9986	3
42	0,9004	48	88	28,6362	2	42	0,6691	48	88	0,9994	2
43	0,9325	47	89	57,2900	1	43	0,6820	47	89	0,9998	1
44	0,9657	46	90	infini	0	44	0,6947	46	90	1,0000	0
45	1,0000	45				45	0,7071	45			

Intérêts composés.

Valeur, à la fin de n années, de 1 franc placé à intérêt composé.

Nombre d'années n	TAUX DE L'INTÉRÊT					
	T = 5	T = 6	T = 7	T = 8	T = 10	T = 12
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	1,050	1,050	1,070	1,080	1,100	1,120
2	1,102	1,123	1,144	1,166	1,210	1,254
3	1,157	1,191	1,225	1,259	1,331	1,405
4	1,215	1,262	1,310	1,360	1,464	1,573
5	1,276	1,338	1,402	1,469	1,610	1,762
6	1,340	1,418	1,500	1,586	1,771	1,974
7	1,407	1,503	1,605	1,713	1,948	2,210
8	1,477	1,593	1,718	1,850	2,143	2,475
9	1,551	1,689	1,838	1,999	2,357	2,773
10	1,628	1,790	1,967	2,158	2,593	3,106
11	1,710	1,898	2,104	2,331	2,853	3,478
12	1,795	2,012	2,252	2,518	3,138	3,896
13	1,885	2,132	2,409	2,719	3,452	4,363
14	1,979	2,260	2,578	2,937	3,797	4,887
15	2,078	2,396	2,759	3,172	4,177	5,473
16	2,182	2,540	2,952	3,425	4,594	6,130
17	2,292	2,692	3,158	3,700	5,054	6,866
18	2,406	2,854	3,379	3,996	5,559	7,690
19	2,525	3,025	3,616	4,315	6,115	8,612
20	2,653	3,207	3,869	4,660	6,727	9,642
21	2,785	3,399	4,140	5,033	7,400	10,804
22	2,925	3,603	4,430	5,436	8,140	12,100
23	3,071	3,819	4,740	5,871	8,954	13,552
24	3,225	4,048	5,072	6,344	9,849	15,178
25	3,386	4,291	5,247	6,848	10,834	17,000
26	3,555	4,549	5,807	7,396	11,918	19,040
27	3,733	4,822	6,213	7,988	13,109	21,325
28	3,920	5,111	6,648	8,627	14,420	23,884
29	4,116	5,418	7,114	9,317	15,863	26,750
30	4,321	5,743	7,612	10,062	17,449	29,960
31	4,538	6,088	8,145	10,867	19,194	33,555
32	4,764	6,453	8,715	11,737	21,113	37,581
33	5,003	6,840	9,325	12,676	23,225	42,091
34	5,253	7,251	9,978	13,690	25,547	47,142

EXEMPLE. — Quel est, au bout de 22 ans, le capital produit par 1.200 francs placés à intérêts composés au taux de 6 0/0 par an ?

Le nombre 3,603, qui correspond à $n = 22$ et à $T = 6$, est la valeur de 1 franc au bout de 22 ans. En le multipliant par 1.200, on trouve 4.323 fr. 60 qui est la valeur

Amortissement

Temps nécessaire pour opérer l'amortissement d'un capital.

TAUX t de l'amortissement	TAUX DE L'INTÉRÊT									
	T = 5		T = 6		T = 8		T = 10		T = 12	
	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours
0.001	80	214	70	201	57	36	48	152	42	114
0.002	66	284	58	341	48	91	41	91	36	99
0.0025	62	146	55	88	45	156	38	347	34	123
0.003	58	317	52	91	43	51	37	36	32	277
0.004	53	126	47	213	39	201	34	66	30	108
0.005	49	54	44	7	36	293	31	340	28	145
0.006	45	285	41	56	34	215	30	47	26	311
0.007	42	359	38	279	32	268	28	220	25	207
0.0075	41	273	37	259	31	322	27	337	25	0
0.008	40	220	36	266	31	57	27	110	24	167
0.009	38	197	34	350	29	278	26	61	23	178
0.01	36	265	33	144	28	201	25	58	22	228
0.011	35	40	32	1	27	164	24	92	21	309
0.012	33	241	30	274	26	169	23	156	21	57
0.0125	32	361	30	61	26	2	23	19	20	299
0.013	32	126	29	224	25	120	22	257	20	137
0.014	31	55	28	210	24	182	22	12	19	335
0.015	30	20	27	227	23	354	21	134	19	140
0.016	29	16	26	271	23	101	20	284	18	318
0.017	28	40	25	338	22	228	20	90	18	148
0.0175	27	244	25	197	22	115	19	352	18	68
0.018	27	88	25	60	22	7	19	262	17	350
0.019	26	158	24	167	21	164	19	85	17	202
0.02	25	247	23	289	20	329	18	288	17	61
0.0225	23	359	22	109	19	253	17	281	16	103
0.025	22	189	21	1	18	233	16	319	15	184
0.0275	21	86	19	316	17	257	16	34	14	296
0.03	20	38	18	312	16	318	15	139	14	73
0.0325	19	34	17	347	16	82	14	296	13	231
0.035	18	68	17	50	15	208	14	95	13	54
0.0375	17	133	16	145	14	334	13	254	12	239
0.04	16	227	15	265	14	100	13	52	12	84

EXEMPLE. — Quel est le temps nécessaire pour amortir un capital, le taux de l'amortissement t étant de 2 0/0 ou 0,02, et le taux de l'intérêt T , 5 0/0 ?

En lisant sur la table le nombre qui se trouve dans la colonne verticale $T = 5$ et dans la colonne horizontale 0,02, on trouve 25 ans 247 jours.

Valeur actuelle de 1 franc payable à la fin de n années.

Taux de l'amortissement nécessaire pour amortir un capital dans un nombre n d'années.

Nombre d'années n	TAUX DE L'INTÉRÊT				
	T=5	T=6	T=8	T=10	T=12
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	0,952	0,934	0,925	0,909	0,893
2	0,907	0,889	0,857	0,826	0,797
3	0,863	0,839	0,793	0,751	0,712
4	0,822	0,792	0,735	0,683	0,636
5	0,783	0,747	0,680	0,620	0,567
6	0,746	0,704	0,630	0,564	0,507
7	0,710	0,665	0,583	0,513	0,452
8	0,676	0,627	0,540	0,466	0,404
9	0,644	0,591	0,500	0,424	0,361
10	0,613	0,558	0,463	0,385	0,322
11	0,584	0,526	0,428	0,350	0,287
12	0,556	0,496	0,397	0,318	0,257
13	0,530	0,468	0,367	0,289	0,229
14	0,505	0,442	0,340	0,263	0,205
15	0,481	0,417	0,315	0,239	0,183
16	0,458	0,393	0,291	0,217	0,163
17	0,436	0,371	0,270	0,197	0,146
18	0,415	0,350	0,250	0,179	0,130
19	0,395	0,330	0,231	0,163	0,116
20	0,376	0,311	0,214	0,148	0,104
21	0,358	0,294	0,198	0,135	0,093
22	0,341	0,277	0,183	0,122	0,083
23	0,325	0,261	0,170	0,111	0,074
24	0,310	0,246	0,157	0,101	0,066
25	0,295	0,232	0,146	0,092	0,059
26	0,281	0,219	0,135	0,083	0,053
27	0,267	0,207	0,125	0,076	0,047
28	0,255	0,195	0,115	0,069	0,042
29	0,242	0,184	0,107	0,063	0,039
30	0,231	0,174	0,099	0,057	0,033
31	0,220	0,164	0,092	0,052	0,030
32	0,209	0,154	0,085	0,047	0,027
33	0,199	0,146	0,078	0,043	0,024
34	0,190	0,137	0,073	0,039	0,021
35	0,181	0,130	0,067	0,035	0,019

Nombre d'années n	TAUX DE L'INTÉRÊT				
	T=5	T=6	T=8	T=10	T=12
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,487	0,485	0,480	0,476	0,472
3	0,317	0,314	0,308	0,302	0,296
4	0,232	0,228	0,221	0,215	0,209
5	0,180	0,177	0,170	0,163	0,157
6	0,147	0,143	0,136	0,129	0,123
7	0,122	0,119	0,112	0,105	0,099
8	0,104	0,101	0,094	0,087	0,081
9	0,089	0,087	0,080	0,073	0,068
10	0,079	0,075	0,069	0,062	0,057
11	0,070	0,066	0,060	0,053	0,048
12	0,062	0,059	0,052	0,048	0,041
13	0,056	0,052	0,046	0,040	0,036
14	0,051	0,047	0,041	0,035	0,031
15	0,046	0,042	0,036	0,031	0,027
16	0,042	0,038	0,032	0,027	0,023
17	0,038	0,035	0,029	0,024	0,020
18	0,035	0,032	0,026	0,021	0,018
19	0,032	0,029	0,024	0,019	0,016
20	0,030	0,027	0,021	0,017	0,014
21	0,027	0,025	0,019	0,015	0,012
22	0,025	0,023	0,018	0,014	0,011
23	0,024	0,021	0,016	0,012	0,010
24	0,022	0,019	0,015	0,011	0,008
25	0,020	0,018	0,013	0,010	0,007
26	0,019	0,016	0,012	0,009	0,007
27	0,018	0,015	0,011	0,008	0,006
28	0,017	0,014	0,010	0,007	0,005
29	0,016	0,013	0,009	0,006	0,005
30	0,015	0,012	0,008	0,006	0,004
31	0,014	0,011	0,008	0,005	0,004
32	0,012	0,011	0,007	0,005	0,003
33	0,012	0,010	0,006	0,004	0,003
34	0,011	0,009	0,006	0,004	0,003
35	0,011	0,008	0,005	0,003	0,002

Exemple : Somme à payer actuellement pour se libérer de 4.000 francs exigibles dans 25 ans (taux 6 0/0).

0,232 est la valeur de 1 franc payable dans 25 ans, la somme cherchée est :

$$4.000 \times 0,232 = 928 \text{ francs}$$

Exemple : Taux d'amortissement nécessaire pour amortir un capital dans 30 ans au taux de 5 0/0.

Pour $n = 30$, et $T = 5$ on trouve 0,015, le taux cherché est donc 1,50 0/0 du capital.

**Annuités au moyen desquelles l'on peut amortir un capital
de 1 franc.**

Nombre d'années T	TAUX DE L'INTÉRÊT									
	3	3 1/2	4	4 1/2	5	6	7	8	10	12
1	1.030	1.035	1.040	1.045	1.050	1.060	1.070	1.080	1.100	1.120
2	0.522	0.526	0.530	0.533	0.537	0.545	0.553	0.560	0.576	0.592
3	0.353	0.356	0.360	0.363	0.367	0.374	0.381	0.388	0.402	0.416
4	0.269	0.272	0.275	0.278	0.282	0.288	0.295	0.301	0.315	0.329
5	0.218	0.221	0.224	0.227	0.230	0.237	0.243	0.250	0.263	0.277
6	0.184	0.187	0.190	0.193	0.197	0.203	0.209	0.216	0.229	0.243
7	0.160	0.163	0.166	0.169	0.172	0.179	0.185	0.192	0.205	0.219
8	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154	0.161	0.167	0.174	0.187	0.201
9	0.128	0.131	0.134	0.137	0.140	0.147	0.153	0.160	0.173	0.188
10	0.117	0.120	0.123	0.126	0.129	0.135	0.142	0.149	0.162	0.177
11	0.108	0.111	0.114	0.117	0.120	0.126	0.133	0.140	0.153	0.168
12	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.119	0.125	0.132	0.146	0.161
13	0.0940	0.0970	0.100	0.103	0.106	0.112	0.119	0.126	0.140	0.156
15	0.0885	0.0915	0.0945	0.0978	0.101	0.107	0.114	0.121	0.135	0.151
15	0.0837	0.0868	0.0899	0.0931	0.0963	0.102	0.109	0.116	0.124	0.147
16	0.0796	0.0826	0.0858	0.0890	0.0922	0.0983	0.105	0.112	0.127	0.143
17	0.0759	0.0790	0.0821	0.0854	0.0886	0.0954	0.102	0.109	0.124	0.140
18	0.0727	0.0758	0.0789	0.0822	0.0855	0.0923	0.0990	0.106	0.121	0.138
19	0.0698	0.0729	0.0761	0.0794	0.0827	0.0896	0.0967	0.104	0.119	0.136
20	0.0672	0.0703	0.0735	0.0768	0.0802	0.0871	0.0943	0.101	0.117	0.134
21	0.0648	0.0680	0.0712	0.0746	0.0779	0.0850	0.0922	0.099	0.115	0.132
22	0.0627	0.0659	0.0691	0.0725	0.0759	0.0830	0.0904	0.0980	0.114	0.131
23	0.0608	0.0640	0.0673	0.0706	0.0741	0.0812	0.0887	0.0964	0.112	0.130
24	0.0590	0.0622	0.0655	0.0689	0.0724	0.0796	0.0876	0.0949	0.111	0.128
25	0.0574	0.0606	0.0640	0.0674	0.0709	0.0782	0.0858	0.0936	0.110	0.127
26	0.0559	0.0592	0.0626	0.0660	0.0695	0.0769	0.0845	0.0925	0.109	0.127
27	0.0545	0.0578	0.0612	0.0647	0.0682	0.0756	0.0834	0.0914	0.108	0.126
28	0.0532	0.0565	0.0600	0.0635	0.0671	0.0745	0.0823	0.0904	0.107	0.125
29	0.0521	0.0554	0.0588	0.0624	0.0660	0.0735	0.0814	0.0896	0.106	0.125
30	0.0510	0.0543	0.0578	0.0613	0.0650	0.0726	0.0805	0.0888	0.106	0.124
31	0.0499	0.0533	0.0568	0.0604	0.0641	0.0717	0.0797	0.0881	0.105	0.124
32	0.0490	0.0524	0.0559	0.0595	0.0632	0.0708	0.0790	0.0874	0.104	0.123
33	0.0481	0.0515	0.0551	0.0587	0.0624	0.0702	0.0784	0.0868	0.104	0.123
34	0.0473	0.0507	0.0543	0.0579	0.0617	0.0695	0.0777	0.0863	0.104	0.123
35	0.0465	0.0499	0.0535	0.0572	0.0610	0.0689	0.0772	0.0858	0.103	0.122

EXEMPLE. — Avec quelle annuité pourra-t-on amortir en 30 ans un capital placé à 5 0/0 ?

Le nombre qui correspond à $n = 30$ et à $T = 5$ dans le tableau précédent est 0,065; donc on devra payer 0,065 du capital pour l'amortir en 30 ans. Ce nombre correspond exactement à l'exemple de la page précédente.

Tables de transformation.

Pentes métriques en degrés d'inclinaison.

Pente métrique	Degrés d'inclinaison	Pente métrique	Degrés d'inclinaison
0 ^m ,005	0°17' 10"	0 ^m ,080	4°34' 30"
0,010	0 35 0	0,085	4 51 30
0,015	0 51 30	0,090	5 8 30
0,020	1 8 40	0,095	5 25 30
0,025	1 25 0	0,100	5 42 30
0,030	1 43 01	0,105	5 50 30
0,035	2 0 20	0,110	6 16 30
0,040	2 17 30	0,115	6 33 40
0,045	2 34 40	0,120	6 50 30
0,050	2 51 40	0,125	7 7 30
0,055	3 8 50	0,130	7 24 20
0,060	3 25 0	0,135	7 41 20
0,065	3 43 10	0,140	7 58 10
0,070	4 0 20	0,145	8 15 5
0,075	4 17 20	0,150	8 31 50

Fractions ordinaires en fractions décimales (racines carrées et cubiques).

Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques	Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques
1/3	0,333	0,577	0,693	1/8	0,125	0,354	0,500
2/3	0,666	0,816	0,874	3/8	0,375	0,612	0,721
1/4	0,250	0,500	0,630	5/8	0,625	0,791	0,855
3/4	0,750	0,866	0,909	7/8	0,875	0,935	0,956
1/6	0,166	0,408	0,550	1/9	0,111	0,333	0,481
5/6	0,833	0,913	0,941	2/9	0,222	0,471	0,606
1/7	0,143	0,378	0,523	4/9	0,444	0,667	0,763
2/7	0,286	0,535	0,659	5/9	0,555	0,745	0,821
3/7	0,428	0,555	0,754	7/9	0,777	0,882	0,920
4/7	0,571	0,756	0,830	1/12	0,083	0,289	0,437
5/7	0,714	0,845	0,894	5/12	0,416	0,645	0,747
6/7	0,857	0,926	0,950	7/12	0,583	0,764	0,836

Degrés d'inclinaison en pentes métriques.

Degrés d'inclinaison	Pente métrique	Degrés d'inclinaison	Pente métrique
0°15	0,00436	10°	0,17633
0 30	0,00873	12	0,21256
0 45	0,01309	14	0,24933
0 60	0,01746	16	0,28675
1 30	0,02618	18	0,32492
2	0,03492	20	0,36397
2 30	0,04366	22	0,40403
3	0,05241	24	0,44523
3 30	0,06116	26	0,48773
4	0,06993	28	0,53171
4 30	0,07870	30	0,57735
5	0,08749	32	0,62487
6	0,10510	34	0,67451
7	0,12278	36	0,72654
8	0,14054	38	0,78120
9	0,15838	40	0,83910

Litres par seconde en litres par minute, en mètres cubes par heure et récipro.

Litres par seconde	Litres par minute	Mètres cubes par heure	Litres par minute	Litres par seconde	Mètres cubes par heure	Mètres cubes par heure	Litres par minute	Litres par seconde
1	60	3,600	1	0,016	0,060	1	16,66	0,277
2	120	7,200	2	0,033	0,120	1	33,33	0,555
3	180	10,800	3	0,050	0,180	3	50,00	0,833
4	240	14,400	4	0,066	0,240	4	66,66	1,111
5	300	18,000	5	0,083	0,300	5	83,33	1,388
6	360	21,600	6	0,100	0,360	6	100,00	1,666
7	420	25,200	7	0,116	0,420	7	116,66	1,944
8	480	28,800	8	0,133	0,480	8	133,33	2,222
9	540	32,400	9	0,150	0,540	9	150,00	2,500

MESURES

Décret pris en vertu de la loi du 2 avril 1919.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, du Ministre des Affaires Étrangères, du Ministre de l'Intérieur et du Ministre des Colonies;

Vu la loi du 2 avril 1919 sur les unités de mesure, et notamment les paragraphes 3, 4 et 5 de l'article 2 de ladite loi décrète :

Article 1. — Les unités secondaires de mesure se subdivisent en unités géométriques, de masse, de temps, mécaniques, électriques, calorifiques, optiques; ces unités sont énumérées et définies au tableau qui suit.

Art. 2. — Sont autorisés à titre provisoire l'emploi et la dénomination des unités géométriques et mécaniques ci-après :

Longueur : le mille marin = 1.852 m. — **Force** : kilogramme-poids ou kilogramme force = 0,98 centisthène. — **Energie** : le kilogrammètre = 9,8 joules. — **Puissance** : cheval-vapeur = 75 kilogrammètres par seconde ou 0,735 kilowatt et poncelet = 100 kilogrammètres par seconde ou 0,98 kilowatt. — **Pression** : kilogramme force par centimètre carré = 0,98 hectopièze.

Art. 3. — Pour la France, les Colonies et pays français de protectorat, les étalons légaux du mètre et du kilogramme sont la copie n° 8 du mètre international et la copie n° 35 du kilogramme international déposées au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Art. 4. — Un arrêté ministériel fixera les règles à suivre pour la conservation des étalons des unités principales et secondaires.

Art. 5. — Est approuvé, pour être annexé au présent décret, le tableau général des unités légales de mesure, dressé en exécution de la loi du 2 avril 1919.

Art. 6. — Est approuvée, pour être annexée au présent décret, la table de correspondance des degrés Baumé et des densités dressée par la Commission de Métrologie usuelle et approuvée par le Bureau National des Poids et Mesures et l'Académie des Sciences.

Art. 7. — Le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, le Ministre des Affaires Étrangères, le Ministre de l'Intérieur, le Ministre des Colonies sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 26 juillet 1919.

R. POINCARÉ.

ANNEXE I

Tableau général des unités commerciales et industrielles

Tableau des multiples et sous-multiples décimaux

Puissance de 10 par laquelle est multipliée l'unité.	Préfixe à mettre avant le nom de l'unité.	Symbole à mettre avant celui de l'unité.
10 ⁶ ou 1.000.000	méga.	M.
10 ⁵ 100.000	hectokilo.	hk.
10 ⁴ 10.000	myria.	ma.
10 ³ 1.000	kilo.	k.
10 ² 100	hecto.	h.
10 ¹ 10	déca.	da.
10 ⁰ 1	»	»
10 ⁻¹ 0,1	déci.	d.
10 ⁻² 0,01	centi.	c.
10 ⁻³ 0,001	milli.	m.
10 ⁻⁴ 0,000.1	décimilli.	dm.
10 ⁻⁵ 0,000.01	centimilli.	cm.
10 ⁻⁶ 0,000.001	micro.	μ.

Nota. — Le système dit C. G. S. est basé sur le centimètre, le gramme (masse) et la seconde comme unités principales. Le système dit M. T. M. est basé sur le mètre, la tonne (masse) et la seconde comme unités principales.

UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTIPLIÉS et MULTI-USUÉS			OBSERVATIONS	
NOM	DEFINITION	ETALON et REPRESENTATION	VALEUR	DENOMINATION		VALEUR
			en M. T.	en C.G.S.	en C.G.S.	
I - Unités géométriques						
Longueur	MÈTRE	Étalon Copie N°9 du mètre prototype interne national, déposée au Conservatoire national des arts et métiers	10 ⁹	Kilomètre k.m.	1 000 000 m	Base du système M.T.S. Unité principale
			10 ⁶	Mètre	1 m	
			10 ³	Décimètre	10 m	
			10 ²	Centimètre	100 m	
			10 ¹	Millimètre	1 000 m	
Longueur	Mille marin	Longueur moyenne de la minute sexagesimale de latitude terrestre			1 852 m	Simplement pour la mesure des longueurs marines
Superficie	Mètre carré	Superficie contenue dans un carré de 1 mètre de côté	10 ⁴	Kilomètre carré k.m. ²	1 000 000 m ²	Simplement pour la mesure des surfaces agricoles
			10 ³	Hectare	10 000 m ²	
			10 ²	Decare	100 m ²	
			10 ¹	Mètre carré	1 m ²	
			10 ⁰	Decimètre carré	100 m ²	
			10 ⁻¹	Centimètre carré	10 000 m ²	
			10 ⁻²	Millimètre carré	1 000 000 m ²	
			10 ⁻³	Hectare	100 a	
			10 ⁻⁴	Are	1 dam ² ou 100 m ²	
			10 ⁻⁵	Centiare	1 centia ² ou 100 dm ²	
Volume	Mètre cube	Volume contenu dans un cube de 1 mètre de côté	10 ⁶	Kilomètre cube k.m. ³	1 000 000 000 m ³	Mesures de capacité pour les liquides, céréales et matières pulvérulentes Le litre, défini par les métrologistes comme étant le volume d'une masse de 1 kilogramme d'eau à 4° et sous la pression de 76 centim. de mercure, excède de moins de 1/30 000 le décimètre cube
			10 ³	Mètre cube	1 m ³	
			10 ²	Decimètre cube	1000 m ³	
			10 ¹	Centimètre cube	1 000 000 m ³	
			10 ⁰	Millimètre cube	1 000 000 000 m ³	
			10 ⁻¹	Hectolitre	100 l	
			10 ⁻²	Decalitre	10 l	
			10 ⁻³	Litre	10 m ³	
			10 ⁻⁴	Décilitre	10 l	
			10 ⁻⁵	Centilitre	1 l	
10 ⁻⁶	Millilitre	1000 l				
10 ⁻⁷	Stère	1 m ³				
10 ⁻⁸	Décistère	10 st				
Angle droit	Angle droit	Angle formé par deux droites se coupant sous des angles adjacents égaux.	1	Angle droit	1 D	Le symbole ° peut être employé quand la nature de l'unité considérée ne fait pas doute, notamment lorsque l'angle exprimé comprend des minutes en même temps que des degrés.
			100	Grade	100 D	
			10 000	Décigrade	10 000 D	
			100 000	Centigrade	100 000 D	
			100 000	Milligrade	100 000 D	
			100 000	Degré	1 D	

(1) Comme le mètre des Archives, sur lequel il a été établi le prototype international du mètre est d'un peu plus long que le mètre des Archives parce de la distance de pile larval à l'équerre, d'un peu plus grande que le mètre.

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTI ^N et S/MULTI ^N USUELS		OBSERVATIONS
DEFINITION	ÉTALON ET REPRÉSENTATION	VAL EN MTCGS	VALEUR	
II-Unités de masse				
Masse KILOGRAMME	Masse du prototype international en platine irridié, qui a été sanctionné par la conférence générale des Poids et Mesures tenue à Paris en 1889, et qui est déposée au pavillon de Breteuil, à Sèvres (1)	Etalon	1 10 ³ TONNE t	1 t = 1000 kg
			10 ³ 10 ³ KILOGRÈRE Kg	1 kg = 1000 g
Densité (Pond. absolu/mètre cubique)	La densité des corps s'exprime en nombres décimaux, celle du corps qui a la masse de l'eau sous le volume de 1 mètre cube étant prise comme unité	Copie N° 35 du kilogramme prototype international, déposée au Conservatoire national des Arts et Métiers	10 ⁻³ 10 ⁻³ Hectogr. hg	1 hg = 100 g
			10 ⁻⁴ 10 ⁻⁴ Déca-gr. dag	1 dag = 10 g
			10 ⁻⁵ 10 ⁻⁵ GRAMME g	1 g = 1000 mg
			10 ⁻⁶ 10 ⁻⁶ Déci-gr. dg	1 dg = 100 mg
			10 ⁻⁷ 10 ⁻⁷ Centi-gr. cg	1 cg = 1000 µg
			10 ⁻⁸ 10 ⁻⁸ Milligr. mg	1 mg = 1000 µg
			Carat	2 dg
				Base du système M.T.S
				Unité principale
				Base du système C.G.S.
				Employé dans le commerce des pierres précieuses.
				Leau prise d'un l à 4 sous la pression d'une colonne de mercure de 76 centimètres de hauteur, a une densité égale à (moins 10 000 environ)
				Les densités correspondantes aux anciens de grés Baumé sont données dans un Tableau annexé au présent décret
				La graduation des échelles métriques pour base le tableau des densités des mélanges d'alcool et d'eau purifiée est un présent décret.
III Unités de temps				
Temps Seconde	1/86400 du jour solaire moyen		Jour J	86 400 s
			Heure h	3 600 s
			Minute mn	60 s
			1 SECONDE s	1 s
				Le symbole se peut être employé lorsqu'il s'agit d'un jour d'ambiguïté ou pour indiquer le temps exprimé dans un grand des heures ou des jours ou en même temps que des minutes
				Base des systèmes M.T.S. et C.G.S. Unité principale.
IV Unités mécaniques				
Force Dynème	Force qui, communiquée à une masse égale à 1 tonne un accroissement de vitesse de 1 mètre par seconde	1 10 ⁵	Kilodynème kdn	1000 dn
			10 ⁴ 10 ⁴ Dyne dyn	1000000 dn
				Negadyne
				Unité C.G.S.
A titre transitoire				
Kilogr. poids Kilogr.-force	Force avec laquelle une masse égale à 1 kilogramme est attirée par la terre	1 10 ³	Tonnepoids tonp	1000 kp
			Kilogr. poids kp	1000 kp
Energie ou Travail Kilocalorie	Travail produit par 1 sthène dans le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force	1 10 ³	Kilocalorie kcal	1000 cal
			10 ³ 10 ³ Joule J	1000 J
				1 Kilowatt-heure correspond à 3.6 mégajoules
				Unité C.G.S.
A titre transitoire				
Energie ou Travail Kilogramètre	Travail produit par 1 Kilogramme force dans le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force	1 10 ³	Kilogramètre km	9.8 J
			10 ³ 10 ³ Erg erg	1000000 erg
Puissance Kilowatt	Puissance qui produit 1 Kilowatt par seconde	1 10 ³	Kilowatt kW	1 kW
			10 ³ 10 ³ Watt W	1000 W
				Le Kilowatt international diffère numériquement très peu du Kilowatt
A titre transitoire				
Puissance Cher vapeur	Puissance correspondant à 100 Kilogrammes par seconde	1 10 ³	Cher vap.	0.98 kW
			10 ³ 10 ³ Horsepower hp	0.75 kW
				Le Horsepower international diffère numériquement très peu du Kilowatt

(1) Comme le kilogramme est défini par la masse d'un litre d'eau prise à son maximum de densité, dérivée première du kilogramme le masse du décimètre cube d'eau prise à son maximum de densité, dérivée première du kilogramme

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES			MULTI et S MULT USUELS		OBSERVATIONS	
UNITÉ	DÉFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	VAL EN METS	DENOMINATION		VALEUR
Pression	Piedle Pression uniforme qui, se partant sur la surface de première courbe, produit un effort total de 1 Système		10^4	Myriapiede mps	$\cdot 10000$ ps	L'hectopiede est employé parfois aussi, sous le nom de Bar, pour la mesure des pressions barométriques
				Hectopiede hps	$\cdot 100$ ps	
Kilogramme-poids	Pression uniforme qui, se partant sur la surface prise pour unité, produit un effort total de 1 Kilogramme-poids		10^{-4}	Pièze ps	$\cdot 1$ ps	Unités CGS 1 Mégabarye égale 1 mégadyne par cm ² La pression atmosphérique moyenne de 76 cm de mercure à 0° et sous l'accélération normale de la pesanteur (980,665 cm/sec ²) - fréquemment employée aussi comme unité de pression correspond à 1,013 hectopiede ou à 1,033 Kg poids par cm ²
				Centipiede cps	$\frac{1}{100}$ ps	
A titre transitoire						
				Kilog poids par m ²	$\cdot 0,98$ mps	
				Kilog poids par cm ²	$\cdot 0,98$ hps	
				Kilog poids par dm ²	$\cdot 0,98$ cps	

V - Unités électriques

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES			MULTI et S MULT USUELS		OBSERVATIONS	
UNITÉ	DÉFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	VAL EN METS	DENOMINATION		VALEUR
Résistance électrique	1 milliard d'unités de résistance du système électromagnétique CGS	Etalon. Bilan international assistance offerte à un courant invariable par une colonne de mercure de section uniforme, sous une température de 0°, avec une longueur de 0,0335 et une masse de 16,4521g	10^9	Mégohm Mo	$\cdot 1000000$ O	10 millions d'unités de résistance du système électro-magnétique M.T.S. Unité principale
				OHM O	$\cdot 1$ O	
Intensité de courant électrique	1 dixième de l'unité de courant du système électromagnétique C.G.S.	Représentation Ampère international, intensité du courant uniforme qui dépose par seconde 0,00111800 g d'argent par électrolyse d'une solution aqueuse de nitrate d'argent.	10^{-1}	Kilampère kA	$\cdot 1000$ A	1 cent millièmes de l'unité de courant du système électro-magnétique M.T.S. Unité principale
				AMPÈRE A	$\cdot 1$ A	
				Miliampère mA	$\frac{1}{1000}$ A	
				Microampère μ A	$\frac{1}{1000000}$ A	
Différence de potentiel	Différence de potentiel existant entre les extrémités d'un conducteur dont la résistance est 1 ohm. L'excès par un courant invariable égal à 1 ampère	Représentation Volt international (ou équivalent) égal à 1/1000 de la force électromotrice à la température de 20° de la pile normale de cadmium.	10^2	Volt V	$\cdot 1$ V	
				Millivolt mV	$\frac{1}{1000}$ V	
				Microvolt μ V	$\frac{1}{1000000}$ V	
Quantité d'électricité	Quantité d'électricité transportée, pendant une seconde, par un courant invariable de 1 ampère	Représentation Coulomb international, produit d'une quantité d'électricité qui correspond au dépôt électrolytique de 0,00111800 g d'argent.	10^{-1}	Kilocoulomb kC	$\cdot 1000$ C	L'ampère-heure vaut 3600 coulombs
				Coulomb C	$\cdot 1$ C	

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES			MULTI et S MULT USUELS		OBSERVATIONS	
UNITÉ	DÉFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	VAL EN METS	DENOMINATION		VALEUR
VI - Unités calorifiques						
Température	Degré Centésimal Pour les températures supérieures à 240° Variation de température produisant la centième partie de l'accroissement de pression que subit une masse d'un gaz parfait quand, le volume étant constant, la température passe du point 0 degré (température de la glace fondante) au point 100° (température d'ébullition de l'eau), ces deux points répondant aux définitions qui ont été données les conférences générales des poids et mesures de 1889 et de 1913	Représentation Variation de température qui produit la centième partie de l'accroissement de pression que subit une masse d'hydrogène, quand, le volume restant constant, la température passe de celle de la glace pure fondante à celle de la vapeur d'eau distillée en ébullition (100°) sous la pression atmosphérique normale; la pression atmosphérique normale est représentée par la pression d'une colonne de 760 mm de hauteur ayant la densité de 0,001253 et soumise à l'intensité normale de la pesanteur mesurée par une accélération égale à 9,80665 m/sec ² et en secondes	10^2	DEGRÉ CENTÉSIMAL	$\cdot 1$ °	Unité principale
Quantité de chaleur	Thermie Quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centésimal la température d'une masse de 1 tonne d'un corps dont la chaleur spécifique est égale à celle de l'eau à 15° sous la pression de 1,013 hectopiede (pression de 1,013 atmosphère normale)		10^3	Microthermie ou Grande calorie	$\frac{1}{1000}$ EA	Pratiquement le microthermie équivaut à 4,18 joules ou à 0,868 Kilogramme force dans l'étendue de la température
				Microthermie ou Petite calorie	$\frac{1}{1000000}$ EA	
				Thermie	$\cdot 1$ EA	Simple dans les industries frigorifiques
					$\cdot 1$ EA	

NOM	UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULT et S/MULT usuels		OBSERVATIONS
	DEFINITION	ETALON et REPRESENTATION	DENOMINATION	VALEUR	
VII - Unités optiques					
Intensité lumineuse Bougie décimale	Source d'intensité égale à un vingtième de celle de l'étalon violet	<p align="center">Etalon.</p> <p><i>l'étalon violet, source lumineuse constituée par une aire, égale à celle d'un carré de 1 cm de côté, prise à la surface d'un bain de platine reposant normalement à la température de la solidification, conformément aux décisions de la conférence internationale des Poids et Mesures (1901) et de la Conférence internationale des Poids et Mesures (1921).</i></p> <p align="center">Représentation.</p> <p>La bougie décimale est représentée pratiquement et d'une manière permanente par une fixation déterminée de la moyenne des intensités mesurées mesurées par photométrie à l'aide d'au moins cinq des lampes incandescentes déposées au Conservatoire national des arts et métiers.</p>	Bougie décimale	bd	Unité principale
		Flux lumineux, formé d'une source uniforme, de dimensions infinitésimales petites et d'intensité égale à 1 bougie décimale et rayonné, en l'occurrence, dans l'angle solide qui découpe une aire égale à 1 m ² sur la sphère de 1 m. de rayon, ayant pour centre la source	Lumen	lu	
Flux lumineux Lux	Éclairement d'une surface de 1 m ² recevant un flux de 1 lumen, uniformément réparti.		Phot Lux	Lx	10 000 Lx = 1 Lx
Puissance des rayons lumineux Dioptrie	Puissance d'un système optique dont la distance focale est de 1 mètre		Dioptrie	δ	

ANNEXE II
CORRESPONDANCE DES DEGRÉS BAUMÉ¹¹⁾ ET DES DENSITÉS
TABLE I

Aréomètres pour liquides moins denses que l'eau

Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS
10 B	1,0000	24 B	0,9118	39 B	0,8377	52 B	0,7706	68 B	0,7204	80 B	0,6702
11	0,9831	25	0,9055	40	0,8327	53	0,7704	69	0,7199	81	0,6700
12	0,9663	26	0,9000	41	0,8279	54	0,7684	70	0,7191	82	0,6697
13	0,9495	27	0,8949	42	0,8232	55	0,7663	71	0,7183	83	0,6694
14	0,9327	28	0,8899	43	0,8185	56	0,7643	72	0,7175	84	0,6691
15	0,9160	29	0,8857	44	0,8139	57	0,7623	73	0,7167	85	0,6688
16	0,9001	30	0,8813	45	0,8093	58	0,7604	74	0,7159	86	0,6685
17	0,8857	31	0,8770	46	0,8048	59	0,7585	75	0,7151	87	0,6682
18	0,8715	32	0,8827	47	0,8004	60	0,7567	76	0,7143	88	0,6679
19	0,8574	33	0,8823	48	0,7959	61	0,7549	77	0,7135	89	0,6676
20	0,8432	34	0,8824	49	0,7914	62	0,7531	78	0,7127	90	0,6673
21	0,8292	35	0,8823	50	0,7873	63	0,7514	79	0,7119		
22	0,8232	36	0,8823	51	0,7830	64	0,7497				
23	0,8174	37	0,8824	50	0,7788	65	0,7479				

164,32
0,6702

Densités calculées, avec le module 164,32 par la formule $D = \frac{164,32}{n + 130}$ ou $n = \text{degré Baumé}$

TABLE II
Aréomètres pour liquides plus denses que l'eau

Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS
0 B	1,0000	12 B	1,0907	24 B	1,1995	36 B	1,3274	48 B	1,4683	60 B	1,7110
1	1,0070	13	1,0990	25	1,2095	37	1,3448	49	1,5141	61	1,7371
2	1,0141	14	1,1074	26	1,2197	38	1,3574	50	1,5301	62	1,7532
3	1,0212	15	1,1160	27	1,2301	39	1,3703	51	1,5445	63	1,7741
4	1,0285	16	1,1249	28	1,2407	40	1,3834	52	1,5633	64	1,7968
5	1,0358	17	1,1339	29	1,2515	41	1,3968	53	1,5804	65	1,8193
6	1,0434	18	1,1425	30	1,2624	42	1,4105	54	1,5979	66	1,8427
7	1,0510	19	1,1516	31	1,2736	43	1,4244	55	1,6158	67	1,8665
8	1,0588	20	1,1609	32	1,2849	44	1,4386	56	1,6341	68	1,8910
9	1,0668	21	1,1703	33	1,2964	45	1,4531	57	1,6528	69	1,9164
10	1,0748	22	1,1799	34	1,3082	46	1,4679	58	1,6719	70	1,9419
11	1,0828	23	1,1898	35	1,3207	47	1,4829	59	1,6915		

164,32
0,6702

Densités calculées, avec le module 164,32 par la formule $D = \frac{164,32}{n + 130}$ ou $n = \text{degré Baumé}$

11) Ces degrés, généralement employés, sont ceux des aréomètres à graduation ascendante. Ils ne conviennent pas pour les liquides plus denses que l'eau. Les aréomètres à graduation descendante, qui sont ceux des aréomètres des Poids et Mesures et de l'Éclairage ÉLÉMENTEL.

Mesures spéciales usitées dans la marine.

Mesures de longueur.

Mille géographique de 15 au degré de l'équateur.....		7.420
Lieue de 18 au degré du méridien.....		6.173
Lieue de 25 au degré du méridien.....		4.445
Lieue marine ou géographique de 20 au degré.....		5.556
Mille marin de 60 au degré, ou arc du méridien d'une minute, ou tiers de lieue marine.....		1.852
Brasse, 5 pieds.....	1 ^m ,624	
Encâblure nouvelle.....	200 ^m ,000	
Encâblure ancienne, 100 toises.....	194 ^m ,904.	
Nœud (mesure de vitesse).....	1.852 mètres ou 1 mille à l'heure	
	ou 0 ^m ,5144 par seconde.	

Mesures topographiques.

		Kilomètres
		carrés.
Lieue marine carrée de 20 au degré.....		30.8642
Mille marin carré de 60 au degré.....		3.4293
Mille anglais carré.....		2.5899
Kilomètre carré.....	}	0,03240 lieue marine carrée.
		0,29157 mille marin carré.
		0,38612 mille anglais carré.

Mesures de volume.

Tonneau de jauge..... 2,83 mètres cubes.

Mesures spéciales d'un usage général pour certaines substances.

Carat. — Les diamants, pierres précieuses et perles sont évalués par carats. Le carat vaut :

En France.....	g.	0,200
En Angleterre et en Allemagne.....	—	0,2055
En Hollande.....	—	0,205894
Au Brésil.....	—	0,1922

Il y a lieu de distinguer le *carat poids* et le *carat titre*. Ce dernier représente le 24^e d'une unité d'or : ainsi l'or à 23 carats contient 23 parties d'or fin et 1 partie d'alliage.

Ounce. — Pour l'or et l'argent, on compte par *onces* (oz) de g. 31,103496 *deniers* (dwt) de 1^{er},55 et *grains* (grn) de 0^{er},0647.

Baril. — Le pétrole est compté officiellement, en Amérique, par *barils* de 2 gallons (159 litres). Pratiquement, il arrive dans des barils de 50 à 52 gallons.

Bouteille. — Le mercure est généralement évalué en *bouteilles* (bottles, flasks, frascos) de g. 347,865.

Mesures anglaises.

Abréviations usuelles	Noms systématiques	Valeurs relatives	Valeurs en mesures françaises
<i>Mesures de longueur.</i>			Mètres
In.	Inch ou pouce.....		0.02540
Ft.	Foot ou pied.....	12 In.....	0.30479
Yd.	YARD	3 Ft.....	0.91438
Fih.	Fathom (brasse).....	2 Yds.....	1.82877
"	Pole Rod ou perch.....	5,5 Yds.....	5.02909
"	Chain.....	4 poles.....	20.11636
"	Furlong.....	220 Yds.....	201.1636
Mi.	Mile.....	1760 Yds.....	1.609.3088
	Lieue marine.....	3,45 $\frac{1}{2}$ mi.....	5.558.5525
<i>Mesures de superficie.</i>			Mètres carrés
"	Square inch ou pouce carré.....		0.000645
"	Square foot ou pied carré.....	144 pouces carrés.....	0.0929
"	Square yard.....	9 pieds carrés.....	0.8361
"	Square pole.....	30 yards carrés.....	25.292
"	Square rood.....	1210 yards carrés.....	1.011.68
"	Square acre.....	4840 yards carrés.....	4.046.72
<i>Mesures de capacité.</i>			Litres
Pt.	Gill.....		0.1420
Qt.	Quart.....	4 Gills.....	0.5679
Gal.	GALLON	2 Pts.....	1.1359
Pck.	Peck.....	4 Qts.....	4.5435
Bu.	Bushel.....	2 Gals.....	9.0869
"	Quarter.....	4 Pcks.....	36.3477
"	Load.....	8 bushels.....	290.7813
"	Chaldron.....	5 quarters.....	1.453.9065
		36 bushels.....	1.308.5160
<i>Mesures cubiques.</i>			Mètres cubes
"	Cubic inch, pouce cube.....		0.000016
"	Cubic foot, pied cube.....	1728 pouces cubes.....	0.028315
"	CUBIC YARD	27 pieds cubes.....	0.764565
"	Tonneau de mer.....	40 pieds cubes.....	1.1326
<i>Poids.</i>			
1° Mesures dites <i>Troy Weight</i> (non usitées, sauf pour les métaux précieux et la pharmacie).			
	Grain.....		0.065
"	Penny weight.....	24 Grains.....	1.555
"	Ounce.....	20 Pennyweights.....	31.103
"	TROY POUND	12 Ounces.....	373.233
2° Mesures dites <i>Avoir du poids Weight</i> (mesures usuelles).			
Dr.	Dram.....		1.772
Oz.	Ounce.....	16 Dr.....	28.350
Lb.	AVOIR DU POIDS POUND	16 Oz.....	453.593
St.	Stone.....	14 Lb.....	6.350.297
Qr.	Quarter.....	2 St.....	12.700.594
Cwt.	Hundred weight.....	4 Qr.....	50.802.377
Ton.	Ton.....	20 Cwt.....	1.016.047.544

Outre cette tonne de 1.016^{kg} (2.240 pounds), il existe une tonne de 907^{kg} (2.000 pounds), dite short ton, peu usitée en Angleterre, mais d'un emploi général aux Etats-Unis, où elle sert pour exprimer de préférence de préférence pour les entreprises de chemins de fer (locomotives par exemple), les poids sont généralement exprimés en livres, et non en tonnes.

Principales mesures spéciales à certains pays étrangers.

Pays	Noms	Valeur
Mesures de longueur.		
Bulgarie	<i>archine</i>	0 ^m ,67
	<i>ped</i>	0,304
Russie	<i>archine</i> (unité)	0,711
	<i>sagène</i>	2,133
	<i>verste</i>	1 ^{km} ,066
Turquie	<i>archine</i>	0 ^m ,757
	<i>pic archene halebi</i> (soieries et laines)	0,685
	<i>pic archene indasé</i> (étoffes de coton)	0,652
Chine	<i>ying</i>	35,80
Indes anglaises	<i>cubit ou hant</i>	1,828
Japon	<i>shaku</i> (unité)	0,303
Perse	<i>guèze ordinaire</i>	0,63
	<i>diraa baladi</i> (tissus)	0,58
Egypte	<i>diraa minari</i> (architectes)	0,75
	<i>kassilah</i>	3,55
Haiti	<i>aune</i>	1,188
Mesures de poids.		
Bulgarie	<i>oka</i>	1 ^{kg} ,284
Russie	<i>fount</i> (unité)	0,409
	<i>poud</i>	16,380
Turquie	<i>oke</i>	1,283
	<i>kantar</i>	56,450
Chine	<i>picul</i> (100 catties)	60,480
Indes anglaises	<i>bazar Maund</i>	37,251
	<i>bazar de factorerie</i>	33,865
Japon	<i>kan</i> (unité)	3,750
Perse	<i>batman</i>	2,970
Egypte	<i>kantar</i>	44,928
Haiti	<i>livre</i>	0,489

Anciennes mesures françaises.

L'unité de longueur était la *toise*, qui valait 6 *pieds* ; le *ped*, 12 *pouces* ; le *pouce* valait 12 *lignes*, et la *ligne*, 12 *points*.

<i>Mesures de longueur.</i>		<i>Inversement.</i>	
Toise	1 ^m ,94903	1 mètre vaut	0,513073 toise.
Pied, 1/6 de toise	0 ^m ,32483	1 mètre vaut	: 3 pieds et 11,296 lig.
Pouce, 1/12 de pied	0 ^m ,02706	<i>Mesures de superficie.</i>	
Ligne, 1/12 de pouce	0 ^m ,00225	Toise carrée	3 ^m ,7987
		Pied carré	0 ^m q,1055

Monnaies.

France. — La loi monétaire du 25 juin 1928 a déterminé que le *franc*, unité monétaire française, est constitué par 65,5 milligrammes d'or au titre de 900 millièmes d'or pur. — Le franc contient donc 0 gr. 05895 d'or pur.

Les pièces d'or seront de 100 francs au titre de 900 millièmes, pesant 6,55 grammes.

Les pièces d'argent seront de 10 et 20 francs au titre de 686 millièmes, pesant 16 et 20 grammes. Leur valeur n'a donc qu'un caractère fiduciaire : elle est respectivement de 3 fr. 40 et 6 fr. 80.

Les jetons de 2 fr., 1 fr., 0 fr. 50 seront remplacés par des jetons de bronze d'aluminium perforés à tranches lisses.

Les billets de 5, 10 et 20 francs n'auront plus cours légal à partir du 31 décembre 1932.

Monnaies des pays étrangers.

	Francs.
Allemagne.....	Reichsmark (100 pfennigs)..... 6,08
Angleterre.....	Livre sterling (20 shillings).... 124,21
Autriche.....	Shilling..... 3,59
Belgique.....	Belga..... 3,548
Bulgarie.....	Leva (100 stotinki).....
Danemark.....	Krone (100 ore)..... 6,845
Espagne.....	Peseta (100 centimos)..... 4,925
Finlande.....	Markkaas (100 pennis)..... 0,643
Grèce.....	Drachme (100 lepta)..... 0,351
Hongrie.....	Pingö (100 fillers)..... 0,446
Italie.....	Lire (100 centesimi)..... 1,343
Norvège.....	Krone (100 ore)..... 6,845
Pays-Bas.....	Gulden (100 cents)..... 10,259
Pologne.....	Zloty..... 2,862
Portugal.....	Escudo (100 centavos)..... 27,580
Roumanie.....	Leu (100 bani)..... 4,925
Russie.....	Rouble (100 kopecks)..... 13,132
Suède.....	Krona (100 ore)..... 6,845
Suisse.....	Franc (100 centimes)..... 4,925
Turquie.....	Livre turque (100 piastres).....
Yogo-Slavie.....	Dinar (100 paras)..... 1,921
Chine.....	Taël (100 caudareens).....
Indes anglaises.....	Roupie (16 annas).....
Japon.....	Yen (100 sen)..... 12,722
Perse.....	Kran (20 ç chahis).....
Siam.....	Tical (100 satangs ou cents)..... 124,21
Egypte.....	Livre égyptienne (100 piastres).....
Erythrée.....	Tallero (100 centièmes).....
Ethiopie.....	Talari (100 centièmes).....
Argentine.....	Peso (100 centavos)..... 10,384
Bolivie.....	Boliviano (100 centavos).....
Bésil.....	Milreis.....
Chili.....	Peso (100 centavos).....
Colombie.....	Peso (100 centavos).....
Costa-Rica.....	Colon (100 centimos).....
Dominicaine.....	Peso (100 centavos).....
Equateur.....	Piastre ou sucre (100 centavos).....
Etats-Unis.....	Dollar (100 cents)..... 25,523
Guatemala.....	Peso (100 centavos).....
Hali.....	Piastre ou Gourde (100 centièmes).....
Honduras et Salvador.....	Peso (100 centavos).....
Mexique.....	Peso (100 centavos)..... 12,722
Nicaragua.....	Cordoba (100 centavos).....
Panama.....	Balboa (100 centièmes).....
Paraguay.....	Peso (100 centavos).....
Pérou.....	Livre péruvienne (100 dineros).....
Uruguay.....	Piastre (100 centesimos)..... 26,397
Vénézuela.....	Bolivar (100centimos).....
Philippines.....	Peso (100 centavos).....

Mesures agraires.

MESURES AGRAIRES	côté du carré corres- pondant	VALEUR EN		
		Pieds carrés	Toises carrées	Mètres carrés
Perche des eaux et forêts....	22 pieds	484	13,44	51,07
Arpent des eaux et forêts....	220 pieds	48400	1344,44	5107,20
Perche de Paris.....	18 pieds	324	9,00	34,19
Arpent de Paris.....	180 pieds	32400	900,00	3418,87
Are.....	10 mètres	947,7	26,32	100,00
Hectare.....	100 mètres	94768,2	2632,45	10000,00

DENSITÉS ET POIDS

Densités des gaz par rapport à l'air.

Air.....	1,00	Cyanogène.....	1,806
Hydrogène.....	0,0692	Ammoniaque.....	0,59
Oxygène.....	1,1056	Protoxyde d'azote.....	1,614
Azote.....	0,972	Bioxyde d'azote.....	1,037
Chlore.....	2,450	Oxyde de carbone.....	0,968
Gaz des marais, CH ₄	0,558	Acide carbonique.....	1,53
Gaz d'éclairage.....	0,399	Acide sulfureux.....	2,27
Hydrogène bicarboné, C ² H ⁴	0,98	Acide sulfhydrique.....	1,19

Densités des vapeurs par rapport à l'air.

Eau.....	0,6235	Chlorhydrate d'ammoniaque..	0,93
Alcool.....	0,794	Brome.....	5,52
Ether.....	0,736	Iode.....	8,71
Acide cyanhydrique.....	0,948	Soufre.....	2,21
Chlore.....	2,45	Phosphore.....	4,42
Chlorure de méthyl.....	1,73	Mercure.....	6,92

Densités des liquides par rapport à l'eau prise à 4°.

Mercure.....	13,596	Alcool absolu.....	0,794
Brome.....	3,18	Ether.....	0,73
Acide sulfurique monohydraté.....	1,84	Esprit-de-bois.....	0,798
Acide azotique fumant.....	1,52	Acide acétique.....	1,06
Acide azotique (NO ³ H).....	1,42	Eau de la mer.....	1,026
Ac. chlorhydrique (HCl.3H ² O).....	1,21	Lait.....	1,03
Sulfure de carbone.....	1,26	Vin.....	0,99
Benzine.....	0,899	Huile d'olive.....	0,917
Essence de térébenthine.....	0,86	Glycérine.....	1,264

Densités des solides.

<i>Métaux.</i>			
Aluminium, Al.....	2,56	Gypse en poudre.....	2,27
Argent, Ag.....	10,53	Verre (moyenne).....	2,5
Cuivre, Cu.....	8,92	Cristal.....	3,33
Etain, Sn.....	7,29	Kaolin.....	2,26
Fer, Fe.....	7,84	Porcelaine.....	2,2 à 2,5
Nickel, Ni.....	8,9	Ardoise.....	2,9
Or, Au.....	19,32	Diamant.....	3,52
Platine, Pt.....	21,50	Charbon de bois en poudre.....	1,5
Plomb, Pb.....	11,37	Charbon de chêne (morceaux).....	0,45
Zinc, Zn.....	7,19	Charbon de peuplier.....	0,24
		Poudre à canon.....	0,84
<i>Alliages.</i>		Caoutchouc, gutta-percha... ..	0,98
Acier.....	7,8	Gomme.....	1,3
Bronze.....	8,4 à 9,2	Amidon, fécule.....	1,5
Bronze d'aluminium.....	7,45	Graisse, beurre.....	0,94
Ferro-nickel.....	8,4	Cire.....	0,96
Fonte blanche.....	7,4 à 7,8	Corps humain (moyenne)...	1,07
Fonte grise.....	6,7 à 7,1		
Laiton.....	7,3 à 8,4	<i>Bois.</i>	
Maillehort.....	8,3 à 8,6	Acajou.....	0,560 à 0,850
<i>Substances diverses.</i>		Acacia.....	0,780 à 0,820
Glace à 0°, H ² O.....	0,918	Aune.....	0,460 à 0,550
Acide sulfurique.....	1,97	Bouleau.....	0,620 à 0,750
Chaux, CaO.....	3,15	Buis de France.....	910
Chlorure de potassium, CaCl ²	1,98	Buis de Hollande.....	1,320
Chlorure de sodium, NaCl.....	2,10	Cèdre du Liban, sec.....	490
Acide arsénieux, As ² O ³	3,7	Charme.....	0,759 à 0,900
Sel ammoniac, NO ³ NH ⁴	1,52	Châtaignier.....	0,550 à 0,740
Nitrate de potasse, NO ³ K.....	2,09	Chêne de démolition.....	0,850
Nitrate de soude, NO ³ Na.....	2,24	Chêne blanc.....	610
Peroxyde de fer, Fe ² O ³	5,12	Cœur de chêne (60 ans).....	1,170
Oxyde de zinc, ZnO.....	5,6	Chêne vert.....	983
Litharge, PbO.....	9,25	Cormier.....	819
Minium, Pb ² O ³	9,07	Ebène.....	1,120 à 1,18
Céruse PbCO ³	6,43	Erable.....	0,560 à 0,640
Oxyde rouge de merc., PbO ²	11,14	Frêne.....	840
Quartz.....	2,65	Gaiac.....	1,339
Soufre, S.....	2,07	Hêtre.....	800
Charbon de cornue.....	1,88	Hêtre (un an de coupe).....	660
Granit, porphyre, tra- chyle.....	2,6 à 2,8	Mélèze.....	540 à 600
Grès.....	2,20 à 2,65	Orme.....	540 à 630
Anthracite.....	1,4	Peuplier.....	390
Houille.....	1,3	Pin rouge.....	660
Asphalte.....	1,06	Pin du Nord.....	740
Naphte liquide.....	0,70 à 0,84	Platane.....	650
Albâtre et marbres.....	2,7	Poirier.....	700 à 840
Calcaires compacts.....	2,7	Pommier.....	730 à 800
		Sapin.....	450
		Teak.....	860
		Liège.....	240

**Table du poids d'un mètre carré de feuille de tôle en fer laminé,
cuivre rouge, plomb, zinc, étain, argent et aluminium.**

Épaisseur des feuilles	TÔLE	CUIVRE rouge	PLOMB	ZINC	ÉTAÏN	ARGENT	ALU- MINIUM
millim.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
1/4	1,947	2,197	2,838	1,715	1,825	2,652	0,675
1/2	3,894	4,394	5,676	3,430	3,650	5,305	1,350
1	7,788	8,788	11,352	6,861	7,300	10,610	2,700
2	15,576	17,576	22,704	13,722	14,600	21,220	5,400
3	23,364	26,364	34,056	20,583	21,900	31,830	8,100
4	31,154	35,152	45,408	27,444	29,200	42,440	10,800
5	38,940	43,940	56,760	34,305	36,500	53,050	13,500
6	46,728	52,728	68,112	41,166	43,800	63,660	16,200
7	54,516	61,516	79,464	48,027	51,100	74,270	18,900
8	62,304	70,304	90,816	54,888	58,400	84,880	21,600
9	70,092	79,092	102,168	61,749	65,700	95,490	24,300
10	77,880	87,880	113,520	68,610	73,000	106,100	27,000
11	85,668	96,668	124,872	75,471	80,300	116,710	29,700
12	93,456	105,456	136,224	82,332	87,600	127,320	32,400
13	101,244	114,244	147,576	89,193	94,900	137,930	35,100
14	109,032	123,032	158,928	96,054	102,200	148,540	37,800
15	116,820	131,820	170,280	102,915	109,500	159,150	40,500
16	124,608	140,608	181,632	109,776	116,800	169,760	43,200
17	132,396	149,396	192,984	116,637	124,100	180,370	45,900
18	140,184	158,184	204,336	123,498	131,400	190,980	48,600
19	147,972	166,972	215,688	130,359	138,700	201,590	51,300
20	155,760	175,760	227,040	137,220	146,000	212,200	54,000

Numéros et poids des feuilles de zinc laminé.

NUMÉROS	ÉPAISSEUR en millim.	POIDS au mèt. carr.	NUMÉROS	ÉPAISSEUR en millim.	POIDS au mèt. carr.
	millim.	kilogr.		millim.	kilogr.
10	0,50	3,50	18	1,34	9,38
11	0,58	4,06	19	1,47	10,29
12	0,66	4,62	20	1,60	11,20
13	0,74	5,18	21	1,78	12,46
14	0,82	5,74	22	1,96	13,72
15	0,95	6,65	23	2,14	14,98
16	1,08	7,56	24	2,32	16,24
17	1,21	8,47	25	2,50	17,50

Les feuilles se vendent par longueurs de 2 mètres et par largeurs de 0^m,50, 0^m,65, 0^m,80 et 1 mètre.

**Poids des fers carrés, ronds, depuis 1 millimètre jusqu'à
105 millimètres de grosseur pour 1 mètre de longueur.**

DIMEN- SIONS	FERS carrés	FERS ronds	DIMEN- SIONS	FERS carrés	FERS ronds	DIMEN- SIONS	FERS carrés	FERS ronds
mill.	kil. gr.	kil. gr.	mil.	kil. gr.	kil. gr.	mil.	kil. gr.	kil. gr.
1	0 008	0 006	36	10 093	7 930	71	39 259	30 846
2	0 031	0 024	37	10 662	8 377	72	40 373	31 721
3	0 070	0 055	38	11 246	8 836	73	41 502	32 548
4	0 125	0 098	39	11 806	9 307	74	42 647	33 508
5	0 195	0 158	40	12 461	9 791	75	43 806	34 119
6	0 280	0 220	41	13 092	10 280	76	44 983	35 343
7	0 382	0 300	42	13 738	10 794	77	46 176	36 280
8	0 498	0 392	43	14 400	11 314	78	47 382	37 228
9	0 631	0 496	44	15 078	11 846	79	48 605	38 189
10	0 779	0 612	45	15 771	12 391	80	49 843	39 162
11	0 942	0 740	46	16 479	12 948	81	51 097	40 147
12	1 121	0 881	47	17 204	13 517	82	52 367	41 144
13	1 316	1 034	48	17 944	14 098	83	53 632	42 154
14	1 526	1 199	49	18 699	14 692	84	54 952	43 176
15	1 752	1 377	50	19 470	15 296	85	56 208	44 210
16	1 994	1 566	51	20 257	15 916	86	57 600	45 256
17	2 251	1 768	52	21 059	16 546	87	58 947	46 315
18	2 523	1 983	53	21 876	17 183	88	60 310	47 386
19	2 811	2 209	54	22 710	17 843	89	61 689	48 469
20	3 115	2 448	55	23 559	18 510	90	63 088	49 563
21	3 435	2 698	56	24 423	19 189	91	64 486	50 671
22	3 769	2 962	57	25 303	19 881	92	65 918	51 791
23	4 120	3 237	58	26 199	20 584	93	67 358	52 923
24	4 486	3 525	59	27 110	21 300	94	68 815	54 067
25	4 868	3 824	60	28 036	22 028	95	70 287	55 224
26	5 265	4 136	61	28 979	22 769	96	71 774	56 393
27	5 677	4 461	62	29 937	23 521	97	73 262	57 574
28	6 106	4 797	63	30 911	24 286	98	74 776	58 644
29	6 550	5 146	64	31 900	25 063	99	76 330	59 972
30	7 009	5 507	65	32 884	25 853	100	77 880	61 190
31	7 484	5 880	66	33 925	26 654	101	79 445	62 420
32	7 975	6 266	67	34 960	27 468	102	81 026	63 662
33	8 481	6 664	68	36 012	28 294	103	82 623	64 916
34	9 003	7 074	69	37 079	29 133	104	84 235	66 133
35	9 540	7 496	70	38 161	29 983	105	85 863	67 462

TABLES DIVERSES.

Météorologie.

Valeur moyenne de la colonne barométrique aux diverses altitudes.

Altitude.	Hauteur barométr.	Altitude.	Hauteur barométr.
0 mètres	762 millimètres	1.147 mètres	660 millimètres
21 mètres	760	1.269	656
127	750	1.393	640
234	740	1.519	630
342	730	1.647	620
453	720	1.777	610
564	710	1.909	600
678	700	2.043	590
793	690	2.180	580
909	680	2.318	570
1.027	670	2.460	560

Températures.

Température moyenne de Paris, 10°,7.

La plus basse température connue à Paris a été de — 23°,5 le 25 janvier 1795.

A 0^m,30, de profondeur dans le sol, les oscillations de température se font peu sentir et, à 1 mètre, elles sont insensibles.

Thermomètre Réaumur : le 0° correspond au 0° du centigrade, et le 80° correspond à 100° centigrades; les nombres de degrés sont donc dans le rapport de 4 à 5.

Thermomètre Fahrenheit : le 32° correspond au 0° du centigrade, et le 212° à 100° centigrades; en retranchant 32 d'un nombre de degrés Fahrenheit, le nombre restant sera au nombre correspondant de degrés centigrades dans le rapport de 9 à 5.

Vitesses du son et de la lumière.

Vitesse du son à la seconde : 337 mètres dans l'air, 1.435 mètres dans l'eau, 3.500 mètres dans la fonte.

Vitesse de la lumière à la seconde : 300.000 kilomètres.

Pression des vents par mètre carré.

	A la seconde par m. carré.	
Vent frais convenable pour les moulins, vitesse.	7 ^m	6 ^k
Vent très fort.....	15 ^m	30 ^k
Tempête.....	24 ^m	78 ^k
Grand ouragan.....	45 ^m	275 ^k

Neige.

Une hauteur de neige est l'équivalent en poids d'une hauteur d'eau 10 fois moindre. — Pour 0^m,25 de neige, c'est donc une surcharge de 25 kilogrammes par mètre carré pour les couvertures.

Points de fusion.

Acier	1400°	Fer doux.....	1600°
Alcool absolu.....	-90°	Fonte de fer.....	1250 à 1275°
<i>Alliages :</i>		— aciérée.....	1200 à 1300°
1 plomb, 1 étain.....	241°	— blanche.....	1100°
1 plomb, 3 étain.....	186°	— grise.....	1230°
1 plomb, 5 étain.....	194°	— malléable.....	1300°
2 plomb, 9 étain, 1 zinc....	168°	Huile d'olive.....	2°, 5
<i>Alliage de Darcet :</i>		Huile de palme.....	29°
1 plomb, 1 étain, 2 bismuth.	93°	Iode.....	113°, 5
Aluminium.....	650°	Mercure.....	-38°, 5
Antimoine.....	440°	Nickel.....	1452°
Argent.....	1040°	Or.....	1035°
Arsenic.....	410°	Phosphore.....	44°
Beurre.....	30°	Platine.....	1775°
Bismuth.....	265°	Plomb.....	335°
Bronze.....	900°	Soufre.....	114°
Campbre.....	195°	Stéarine.....	61°
Cire blanche.....	68°	Sucre de canne.....	160°
Cobalt.....	1478°	Suif.....	33°
Chrome.....	1520°	Vanadium.....	1720°
Cuivre.....	1093°	Zinc.....	412°
Étain.....	226°		

Points d'ébullition.

Acide acétique.....	120°	Essence de térébenthine...	157°
— azotique ordinaire...	86°	Ether sulfurique.....	35°, 5
— carbonique.....	-78°	Huile de lin.....	387°
— chlorhydrique.....	110°	Iode.....	200°
— sulfureux.....	-10°	Mercure.....	357°, 2
— sulfurique(monohyd.)	338°	Nitrobenzine.....	213°
Alcool.....	78°	Pétrole.....	106°
Benzine.....	80°, 4	Phosphore.....	290°
Brome.....	63°	Potasse caustique.....	175°
Campbre.....	215°	Soufre.....	448°
Sel marin saturé.....	108°	Sulfure de carbone.....	46°
Créosote.....	203°	Zinc.....	929°
Eau de mer.....	103°, 7		

Coefficients de dilatation linéaire.

Acier	0,000012	Fer.....	0,000012
Aluminium.....	0,000023	Fil de fer.....	0,000014
Argent.....	0,000020	Fonte.....	0,000011
Bois de sapin.....	0,000005	Granit.....	0,000008
Briques.....	0,000005	Gypse.....	0,000014
Bronze à canons.....	0,000018	Nickel.....	0,000013
Charbon de bois.....	0,000011	Pierre calcaire à bâtir..	0,000005
Ciment romain.....	0,000014	Plomb.....	0,000029
Cuivre.....	0,000017	Terre cuite.....	0,000005
Cuivre jaune.....	0,000019	Verre.....	0,000009
Étain.....	0,000023	Zinc.....	0,000029

ALLIANCE NATIONALE pour l'accroissement de la population française.

*Mesures prises par l'État, les Départements, les Communes,
en faveur des familles françaises et de la natalité.*

Allocations aux femmes en couches. — Lois des 17 juin, 30 juillet, 2 décembre 1917 et 24 octobre 1919. — Décret des 17 et 26 décembre 1913. — Articles 22 et 290, 54 et 164 du Code du travail. — Repos et primes d'allaitement.

Primes à la natalité. — Décret du 30 avril 1920. — Article 92, loi des finances du 30 avril 1921. — Primes de l'État aux départements et communes instituant des primes de natalité.

Allocations nationales. — Loi d'encouragement aux familles nombreuses du 22 juillet 1923. — Allocation annuelle de 360 francs par enfant à partir du quatrième.

Assistance aux familles nombreuses. — Lois des 14 juillet 1913 et 30 avril 1926. — Allocation de 270 à 300 francs.

Service militaire. — Lois des 31 mars 1928, 27 décembre 1927. — Libération anticipée, fils aîné, sursis. — Allocations aux soutiens de famille.

Réduction d'impôt. — Décret du 24 octobre 1926, loi de finances 30 décembre 1928, 29 décembre 1929, loi de finances 30 juin 1923. — Déduction à la base, déduction par enfant.

Taxe successorale. — Pas d'application si le défunt laisse deux enfants vivants.

Droits de mutation par décès. — Réduction si quatre enfants vivants.

Déduction sur les donations. — Droits réduits suivant nombre d'enfants.

Allocations compensatrices des taxes locales. — Pour le relèvement des tarifs de l'eau, du gaz, de l'électricité et des transports en commun et des droits d'octroi.

Réduction sur frais de voyage. — 30 à 70 0/0 suivant nombre d'enfants vivants.

Réductions. — Sur les dépenses dans les stations hydrominérales diurétiques ou thermales.

Bourses, trousseaux, dégrèvements. — Dans les Établissements nationaux de bienfaisance. — Décret du 8 janvier 1921. — Attributions faites suivant charges de famille.

Enseignement. — Décret 12 février 1926. — Attribution des bourses suivant nombre des enfants vivants, ou remises.

Pensions aux enfants d'une victime d'un accident de travail suivi de mort. — Lois des 1^{er} avril 1899, 12 avril 1906 et 15 juin 1914.

Retraites ouvrières et paysannes. — Loi du 5 avril 1910. — Bonification de 1/10^e pour tout assuré ayant élevé trois enfants jusqu'à 16 ans.

Logements. — Classe ouvrière et prêts aux petits propriétaires, subvention contributions, droit à l'habitation. — Bien de famille, exonérations fiscales.

Fonctionnaires pères de famille. — Indemnités, majorations de pensions. — Rapprochement des fonctionnaires mariés. — Age de la retraite, gratuité de l'externat.

Dotations aux familles nombreuses. — Cognacq-Jay, Académie française, etc...

Assurances sociales. — Loi du 5 avril 1928 et rectificatifs. — Maternité, allaitement, maladies, invalidité. — Vieillesse, décès, pensions d'orphelins, charges de famille. — Allocations et majorations, suivant nombre d'enfants.

Les sommes versées à la famille par l'État, les Départements, les Communes et les caisses de compensation dépassent 2 milliards et demi par an. Pour connaître l'ensemble des mesures dont les familles nombreuses peuvent bénéficier et les conditions à remplir, demander le tract : « Avantages réservés aux familles nombreuses » à l'Alliance nationale pour l'accroissement de la population française, 26, rue du Quatre-Septembre, Paris (2^e). (*Compte chèques postaux, Paris 152.17*).

Pour obtenir chaque jour davantage il faut être nombreux et unis. Inscrivez-vous. — Faites inscrire vos amis à l'Alliance nationale.

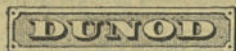
MONTANT DES COTISATIONS

	Cotisations annuelles	Membres à vie. Cotisations de rachat
Membre adhérent.....	8.....	100 francs.
Membre titulaire.....	15.....	300 —
Membre fondateur.....	50.....	500 —
Membre bienfaiteur.....	.....	5.000 —

La cotisation de 8 francs est réservée en principe aux jeunes gens et aux pères de famille nombreuse.

Tout membre reçoit la *Revue mensuelle de l'Alliance nationale*,

EXTRAIT DU CATALOGUE 1930-1931



Voir les conditions de vente page LXIV

FASCICULE I

ORGANISATION INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

I. — ORGANISATION INDUSTRIELLE

- La Technique moderne**, publication bimensuelle illustrée. Ab. annuel France, 125 fr.; Etr., 180 fr. (164 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). — Le n° de l'année en cours 6 fr.
- La Pratique des Industries mécaniques**, publication mensuelle illustrée. Ab. annuel : France, 52 fr.; Etr., 74 fr. (69 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). — Le n° de l'année en cours 5 fr.
- Les Nouveaux livres scientifiques et industriels**, publication trimestrielle. Abonnement annuel. Etranger 20 fr. France... 12 fr.
- La direction des ateliers**, TAYLOR. *Nouv. tir.* 1923 (510 gr.). 31 fr.
- Principes d'organisation scientifique**, TAYLOR. *Edition définitive*, N. T. 1930. In-8° (330 gr.)... 12 fr.
- Le Taylorisme**, LE CHATELIER. In-8° 1928 (320 gr.)... 20 fr.
- Création, organisation et direction des usines**, MATTERN. In-8° avec figures. 2° édition 1926 (590 gr.)... 49 fr.
- Organisation industrielle**, CHARPENTIER. 2° édition 1927. In-8° (970 gr.)... 55 fr.
- L'organisation industrielle américaine appliquée aux entreprises européennes**, J. ROMAN. In-8° (500 gr.). 1927... 51 fr.
- L'organisation des approvisionnements dans l'industrie. Achats et magasins**, Ch. LALANDE. In-8° avec fig. 1929 (250 gr.). 28 fr.
- Standards. Le travail américain vu par un ouvrier français**, H. DUBREUIL. In-16, 1929 (315 gr.)... 18 fr.
- Etude des mouvements**, méthode d'accroissement de la capacité productive d'un ouvrier, GILBRETH. N. T. (190 gr.)... 16 50
- Etude des mouvements appliquée** GILBRETH (260 gr.). 1921. 20 fr.
- Administration industrielle et générale**, FAYOL, 1925 (530 gr.). 20 fr.
- Méthodes économiques d'organisation dans les usines**, IZART. In-8°, avec 15 figures. *Nouv. tir.* 1919. (420 gr.)... 25 fr.
- La sélection psycho-physiologique des travailleurs (conducteurs de tramways et d'autobus)**, LAHY. In-8° 82 fig. 1927. (480 gr.). 48 fr.
- Les examens d'aptitude professionnelle. Théorie et pratique**. F. BAUMGARTEN, traduit par M. THIERS, 1930.... (Sous presse).
- Le moteur humain et les bases scientifiques du travail professionnel**, AMAR, 2° édit. 1923, in-8°. (810 gr.)... 86 fr.
- Les appareils transporteurs mécaniques de bureau**, JACOB. In-8°. 1929. (IRIS - LILLIAD - Université Lille 1).... 48 fr.

II. — ORGANISATION COMMERCIALE

- La technique des affaires**, CHAMBONNAUD, I : *Affaires nouvelles*. 3^e éd. 1926. (580 gr.), 22 fr. ; II : *Affaires et méthode scientifique*, 3^e éd. 1928 (580 gr.), 28 fr. ; III : *Affaires et personnel*, 2^e éd. 1920, (880 gr.), 43 fr. ; IV : *Affaires et art de traiter*, 2^e éd. 1926. (570 gr.), 26 fr. ; V : *Affaires par correspondance*, 2^e éd. 1926. (580 gr.). 31 fr. ; VI : *Affaires et l'imprimé*, 1920 (575 gr.), 30 fr. ; VII : *Affaires et l'annonce*. 1921 (885 gr.), 66 fr. ; VIII : *Affaires et l'affiche*, 1922. (730 gr.), 49 fr. ; IX : *Affaires et leur lancement*. 1922. (670 gr.)..... 36 fr.
 Prix de la collection entière (9 vol.)..... 285 fr.
- Comment on organise une affaire commerciale**. P. SAVARY. In-8°, 1930 (260 g.)..... 30 fr.
- Comment va mon affaire? Une méthode d'auscultation commerciale**, M. NANCEY. In-8°, 1929. (530 gr.)..... 39 fr.
- La statistique appliquée aux affaires**, ISABEL. 1926. (200 gr.) 20 fr.
- Ce qu'il faut savoir pour exporter**, HORSIN-DÉON. 2^e éd. 1926. (250 gr.)..... 28 fr.
- Éléments de commerce**, COUDRAY et MAURE. 1928. (525 gr.). 17 fr.
- Précis de transports commerciaux**. BRUN. I. *Transports sur route, transports par batellerie, transports maritimes, transports par air*. II. *Transports par chemins de fer*..... (Sous presse).
- L'art de vendre**, CODY et MIS. In-8°. *Nouv. tir.* 1927. (420 gr.) 23 fr.
- La représentation commerciale**, SABATIÉ. 4^e éd. 1929. (375 gr.). 19 fr.
- L'organisation d'un service de vente**. URWICK et ANGÉ. (Sous presse).
- Traité pratique des sociétés commerciales** (aux points de vue comptable, juridique et fiscal). BATARDON. 5^e éd. 1929. (1.750 gr.). 83 fr.
- Les Sociétés à responsabilité limitée**, POTTIER, 4^e éd. 1930. (750 gr.)..... 60 fr.
- Précis intégral de publicité**, GÉRIN. 2^e éd. 1926. (450 gr.). 30 fr.
- La publicité suggestive**, GÉRIN. 2^e éd. 1927. In-8°. (920 gr.). 77 fr.
- L'art de faire des affaires par lettre et par annonce**, CODY et CHAMBONNAUD. 3^e éd. N. T. 1930. In-16. (345 gr.)..... 22 fr.
- Le gouvernement des entreprises commerciales et industrielles**, CARLIOZ. 2^e éd. 1926. In-8°, avec 47 figures. (735 gr.). 55 fr.
- Memento des fondateurs de sociétés**, BATARDON. I : *Sociétés en nom collectif, associations en participation et sociétés à responsabilité limitée*. 6^e éd. 1928. (70 gr.), 9 fr. ; II : *Sociétés en commandite simple et en commandite par actions*, 5^e éd. 1926. (130 gr.), 11 fr. ; III : *Sociétés anonymes*. 6^e éd. 1928. (80 gr.)..... 10 fr.
- Le style commercial**, MIS, 2^e éd. *Nouv. tir.* 1926. (320 gr.). 18 fr.
- Dictionnaire français-anglais de la correspondance commerciale**, BOMPAS et METTÉE. In-8°. 1919. (810 gr.)..... 50 fr.

III. — COMPTABILITÉ ET FINANCES

- Cours de comptabilité**, DUFAYEL. 2^e éd. 1925. In-8°. (600 gr.). 29 fr.
- Cours pratique de Comptabilité**, BATARDON. In-16. I : *Nouv. tirage*. 1930. (520 gr.). 21 fr. ; II : 3^e éd. 1929. (430 gr.)..... 21 fr.

La comptabilité à la portée de tous , BATARDON. 5 ^e édit. 1928. (320 gr.).....	16 fr.
Pour tenir sa comptabilité et vérifier ses impôts. A l'usage des commerçants et des artisans. J. TRESPÉUCH, 1930 (165 gr.).	15 fr. 75
Comptabilité commerciale : les procédés modernes, système centralisateur , BATARDON. 4 ^e édit. 1929. (270 gr.).....	12 fr.
Comptabilité commerciale : la tenue des livres sur feuillets mobiles , BATARDON. 3 ^e édit. <i>Nouv. tir.</i> 1927. In-16, 14 fig. (180 gr.).	9 fr.
Notions sommaires de comptabilité industrielle , BATARDON. In-16, 2 ^e édit. <i>Nouv. tirage</i> 1928. (170 gr.).....	11 fr.
Traité pratique de comptabilité industrielle , ANSOTTE et DEFRISE. In-4 ^e , 5 ^e édit. 1922. (470 gr.).....	25 fr.
Comptabilité à résultats mensuels d'une société de distribution d'énergie électrique. DUBOULOZ. In-8 ^e VIII-150 pages, 1930 (300 gr.).....	36 fr.
Précis de comptabilité industrielle appliquée à la métallurgie , BOURNISSEN. In-8 ^e , 2 ^e édit. 1923. (450 gr.).....	28 fr.
L'inventaire et le bilan , BATARDON. 6 ^e édit. 1929. (890 gr.).	55 fr.
Petite méthode graduée pour apprendre à lire un bilan et contrôler des écritures. C. GERSTEN. In-8 ^e , 1929 (210 gr.).	20 fr.
La gestion des affaires , EDM. In-16. 4 ^e édit. 1923. (450 gr.)	31 fr.
Administration financière , QUESNOT. 4 ^e édit. 1930. (910 gr.).	55 fr.
L'organisation du contrôle et la technique des vérifications comptables , J. REISER. In-8 ^e . (420 gr.).....	39 fr.
Simple notions sur les changes étrangers , FAURE. 3 ^e édit. 1927. (190 gr.).....	14 fr.
Traité des opérations de change, bourse, banque. FRANCOIS et HENRY. In-8 ^e , 1929 (650 gr.).....	44 fr.
Organisation bancaire. ALHEINC. In-8 ^e , 1928 (210 gr.).	19 fr.
Comptes faits. Tables des produits , CLAUDEL. 1926. (250 gr.).	19 fr.
Tables des carrés et des cubes, des nombres entiers, des longueurs des circonférences, des surfaces des cercles et des expressions trigonométriques , CLAUDEL. 1928. (220 gr.).	22 fr.
Barème intégral Morin pour le calcul des paies des ouvriers , 1930 1 ^{re} partie. 0 fr. 50 à 5 fr. de l'heure. In-8 ^e (535 gr.). Cartonné.....	32 fr.
2 ^e partie. 5 fr. 05 à 10 fr. de l'heure. In-8 ^e (520 gr.). Cartonné.	32 fr.
Les 2 parties réunies (880 gr.).....	60 fr.
Tarif usuel selon le système métrique pour la réduction des bois carrés et en grume , CORDOIN. 26 ^e édit. 1929. (150 gr.).	14 fr.

IV. — ÉCONOMIE. — LÉGISLATION

Précis de législation usuelle et commerciale , ANGLÈS et DUPONT. In-16, 4 ^e édit. 1927. (540 gr.).....	18 50
Précis de législation ouvrière et industrielle , DUPIN, DESVAUX et PENCIOLELLI. In-16, 2 ^e édit. 1925. (510 gr.).....	22 fr.
La protection légale des dessins et modèles , CHABAUD. 1913 (790 gr.).....	25 fr.
Précis de brevetabilité. Essai de présentation mathématique de la brevetabilité , A. PICARD. In-8 ^e . 1928. (1.230 gr.).....	50 fr.

Les salaires ouvriers et la richesse nationale, BAYLE. <i>Nouv. tirage</i> 1919. (570 gr.).....	19 50
Les meneurs et la question des salaires dans l'industrie textile. DELVOYE. In-16. 1928. (200 gr.).....	15 fr.
Formules de salaires, PAINVIN. 1921. (80 gr.).....	5 50
Comment établir les salaires de demain, DANTY-LAFRANCE. <i>Nouv. tirage</i> 1919. (120 gr.).....	7 fr.

V. — HYGIÈNE

Cours d'hygiène générale et industrielle, BATAILLER et TRESFONT. In-16, avec 148 figures. <i>Nouv. tir.</i> 1928. (610 gr.).....	13 fr.
Organisation et Hygiène sociales, <i>Essai d'hominculture</i> , AMAR. In-8°. avec 110 fig. 1927. (1.190 gr.).....	126 fr.
Applications de la biologie à l'art de l'ingénieur, IMBEAUX. In-8°. 1922. (400 gr.).....	23 50
Hygiène et secours et premiers soins à donner aux malades et aux blessés, NOIR. In-16, avec 79 fig. 1896. (590 gr.)...	33 50

FASCICULE 2

ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL et PROFESSIONNEL

Orientation professionnelle des jeunes gens et jeunes filles, MOUVET. In-8°. 1928. (450 gr.).....	20 fr.
---	--------

I. — MATHÉMATIQUES

Cours d'arithmétique, PHILIPPE et DAUCHY. 3 ^e édit. 1929. (540 gr.).....	25 fr.
Problèmes et exercices d'arithmétique, avec solutions, PHILIPPE et DAUCHY. 2 ^e édit. 1924. (500 gr.).....	25 fr.
Éléments d'arithmétique commerciale suivis de notions d'algèbre financière, à l'usage des Ecoles de commerce. P. PHILIPPE. In-8°, VIII-372 p. 1930 (475 gr.).....	22 fr. 50
Éléments d'algèbre, PHILIPPE et DAUCHY, 3 ^e édit. 1925. (440 gr.).....	19 fr.
Cours de géométrie, PHILIPPE et FROUMENTY. In-16, 1925. I : 374 fig. 2 ^e édit. 1925. (360 gr.), 15 fr.; II : 2 ^e édit. 1928 (490 gr.)	20 fr.
Notions élémentaires de géométrie descriptive appliquée au dessin, HARANG et BEAUFILS. 5 ^e édit. 1928, 142 fig. (275 gr.).....	9 75
Géométrie descriptive (<i>candidats A. et M.</i>), HARANG. 3 ^e édit. 1929. (185 gr.).....	10 fr.
Trigonométrie, HARANG. In-16, 113 fig. 2 ^e édit. 1926. (220 gr.)	11 fr.
Trigonométrie rectiligne, par DORGEOT. 1920. (290 gr.)..	19 fr.
Cours préparatoire de mathématiques spéciales, Algèbre et trigonométrie, WEBER. In-8°. 1925, (1.010 gr.).....	50 fr.
Mathématiques, DARIÈS, 310 fig. 2 ^e édit. 1925, (660 gr.)..	42 fr.

- Les mathématiques après l'école primaire**, TRIPARD. 2^e édit. 1922. (460 gr.) 15 fr.
- Les mathématiques de l'ouvrier moderne**, VEZO. In-16. 3 vol.
Tome I : *Arithmétique, Algèbre*, 21 fig. 2^e édit. 1927. (375 gr.).
13 fr. — Tome II : *Géométrie*, 575 fig. 2^e édit. 1926. (410 gr.). 12 fr.
— Tome III : *Mécanique*. 233 fig. 1926. (325 gr.) 14 fr.
- Le calcul intégral et différentiel à la portée de tout le monde**, THOMPSON et GÉRARD. In-16, 3^e édit. 1924. (470 gr.)... 35 fr.
- Le calcul intégral facile et attrayant**, BESSIÈRE. In-16, 2^e édit. 1929. (255 gr.) 15 fr.
- Le calcul des probabilités à la portée de tous**, HALBWACHS et FRÉCHET. In-16. avec fig. 1924. (500 gr.) 29 fr.
- La relativité vue simplement**. G. BESSIÈRE. In-16, 1930 (195 gr.) 15 fr.
- La pratique des abaques**, JAMIN. Gr. in-8°. 1923. (650 gr.). 28 fr.

II. — DESSIN

- Carnet d'atelier. A l'usage des Ecoles primaires supérieures et des diverses écoles professionnelles**, J.-M. VALMALETTE. In-8°, 1925. (125 gr.) 4 fr.
- Travaux graphiques**, JAULIN, avec 739 fig. 1909. (650 gr.). 42 fr.
- Traité de dessin géométrique**, RAULT. Tome I : *Perspective conique* (partie élément.), avec atlas de 11 pl. 1920. (310 gr.), 15 fr.; Tome II : *Perspective conique*, avec atl. de 21 pl. 1921. (540 gr.) 25 fr.
- Cours de dessin industriel**, DUPUIS et LOMBARD. I : *Introduction*. 395 fig. et 3 pl. 2^e édit. *Nouv. tir.* 1928. (480 gr.), 15 fr. 50; II : *Technique*, 280 fig. et 20 pl. 2^e édit. *Nouv. tirage* 1929 (440 gr.). 15 fr.; III : *Planches d'exécution* de 32 pl. 2^e édit. 1924. (420 g.). 18 fr.
- Technique du croquis et du dessin industriel**, MAREC. 3^e édit. 1926. In-4°, avec 260 fig. et 4 pl. (420 gr.) 25 fr.
- Traité pratique de dessin industriel**, MARTIN. 4^e édit. 1924. (330 gr.) 30 fr.
- Pour le dessinateur**, DE THELLESME. (240 gr.). 1925. 16 50
- Le dessin et la composition décorative appliqués aux industries d'art**, COUTY. In-16, avec 462 fig. *Nouv. tir.* 1922. (420 gr.). 24 fr.

III. — PHYSIQUE

- Physique (classes de Spéciales)**, BOLL et FÉRY. Tome I : *Optique* 1927. 19 fr. 50; Tome II : *Chaleur, gaz, changements d'états, électricité, magnétisme*, 1929. (720 gr.) 38 50
- Précis de physique**, BOLL et FÉRY. 2^e édit. *refondue*. In-8°. Tome I : *Statique, dynamique, pesanteur, hydrostatique, optique*. 1927. (600 gr.), 40 fr.; Tome II : *Chaleur, gaz, changements d'états, électricité, magnétisme*, 1927. (720 gr.) 38 50
- Cours de physique générale**, OLLIVIER, I : In-8°, avec 408 fig. 3^e édit. 1927, 84 fr.; II : In-8°, avec 149 fig. 3^e édit. 1929. (1.310 gr.), 63 fr.; III : In-8°, avec fig. 2^e édit. 1923. (1.400 gr.) 63 fr.
- Mécanique et physique à l'usage des candidats aux écoles d'Arts et Métiers**, GOUARD et HIERNAUX. 1929. (690 gr.). 36 fr.
- Notions de physique (section commerciale)**, CHAPPUIS et JACQUET. In-16, avec 271 fig., 2^e édit. 1923. (350 gr.) 16 fr.

Éléments de physique (section industrielle), CHAPPUIS et JACQUET.
In-16, avec 376 fig., 7^e édit. 1927. (390 gr.)..... 17 fr.

IV. — CHIMIE (voir pages XLVIII et suivantes.)

V. — MÉCANIQUE (voir pages XL et suivantes.)

VI. — ÉLECTRICITÉ (voir pages XLV et suivantes.)

VII. — FRANÇAIS, HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE

Les lectures de la profession, A. et F. FRANCHET. 2^e édit. 1928.
(320 gr.)..... 11 fr.

La culture générale des jeunes gens se destinant à l'industrie,
A. FRANCHET et L. FRANCHET. In-16, 1921. (370 gr.)... 13 fr.

**Morceaux choisis des meilleurs auteurs français des XVII^e, XVIII^e
et XIX^e siècles**, PÉRIÉ et CHÉPIN. 2^e édit. 1925. (160 gr.)..... 20 fr.

Le français, l'histoire et la géographie, GRIGAULT. 1917. (290 gr.).
8 fr.

**La composition française, l'histoire et la géographie, aux examens
des Ecoles d'A. et M.**, GRIGAULT. 1924. (110 gr.)... 6 fr.

Cours d'histoire contemporaine, RISSON et MOUSSET. I : *La France
de 1789 à 1848*. 2^e édit. *Nouv. tirage*. 1924. (230 gr.), 13 fr.; II : *La
France et le monde de 1848 à 1925. Instruction civique*. 4^e édit. 1925.

(420 gr.)..... 18 fr.

Cours de Géographie commerciale, BERTRAND, 2^e édit. *mise à
jour d'après les derniers traités*. 1925. (450 gr.)..... 21 fr.

Géographie générale et économique, GRIGAULT. 1926. (450 gr.) 20 fr.

Collection des grands ports français (voir p. LIX).

VIII. — STÉNOGRAPHIE

Sténographie (système Prévost-Delaunay), JULIEN. 2^e édit. 1926.
(450 gr.)..... 16 fr.

Cours progressif de sténographie, ZRYD. 1918. (420 gr.). 14 fr.

Sténographie, 20 devoirs (système Prévost-Delaunay). DEROUIN.
(270 gr.). 1919..... 11 fr.

Adaptation phonétique à l'anglais, THIÉBAULT. 3^e édit. 1922.
(100 gr.)..... 6 fr.

Adaptation phonétique à l'espagnol, POSTIEF. 1920. (130 gr.). 8 fr.

IX — LANGUES ÉTRANGÈRES

Je lis l'anglais, CHAMBONNAUD. In-8^e. 1919. (230 gr.)..... 8 fr.

Fred and Maud at home (1^{er} livre d'anglais), CHAMBONNAUD et
TEXIER. 3^e édit. *Nouv. tir.* 1926. (370 gr.)..... 19 fr.

Fred and Maud across the Channel (2^e livre d'anglais), CHAM-
BONNAUD et TEXIER. 2^e édit. *Nouv. tir.* 1926. (350 gr.)... 16 fr.

Fred and Maud round the World (cours supérieur d'anglais usuel),
CHAMBONNAUD et TEXIER. In-16, avec fig. 1917. (380 gr.). 13 fr.

Business english (*anglais commercial*), CHAMBONNAUD et TEXIER,
1926. (400 gr.)..... 21 fr.

L'anglais commercial et industriel, DELOGE et VAN GORP. 4^e édit.
1928. (410 gr.)..... 21 fr.

Formulaire français-anglais de correspondance commerciale.	
GILLY. 1927. (240 gr.).....	16 fr.
Primer curso de lengua castellana, LOURTAU. 2^e édit. <i>Nouv. tir.</i>	
1925. (250 gr.).....	12 fr.
Segundo curso de lengua castellana, LOURTAU. 1912. (540 g.)	15 fr.
Vade-mecum espanol del comerciante, LOURTAU et ARIZMENDI.	
In-16, avec fig. et pl. 2 ^e édit. 1920. (390 gr.).....	21 fr.
Cours d'allemand commercial, MERESSE. 2^e éd. 1925. (230 gr.)	18 fr.

FASCICULE 3

MÉCANIQUE ET MACHINES

I. — GÉNÉRALITÉS

Cours de résistance des matériaux : Application au calcul des éléments de machines, BONHOMME. In-8^o, 461 fig. 1919. (1.510 gr.)	98 fr.
Comment tenir compte des chocs dans les calculs pratiques de résistance des matériaux, par JANNIN. In-8^o. 1925. (490 g.)	49 fr.
La mécanique appliquée, théorique, numérique et graphique, DORGEOT. In-4^o, avec 617 fig. 1918. (1.740 gr.).....	108 fr.
Cinématique théorique et appliquée, DORGEOT. 1919. (1.020 gr.)	77 fr.
Les machines motrices, DAUCHY et JACQUET. 1925. (480 gr.)	22 fr.
Cours élémentaire de mécanique industrielle, GOUARD et HIERNAUX. I, 414 fig. 4^e éd. 1930. (480 gr.), 22 fr. 50; II, 327 fig. 2^e éd. <i>Nouv. tir.</i> 1925, (440 gr.), 22 fr. 50; III, 196 fig. 3^e éd. 1928, (320 gr.)	15 fr.
Mécanique, hydraulique, thermodynamique, DARIÈS. 2^e édit. 1906. (920 gr.).....	55 fr.
Principes généraux de thermodynamique, MONTEIL. 1920. (410 gr.).....	25 fr.
Etudes sur la chaleur, ROSZAK. In-8^o. 1925 (610 gr.).....	50 fr.
Nouvelles études sur la chaleur, ROSZAK et VÉRON. In-8^o, avec fig. 1929. (1.450 gr.).....	208 fr.
La transmission de la chaleur, TEN BOSCH, traduit d'après la 2^e édit. allemande, par P. L. In-8^o. 1929. (690 gr.)....	83 fr. 50
Précis de technologie mécanique, FLEURY. 2^e édit. 1929 (700 gr.)	50 fr.
Des mécanismes élémentaires, LOCHE. 395 fig. 1919. (320 g.)	28 fr.
Théorie simplifiée des mécanismes élémentaires, LOCHE. 1920. (270 gr.).....	19 fr.
Les essais de machines, ROYDS, trad. par B. GIRAUD. 1925. (1.310 g.)	98 fr.
La pratique des essais de machine, BOYER-GUILLON. 1927. (630 gr.)	67 fr.
Le contrôle de la dureté des métaux dans l'industrie. P. ROUDIÉ, 1930 (325 gr.).....	26 fr.
Aide-mémoire de l'ingénieur-mécanicien, IZART. 5^e édition 1928. (1.600 gr.)	105 fr.

Guide pratique de l'ouvrier mécanicien. WALKER-HAPPICH. In-16. 303 fig. 1927. (560 gr.).....	40 fr.
Guide pratique d'atelier, PERDRIAT. 1921. (170 gr.).....	24 fr.
Manuel du mécanicien, MAILLOT. 3 ^e éd. N. t. 1924. (240 gr.)..	16 fr.
Mécanique. Formulaire d'Atelier, ADAM. 1927. (125 gr.)....	10 50
Pour le monteur mécanicien, A. LEFÈVRE. 1929. (205 gr.)..	18 fr.
Pour l'ajusteur mécanicien, A. LEFÈVRE. 2 ^e éd. 1928. (208 gr.)	17 25
Pour le contremaître industriel, A. LEFÈVRE. 1926. (175 gr.)	16 50
Carnet d'atelier. Exercices gradués d'ajustage à l'usage des cours d'apprentissage, des Ecoles et des cours professionnels, A. MARQUET. In-4 ^e . 1929. (220 gr.).....	16 fr.
Carnet d'atelier, à l'usage des Ecoles primaires supérieures et des écoles professionnelles, J.-M. VALMALETTE. 1929. (125 gr.)...	4 fr.
Le travail manuel des métaux : forge, chaudronnerie, ajustage, HOUA. In-16, 192 fig. 1923. (220 gr.).....	12 fr.
Manuel de traçage dans la chaudronnerie et la charpente en fer, HERMANN et DEYSINE. 1924. (210 gr.).....	20 fr.
Traçage des constructions métalliques et de chaudronnerie, BOTTIEAU. 2 vol. 1926. (770 gr.).....	61 fr.
Aide-Mémoire du constructeur de chaudronnerie. L. GENDRON. In-8 ^e , 1930 (280 gr.).....	35 fr.
Pour le chaudronnier, TUROT-LEDoux. In-16. 1929. (260 gr.)	19 50
Formulaire du tôlier-chaudronnier, ADAM. 1929. (155 gr.)..	12 50
Aide-mémoire de l'ouvrier mécanicien, JACQUET. 2 ^e édit. 1920. (300 gr.).....	21 fr.
Recueil d'essais d'ajustage, LE COZLER. 1925. (360 gr.)...	22 fr.
Le petit outillage moderne du mécanicien, JACQUET. 2 ^e édit. 1927 (190 gr.).....	12 fr.
Le contremaître mécanicien, LOMBARD et CAEN. 2 ^e édit. 1925. (660 gr.).....	42 fr.
Les engrenages. Calcul. Rendement. Exécution. Applications à l'automobile, R. MIGNÉE. In-8 ^e , avec fig. 1929. (550 gr.).....	62 fr.
Les ressorts, REYNAL. In-16. 2 ^e édit. 1927. (160 gr.).....	20 fr.
Recueil de graphiques, C. REYNAL, 16 pl. 1924. (430 gr.)..	35 fr.
Etude sur les courroies de transmission, CARLIER. 1923. (130 gr.)	14 fr.
Comment utiliser au mieux les courroies de transmission, GUILLOU. In-16. 2 ^e édit. 1929 (190 gr.).....	8 fr.
La pratique du graissage, THOMSEN et CHAILLOU. 1925. (1.500 gr.)	119 fr.

II. — CHAUDIÈRES ET MACHINES A VAPEUR

Chaudières à vapeur, DEJUST et TURIN. 2 ^e édit. 1919. (960 g.)	71 50
Cours pratique de chauffe et de chaudières industrielles, JOLLY. In-16, avec 276 fig. 1928. (470 gr.).....	33 fr.
La chaufferie moderne. Alimentation des chaudières et tuyauteries à vapeur, GUILLAUME et TURIN. 2 ^e édit. 1921. (860 gr.)	53 fr.
La chaufferie moderne. Les foyers de chaudières, TURIN. 484 fig. 2 ^e édit. 1925. (1.060 gr.).....	91 fr.
Méthodes économiques de combustion dans les chaudières à vapeur, IZART, 115 fig. 4 ^e édit. 1920. (1.000 gr.).....	56 fr.

- La vapeur à très haute pression.** F. MUNZINGER, traduit d'après l'édition allemande par A. SCHUBERT, 1930 (525 gr.).... 62 fr.
- Machines à vapeur et machines thermiques diverses,** DEJUST et DOZOUL, 440 fig. 2^e édit. 1925. (810 gr.)..... 68 fr.
- Cours de machines à vapeur,** JOLLY, 350 fig. 1924. (470 gr.). 48 fr.
- L'aptitude élastique des tuyauteries de vapeur au point de vue dilatation,** H. CARLIER. In-8°. 76 fig. 1928. (300 gr.)..... 45 fr.
- Législation et contrôle des appareils à vapeur,** CUVILLIER, 1928. (480 gr.)..... 44 fr.
- Turbines à vapeur et à gaz,** A. STODOLA, trad. par E. HAHN, 2 vol. avec 1.138 fig. et 6 planches. 2^e édit. 1925. (4.500 gr.).... 445 fr.
- Diagramme de Mollier,** STODOLA et HAHN, 3 pl. 1926. (210 gr.) 25 fr.
- Les turbines à vapeur,** GOUDIE et GIRAUD, 1921. (1.550 gr.). 84 fr.
- Incidents de fonctionnement des machines à vapeur,** HANKENS. In-16, avec 276 figures. 1921. (400 gr.)..... 35 fr.

III. — MACHINES ET TURBINES HYDRAULIQUES POMPES, COMPRESSEURS

- Cours d'hydraulique théorique,** MONTEIL, 1919. (310 gr.). 21 fr.
- Machines hydrauliques,** BERGERON, 1928. (1.120 gr.)... 105 fr.
- Les turbines hydrauliques et les turbo-pompes,** R. THOMANN. Traduit par P. ILTIS. In-8°, avec 147 fig. 1924. (790 gr.). 49 fr.
- Les turbines hydrauliques à grand débit,** DE MORSIER, 1920. (220 gr.)..... 16 50
- Les pompes centrifuges,** C. PFLEIDERER, traduit par BERGERON In-8° avec fig. 1929. (960 gr.)..... 121 fr.
- Les ventilateurs.** WIESMANN, trad. par PELET, 1927. (540 gr.). 48 fr.

IV. — MOTEURS A GAZ, DIESEL, etc.

- Les moteurs à gaz,** HAEDER et VARINOIS, tome I, 4^e édit. 1925. (590 gr.). 56 fr.; tome II, 4^e édit. 1925. (820 gr.)..... 70 fr.
- Cours élémentaire à l'usage des moteurs et conducteurs de moteurs à gaz,** GUILLOU. In-16, 27 fig. 1920. (900 gr.)... 21 fr.
- Cours de moteurs industriels à combustion interne,** JOLLY. In-16, avec 184 fig. 1920. (390 gr.)..... 24 fr.
- Théorie succincte, conduite et entretien du moteur Diesel,** LE GALLOU. In-8°, avec 145 fig. 2^e édit. 1925. (1.090 gr.)..... 53 fr.
- Les moteurs à huile lourde, à injection directe (semi-Diesel),** LE GALLOU. In-8°, 113 fig. 1924 (920 gr.)..... 59 fr.
- Les moteurs Diesel et les moteurs semi-Diesel,** VAILLOT, 2 vol. In-4°, avec 1.050 fig. et 29 pl. 1923. (4.290 gr.)..... 339 fr.

V. — MACHINES-OUTILS ET APPAREILS DE LEVAGE

- Les machines-outils pour le travail des métaux,** JACQUET. In-8°, avec 173 fig. 1922. (220 gr.)..... 17 fr.
- Les scieries et les machines à bois,** RAZOUS, 2^e édit. 1926. (790 gr.). 44 fr.
- L'usinage du bois,** PETIPAS. In-8°. 35 fig. 1923. (620 gr.)... 39 fr.
- Cours de technologie du bois,** MASVIEL. Tome I : 338 fig. 3^e édit. 1926. (520 gr.), 23 fr.; Tome II, 2^e édit. 1925. 286 fig. (610 gr.) 27 fr.
- Le sclage des métaux,** COBRON. In-4°. 1922. (1.870 gr.). 126 fr.
- La taille des métaux,** TAYLOR et DESCROIX. N. 4. 1919. (920 g.). 44 50

- Les broches à mandriner et le mandrinage à la broche**, VIALLE et VARINOIS. In-8°. 1922. (520 gr.)..... 42 fr.
- Montages d'usinage et outils spéciaux**, COLVIN et HAAS. In-8°, avec 39 fig. 1920. (420 gr.)..... 39 fr.
- Manuel de l'ouvrier tourneur et fileteur**, LOMBARD. 5^e édit. 1926. (250 gr.)..... 18 fr.
- Guide du tourneur-décolleteur**, ADAM. In-16. 1927. (160 gr.). 12 fr.
- Manuel du tourneur-mécanicien**, ADAM. In-8°. 9^e édit. 1930. (135 gr.)..... 10 fr. 50
- Pour le tourneur et le conducteur de machines-outils**, LEFÈVRE. In-16. 1928. (290 gr.)..... 19 50
- Guide pratique de mécanique, filetage et taillage**, BOUDOT. In-16. 4^e édit. 1928. (110 gr.)..... 8 fr.
- Le fraisage**, VARINOIS. In-8°, 586 fig., 2^e édit. 1923. (1.560 gr.) 126 fr.
- Le fraisage**, HANEN. In-8°, 82 fig. 2^e édit. 1920. (210 gr.).. 16 50
- L'emboutissage**, GIANOLI. In-8°, 224 fig. et 3 pl. 1920. (570 gr.) 49 fr
- Poinçons et matrices**, STANLEY et VARINOIS. 1923. (1.020 gr.). 85 fr.
- Découpage, matricage, poinçonnage et emboutissage**, WOODWORTH traduit par J. LÉVY. In-8°, VIII-375 p. 2^e édit., 1930 (690 gr.)..... 56 fr.
- Outils à découper et à emboutir**, V. RICORDEL. in-16, 2^e édit. 1929. (180 gr.)..... 24 fr.
- L'outillage américain pour la fabrication en série**, WOODWORTH et VARINOIS. 2^e édit. *Nouv. tir.* 1920. In-8°, 601 fig. (910 gr.). 70 fr.
- Le travail à la meule dans la construction mécanique**, COLVIN et VARINOIS. In-8°, 286 fig. *Nouv. tir.* 1920. (970 gr.)..... 67 fr.
- La rectification des pièces mécaniques**, GUÉNARD. In-8°, avec fig. 1929. (480 gr.)..... 52 fr.
- L'air comprimé ou raréfié, sa production, ses emplois**, R. CHAMPLY. In-8°, avec fig. 1929. (690 gr.)..... 74 fr.
- Mécanique, électricité et construction appliquées aux appareils de levage**, ROUSSELET. Gr. in-8°. I : *Les ponts roulants actuels*. 286 fig. et 11 pl. 2^e édit. 1921. (2.220 gr.), 133 fr.; II : *Les ponts roulants à treillis et les grues à portiques actuels*. 2^e édit. 1929. (2.590 gr.)..... 178 fr.
- ☐ Tome III. *Les grues terrestres et flottantes. (En préparation).*
- Appareils de levage**, PACORET. 2 vol. in-8°. Tome I : 460 fig. 1922. (1.500 gr.). 114 fr.; Tome II : 19 fig. 1922. (450 gr.)..... 36 fr.

VI. — MACHINES MARINES

- Cours élémentaire de machines marines**, OUDOT. 3^e édit. 1925. (360 gr.)..... 20 fr.
- L'hélice propulsive**, LORAIN, avec 92 fig. 1925. (430 gr.).. 35 fr.
- Les turbines à vapeur marines**, SOTHERN. 1908. (620 gr.). 22 fr.
- Turbines à vapeur**, STODOLA (voir page XLII).

VII. — DIVERS

- Clarification et séparation des liquides par la force centrifuge**, (*appareils sans tamis*) par le docteur B. BLOCK, traduit de l'allemand par J. LÉVY. (*En préparation.*)
- Réparation, montage et entretien des instruments de pesage usuels**, GUEIDON. In-8°, 171 fig. 1926. (270 gr.)..... 52 fr.

FASCICULE 4

AUTOMOBILISME. — AÉRONAUTIQUE

I. — AUTOMOBILISME

- La Vie Automobile**, publication bi-mensuelle illustrée. Ab. annuel : France, 84 fr.; Etr. 150 fr. (130 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit); le n° de l'année en cours. 5 fr.
- Nouvelle Revue automobile**, organe de liaison entre les constructeurs, les agents et les usagers de l'automobile, paraissant tous les mois. Ab. annuel : France et Colonies, 58 fr. ! Etranger, 78 fr. (68 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° de l'année en cours..... 6 fr.
- La Technique Automobile et Aérienne**, publication trimestrielle illustrée. Ab. annuel : France, 40 fr.; Etr. : 50 fr. (47 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° de l'année en cours..... 12 fr.
- Cours d'Automobile (1928-29) de la Vie Automobile**. 1930. (275 gr.)..... 21 fr.
- Pour le chauffeur d'auto**, ROUSSET. 1926. (270 gr.)..... 15 fr.
- Traité élémentaire d'automobile**, PETIT. 1919. (1.520 gr.)..... 77 fr.
- Organisation et fonctionnement des véhicules automobiles**, P. PRÉVOST. In-8° avec 711 fig. 1928 (1.480 gr.). Br..... 93 fr.
- L'acier dans la construction automobile. Le fer et ses dérivés**, DELESTRADE. In-8°. 1919. (490 gr.)..... 35 fr.
- Le moteur à essence**, CARLÈS. In-8°. 1921. (960 gr.)..... 70 fr.
- Construction des moteurs à explosions**, CASALONGA. 1919. (1.210 gr.)..... 56 fr.
- La voiture à essence**, HELDT et PETIT. In-8°. I. *Le moteur*, 1920. (1.270 gr.), 91 fr. — II. *Le châssis*, 1922. (1.220 gr.)..... 91 fr.
- Réglage et essais des moteurs à explosion**. R. LAMY. In-8°, 158 fig. 1929. (570 gr.)..... 64 fr.
- Les moteurs à deux temps**, VENTOU-DUCLAUX. 1929. (640 g.). 34 fr.
- L'allumage des moteurs d'automobile**, SAUR et MARTENOT DE CORDOUX. In-16, avec 34 fig. 2° éd. 1924. (200 gr.)..... 16 fr.
- La bicyclette à moteur**, P. CARRÉ. In-16. 1924. (180 gr.)... 11 fr.
- Carnet de route de « La Vie Automobile »**, PÉRISSE. *Nouv. tirage* 1922. (150 gr.)..... 14 fr.
- Organisation et comptabilité des transports automobiles**, CAQUAS. In-4°. *Nouveau tirage* 1930 (150 gr.)..... 13 fr.

BIBLIOTHÈQUE DU CHAUFFEUR

- Principes et recettes**, RAVIGNEAUX et IZART. 1906. (470 gr.). 16 50
- Précis d'automobile**, CONTET. In-16, 2° éd. 1924. (510 gr.). 30 50
- Le chauffeur au garage**, PRÉVOST. In-16. T. I : *Organisation du garage privé*, 43 fig. 1926. (365 gr.), 22 fr.; T. II : *Les réparations et leur contrôle*, 70 fig. 1926. (365 gr.)..... 22 fr.

- Choix, dépenses, conduite d'une voiture automobile**, P. PRÉVOST. In-16. 1925. (370 gr.)..... 23 fr.
- Le moteur**, PETIT. In-16, avec 197 fig. 6^e édit. 1921. (730 gr.). 56 fr.
- L'équipement électrique des voitures automobiles**, P. PRÉVOST. In-16. 2^e édit. 1928 (325 gr.)..... 31 fr.
- Allumage électrique des moteurs**, SAINTURAT. I : *Allumage par batteries et transformateurs*. In-16, avec 149 fig. 1910. (520 gr.), 21 fr.; II : *Allumage par magnétos (épuisé)*.
- Transmission, embrayage, changement de vitesse et cardan**, RUTISHAUSER. In-16, avec 203 fig. 2^e édit. 1917. (540 gr.). 25 fr.
- Le pneumatique**, PETIT. In-16, avec 76 fig. 1912. (600 gr.). 23 fr.

II. — AÉRONAUTIQUE

- Le bréviaire de l'aviateur**, LEFORT. In-8^o. 1922. (1.000 gr.). 72 50
- L'aviation de transport**, HIRSCHAUER. In-4^o. 1920. (1.270 gr.) 53 fr.
- L'année aéronautique**, HIRSCHAUER et DOLLÉUS. 1919-20. (640 gr.), 35 fr.; 1920-21. (980 gr.), 49 fr.; 1921-22. (690 gr.), 42 fr.; 1922-23. (490 gr.), 42 fr.; 1923-24 (*épuisé*). 1924-25. (780 gr.), 42 fr.; 1925-26. (740 gr.), 42 fr.; 1926-27. (980 gr.), 42 fr.; 1927-28. (1.040 gr.), 42 fr.; 1928-29 (1200 gr.), 42 fr.; 1929-30 (1200 gr.)..... 50 fr.
- Manuel élémentaire du mécanicien d'aviation**, FOURCAULT. 1920. (210 gr.)..... 16 50
- Nos maîtres les oiseaux**, CÉHMICHEN. In-8^o. 1920. (480 gr.). 25 fr.
- Le vol plané**, BRETONNIÈRE. In-8^o, avec 3 pl. 1909. (120 gr.). 5 60
- Les moteurs à explosions dans l'aviation**, MASMÉJEAN et BÉRÉHARE. I: 1918. (570 gr.), 50 fr.; II: 1920. (550 gr.), 50 fr.; III: 1924. (860 gr.)..... 75 fr.
- Réglage des moteurs d'aviation**, R. BARRAU. 1929. (225 gr.). 30 fr.
- Guide de l'aéronaute-pilote**, RENARD. In-16. 1910. (420 gr.). 14 fr.
- Les matériaux des constructions mécaniques et aéronautiques**, MARCOTTE et BÉRÉHARE. In-4^o. 1921. (1.510 gr.)..... 72 50

FASCICULE 5

ÉLECTRICITÉ, TÉLÉGRAPHIE, TÉLÉPHONIE

I. — ÉLECTRICITÉ

- L'Électricien**, bi-mensuel Abt. France, 55 fr.; Etr., 95 fr. (83 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n^o de l'année en cours 3 fr. 50.
- Notions d'électricité générale**, FLEURY. In-16. 1921. (640 g.) 39 fr.
- Précis d'électricité industrielle. Les appareils à courants alternatifs**, SOUBRIER. In-8^o, 109 fig. 1922. (230 gr.)..... 16 50
- Traité d'électricité théorique (prép. à l'École supérieure d'Électricité)**, J. CARVALLO. (1.110 gr.). 1922..... 70 fr.

- Electricité**, GRININGER. I : *Théorie et production*. 2^e édit. 1923. (850 gr.), 60 fr.; II : *Applications industrielles*, 2^e éd. 2 vol. 1926. (1.550 gr.)..... 106 fr.
- Les lois fondamentales de l'électrotechnique**, DEPREZ et SOUBRIER. In-16, avec 301 fig. 1919. (820 gr.)..... 56 fr.
- Cours pratique d'électricité**, ROBERJOT. In-16. 1921. (410 g.). 20 fr.
- Cours élémentaire d'électricité industrielle**, ROBERJOT. 3^e édit. 1928. In-16, avec 474 fig. (680 gr.)..... 24 fr.
- Principes d'électrotechnie**, E. PIERARD. Tome I, in-8°. 4^e éd. 1924. (810 gr.), 64 fr.; — Tome II, in-8°. 3^e éd. 1920. (1.020 gr.), 64 fr.; — Tome III, in-8°, 3^e éd. 1922. (560 gr.)..... 44 50
- Electricité industrielle. Recueil de problèmes élémentaires avec schémas**, F. HARANG. In-16, avec 167 fig. 1921. (330 gr.). 18 fr.
- Travaux pratiques d'électricité industrielle**, ROBERJOT. I : *Mesures industrielles*. 3^e éd. N. T. 1929. (410 gr.), 18 fr.; II : *Etude des machines électriques. Propriétés. Essais*. 3^e éd. N. T. 1929. (420 gr.), 18 fr.; III : *Installations intérieures*. 3^e éd. N. T. 1929. (460 gr.), 19 fr.; IV : *Usines génératrices*. 2^e éd. 1926. (340 gr.). 17 fr.
- Cours d'électrotechnique, courants alternatifs**, GILLON. 1921. (560 gr.)..... 54 fr.
- L'électrotechnique des praticiens**, FISCHER-HINNEN-GAIBROIS. In-8°. 624 pages. 332 fig. 1926. (1.200 gr.)..... 105 fr.
- L'électricité à la portée de tout le monde** (d'après l'ouvrage de Georges CLAUDE), MAURER. In-8°. 1928. (875 gr.)..... 28 fr.
- Pour l'électricien**, DE THELLESME. 2^e édit. 1929. (225 gr.). 17 50
- L'électricité industrielle à la portée de l'ouvrier**, ROSENBERG et MAUDUIT. In-16, avec fig. 7^e édit. *Nouv. tir.* 1928. (700 gr.). 48 fr.
- Manuel pratique de l'ouvrier électricien-mécanicien**, SCHULZ, traduit par STERNBERG. In-8°. 1922. (420 gr.)..... 24 fr.
- Guide élémentaire du monteur électricien**, GAISBERG et HAPPICH. In-8°, avec 231 fig. 1923. (520 gr.)..... 29 fr.
- Aide-mémoire et schémas de l'entrepreneur électricien**, MAURER. In-16, avec 364 fig. 1923. (610 gr.)..... 65 fr.
- Technique du métier d'électricien**, CAILLAULT. 2^e édit. 1922. (350 gr.)..... 17 fr.
- Installations électriques de force et lumière. Schémas de connexions**, CURCHOD. In-8°, 85 pl. 5^e édit. 1925. (690 gr.)... 47 fr.
- Les maladies des machines électriques**, SCHULZ et HAPPICH. 3^e édit. *Nouv. tir.* 1926. In-16, 44 fig. (140 gr.)..... 14 fr.
- Recueil de problèmes avec solutions sur l'électricité**, VIEWEGER et CAPART. 5^e édit. 1926. (875 gr.)..... 72 fr.
- Mesures électrotechniques**, TURPAIN. In-8°. 1920. (590 gr.). 28 fr.
- Génératrices de courant et moteurs électriques**, GUTTON. 3^e édit. 1927. (570 gr.)..... 54 fr.
- Les machines asynchrones à champs tournants, à bagues et à collecteur**, LANGLOIS. In-8°. 268 p. 120 fig. 1926. (620 gr.). 53 50
- Comment choisir un moteur électrique?** MAURER. In-8°. 234 p. 152 fig. 1926. (500 gr.)..... 44 50
- Machines électriques, électrotechnique appliquée**, MAUDUIT. In-8°, avec 566 fig. 4^e édit. *En préparation.*
- La sollicitation mécanique des roues polaires tournant à grande vitesse**, WERNER, traduit de Scherze. In-8°. 1924. (300 gr.) 30 50

- Transformateurs et moteurs d'induction.** CLÉMENT. In-8°. 2^e éd. 1928. (685 gr.)..... 65 fr.
- La construction économique de la machine électrique,** VIDMAR et SCHEPSE. In-8°. 1923. (290 gr.)..... 25 fr.
- Théorie industrielle de l'électricité et des machines électriques,** VERDURAND. In-8°, avec 342 fig. 1919. (1.190 gr.)..... 62 fr.
- Cours d'électricité industrielle. Le courant continu,** MAGONETTE. In-8°, avec 211 fig. et 41 pl. 1923. (660 gr.)..... 35 fr.
- Dynamos et moteurs électriques,** GILLON. I. *Dynamos*, 1924 (990 gr.) 112 fr. — II. *Moteurs*, 1925 (760 gr.) 112 fr. — III. *Plans et croquis de machines électriques*, 1924 (850 gr.)..... 49 fr.
- Cours de mesures et essais de machines électriques,** GILLON. In-8°. 282 p. 365 fig. 1927. (575 gr.)..... 100 fr.
- L'électricité et ses applications industrielles,** GILLON. T. I : 3^e éd. 1927, (540 gr.), 54 fr.; T. II : 3^e éd. 1929, (690 gr.), 54 fr.; T. III : 1921, (450 gr.)..... 54 fr.
- Etude résumée des accumulateurs électriques,** JUMAU. In-8°. avec 124 fig. 3^e éd. 1928. (620 gr.)..... 64 fr.
- Les maladies de l'accumulateur au plomb,** KRETSCHMAR et WALTER. In-16, 82 fig. 1924. (300 gr.)..... 25 fr.
- Théorie des enroulements des machines à courant continu,** SZARVADY. In-8°, avec 40 fig. 1918. (240 gr.)..... 23 50
- La construction des bobinages électriques,** CLÉMENT. 2^e éd. 1926. (750 gr.)..... 66 fr.
- L'exécution des enroulements des machines triphasées,** M. LE CADRE. In-8°, 1930 (235 gr.)..... 31 fr.
- Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques,** TORICES et CURCHOD. 54 pl. 3^e éd. 1927. (220 gr.)..... 20 fr.
- Essais des fils et câbles isolés au caoutchouc,** A.-R. MATTHIS. In-16, 18 fig. 1923. (300 gr.)..... 21 fr.
- Deuxièmes notes sur les huiles pour transformateurs,** MATTHIS. In-8°, 196 p. 21 fig. 1926. (270 gr.)..... 44 50
- Stations centrales de production et sous-stations de transformation d'énergie électrique,** VELLARD. 113 fig. 1924. (520 gr.)..... 42 fr.
- Installations électriques à haute et basse tension,** MAUDUIT. 2 vol. in-8° de 1.406 p., 578 fig. 1926. (1.900 gr.)..... 231 fr.
- La protection des réseaux et des installations électriques contre les surtensions,** CAPART. In-8°, 2^e éd. 1920. (620 gr.)..... 39 fr.
- Appareillage électrique haute tension, Théorie et construction,** BRESSON. In-8° de 464 pages, 379 fig. 1929 (830 gr.)..... 119 fr.
- Abaques pratiques pour le calcul des lignes de transport de force.** GARNIER. 1921. (380 gr.)..... 35 fr.
- Les aimants.** PICOU. In-8°. 110 p. 1927. (240 gr.)..... 22 fr.
- Manuel de l'éclairage et applications pratiques,** FOURCAULT. In-8°. 1928. (565 gr.)..... 51 fr.
- Le chauffage électrique,** BOILEAU. In-8°. 1920. (530 gr.)..... 35 fr.
- Les compteurs d'électricité,** FICHTER. In-8°, 1929. (730 gr.)..... 74 fr.
- Comptage de l'énergie électrique en courant alternatif,** TARTINVILLE. In-8°, 1929 (300 gr.)..... 39 fr.
- Pour éviter l'électrocution,** ROUSSEL. In-16. 1927. (105 gr.)..... 6 fr.
- Les fours électriques industriels et les fabrications électrothermiques,** ESCARD. In-8°, 250 fig. 2^e éd. 1924 (1.540 gr.)..... 119 fr.

- Fours électriques de laboratoire**, ESCARD. 2^e édit. 1920. (260 gr.). 16 50
Manuel pratique des autorisations de voirie pour les distributions d'énergie électrique, BOUGAULT. In-8°. 1920. (740 gr.) 20 fr.

II. — TÉLÉGRAPHIE

- Le système de télégraphie Baudot et ses applications**, MERCY. In-8°. avec 263 fig. 4^e édit. 1929. (850 gr.)..... 62 fr.
Radiotélégraphie, radiotéléphonie, DEJUSSIEU. 1924. (410 gr.). 17 fr.
Manuel pratique de l'amateur de T. S. F., DUROQUIER. 1925. (310 gr.)..... 17 50
Théorie simplifiée de la téléphonie et de la télégraphie sans fil, VERDURAND. 3^e édit. 1923. (130 gr.)..... 7 fr.
Radiotélégraphie pratique et radiotéléphonie, MAURER. In-8°, avec 261 fig. 2^e édit. 1924. (1.050 gr.)..... 60 fr.

III. — TÉLÉPHONIE

- Installations téléphoniques d'après l'ouvrage de SCHILS et CORNET**, par R. PARÉSY. 6^e édit. 1930 (420 gr.)..... 42 fr.
La téléphonie automatique, MILHAUD, 199 fig. 1925. (520 gr.) 54 fr.

FASCICULE 6

CHIMIE. — ANALYSE CHIMIQUE

I. — CHIMIE GÉNÉRALE ET INDUSTRIELLE

- Dictionnaire anglais-français-allemand des mots et locutions intéressant la physique et la chimie**, CORNUBERT. 1922. (770 gr.). 77 fr.
Dictionnaire des produits chimiques commerciaux et de la droguerie industrielle, par A. CHAPLET..... (Sous presse.)
Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. FRÉMY. 67 vol. in-8°, avec fig. — *Conditions de vente sur demande.*
Les mathématiques du chimiste, GAY. In-8°. 1926. (565 gr.). 28 fr.
Chimie générale et industrielle, MOLINARI et MONTPELLIER. In-8°. Tomes I et II : *Chimie inorganique (Introduction; métalloïdes)*, 1920. (2.380 gr.), 131 fr. Tome III (*métaux*). 1921. (1.350 gr.), 99 fr. Tome IV (*Chimie organique, 1^{re} partie*). 1923. (1.380 gr.), 124 fr. Tome V (*Chimie organique, 2^e partie*). 1926. (1.500 gr.)..... 154 fr.

- Memento du chimiste**, BOLL et BAUD, I. *Partie scientifique*. In-16. 676 p. 1927. (700 gr.)..... 116 fr.
 II. *Partie industrielle*. In-16, 686 pages. 1927. (700 gr.).... 105 fr.
- Pour le chimiste**, CHAPLET. In-16, avec 140 fig. 1925. (230 gr.) 16 50
- Cours de chimie, Lois générales. Métalloïdes**. BOLL. (740 gr.). 1927. 47 fr.
- Cours de chimie. Métaux et Cations**, BOLL et ALLARD. In-16, avec 62 fig. 1928. (540 gr.)..... 39 fr.
- Précis de chimie. P.-C.-N.** BOLL et CANIVET. 1927. (820 gr.). 56 fr.
- La chimie des complexes inorganiques**, SCHWARZ et JULLIARD. In-16, avec 41 fig. 1922. (110 gr.)..... 16 50
- Traité de chimie générale**, NERNST et CORVISY. 2° édit. I. *Propriétés générales des corps. — Atome et molécule*. 1922. (1.170 gr.). 84 fr.; II. *Transformations de la matière et de l'énergie*. 1923. (1.000 gr.) 84 fr.
- Cours élémentaire de chimie industrielle**, TOMBECK et GOUARD. In-16, avec fig. 3° édit. *Nouv. tir.* 1928. (430 gr.)..... 15 fr.
- Cours de chimie (sect. commerc.)**, CHARABOT et MILHAU. 3° édit. 1929. (480 gr.)..... 17 fr.
- Chimie à l'usage des candidats aux Ecoles d'arts et métiers**, I° TOMBECK et GOUARD. In-16, avec 160 fig. 1920. (430 gr.)... 21 fr.
- La chimie à la portée de tous**, HICKISCH. 41 fig. 1920. (600 gr.). 40 fr.
- Leçons de chimie organique**. V. THOMAS. (*En préparation.*)
- Les méthodes de la chimie organique**, WEYL et CORNUBERT. I. *Généralités*, 2° édit. 1921. (1.730 gr.), 91 fr.; II : *Monographies, N. T.* 1921. (1.790 gr.), 91 fr.; III : *Monographies, N. T.* 1923. (1.750 gr.). 112 fr.; IV : *Monographies* 1920. (2.090 gr.). 112 fr.
- Travaux pratiques de chimie organique**, ULMANN et CORNUBERT. In-8°, avec 26 fig. 2° édit. *Nouv. tir.* 1925. (340 gr.)..... 30 fr.
- Chimie des colloïdes. Applications industrielles**, P. BARY. In-8°. 1928. (180 gr.)..... 16 fr.
- Les colloïdes : leurs gélées, leurs solutions**, BARY. In-8°, 105 fig. 1921. (1.170 gr.)..... 84 fr.
- Chimie colloïdale**, ZSIGMONDY. 1926. (1.050 gr.)..... 99 fr..
- Les colloïdes métalliques**, BARY. In-8°, 13 fig. 1920. (260 gr.). 16 50
- Osmose. Dialyse. Ultrafiltration**, GENIN. In-8°. 1928. (510 g.) 53 fr.
- Éléments de marchandises**. I : *Bois, matériaux de construction, combustibles, eaux minérales et gazeuses*, JACQUET et TOMBECK. 3° éd. 1930. (320 gr.), 15 fr. 50; II : *Métallurgie, métaux*, JACQUET et TOMBECK. 2° éd. 1924. (360 gr.), 17 fr.; III : *Produits chimiques*. SON et MARTIN. 2° éd. 1925. (230 gr.). 7 fr. 50; IV : *Matières alimentaires*, BROTTET et LELEU. 2° éd. 1925. (290 gr.), 13 fr.; V : *Matières grasses, textiles et diverses*, BROTTET et LELEU. 2° éd. 1926. (340 gr.) 13 fr.
- La récupération des solvants volatils**, ROBINSON. In-8°, avec 73 fig. 1928. (420 gr.)..... 46 fr.
- Electrolyse de l'eau et des chlorures alcalins**. BILLITER, traduit par SALAUZE. In-8°, 1928 (840 gr.)..... 84 fr.
- Electrochimie appliquée. Electrometallurgie des solutions aqueuses**. BILLITER, traduit par J. et S. SALAUZE. (*En préparation.*)
- L'Electrochimie et l'Electrometallurgie**, LEVASSEUR. In-8°, avec 128 fig., 3° édit. 1928 (700 gr.)..... 71 fr.

II. — ANALYSE CHIMIQUE

- Précis d'analyse chimique.** BOLL-LEROIIDE. T. I : *Principes généraux, tables numériques.* In-8°. 1927. (635 gr.), 44 fr.; T. II : *Cations.* In-8°, 1927. (960 gr.), 80 fr. T. III : *Anions.* In-8°, 1929. (900 g.) 85 fr.
- Essais et analyses,** RÔSSET. In-8°, avec figures. 1920. (220 gr.) 10 fr.
- Essais chimiques des marchandises,** LÉVI. 1913. (310 gr.). 10 fr.
- Technologie et analyse des principales marchandises.** L. LEVI. In-8°. VIII-269 p. 1930 (500 gr.)..... 52 fr.
- Chimie analytique,** TREADWELL et BOLL. I : *Analyse qualitative.* 4^e édit. N. Tir. 1925. (760 gr.), 66 fr.; II : *Analyse quantitative.* 4^e édit. N. Tir. 1925. (940 gr.)..... 77 fr.
- Traité d'analyse des substances minérales,** CARNOT. In-8°. I : *Méthodes générales,* 357 fig. 1898. (2.290 gr.), 112 fr.; II : *Métalloïdes.* 81 fig. 1904. (1.970 gr.), 91 fr.; III : *Métaux (1^{re} partie).* 1910. (2.050 gr.), 105 fr.; IV : (2^e partie). 1922. (1.840 gr.).. 112 fr.
- Cours d'analyse quantitative des matières minérales.** MEURICE. In-8°. 894 pages, 74 fig. 2^e édit. 1926. (2.000 gr.)..... 120 fr.
- Analyse des métaux par électrolyse,** HOLLARD et BERTIAUX. In-8°. 4^e édit. 1930 (445 gr.)..... 58 fr.
- Manuel pratique d'analyse organique.** WESTON. 1921. (200 gr.) 22 fr.
- Introduction à l'analyse qualitative organique.** STAUDINGER et FROST, traduit de l'allemand par REUSS..... (Sous presse.)
- Nouvelles méthodes d'analyse chimique organique.** TER-MEULEN-HESLINGA. In-8°. 50 p. 21 fig. 1927. (130 gr.)..... 7 fr.
- Traité d'analyses industrielles,** GRIFFITHS et LÉVI. 1924. (1.260 g.) 116 fr.
- Expertises chimiques,** KLING. I : *Produits animaux, conserves, sel,* 1921. (870 gr.), 77 fr.; II : *Matières grasses. Cires et paraffines. Essence de térébenthine. Huiles minérales.* 1922. (800 gr.), 70 fr.; III : *Boissons et dérivés immédiats,* 1923. (690 gr.). 62 fr.; IV : *Produits végétaux et dérivés.* 1922. (1.040 g.) 85 fr.; V : *Eaux et air.* 1922. (490 gr.), 39 fr.; VI : *Etamage, Jouets, Matières colorantes, Toxicologie des aliments.* 1923. (550 gr.)..... 43 fr.

FASCICULE 7

INDUSTRIES DIVERSES

- L'examen des viandes,** MARTEL. 100 fig. 1909. (830 gr.)... 30 50
- Les déchets et sous-produits d'abattoirs, de boucherie et de fabriques de conserves,** POHER et RAZOUS. 1908. (500 gr.). 10 fr.
- L'industrie de l'équarrissage,** MARTEL. 2^e édit. 1928. In-8°. (840 gr.)..... 75 fr.

- Fabrication des colles et gélatines, V. CAMBON. 2° édit. 1923.**
(360 gr.)..... 34 fr.
- Pour le boulanger et le pâtissier, FOUASSIER. 1928. (240 gr.)**
18 fr.
- Pour le confiseur, FOUASSIER. In-16. 1928. (170 gr.).....** 13 50
- La conservation par le froid des denrées périssables, MONVOISIN.**
In-8°, avec 178 fig. 1923. (1.040 gr.)..... 96 fr.
- La technique de la production du froid, PACORET. 1920. (1.120 gr.)**
93 fr.
- Les cycles frigorifiques, OSTERTAG-PRIOR. 1926. (350 gr.)... 59 fr.**
- L'air liquide, oxygène, azote, gaz rares, G. CLAUDE. In-8°, avec**
166 fig. 1926. (1.300 gr.)..... 49 fr.
- Clarification et séparation des liquides par la force centrifuge**
(appareils sans tamis). BLOCK, traduit de l'allemand, par J. LÉVY.
(En préparation.)
- Distillation et rectification des liquides industriels, MARILLER.**
In-8°. avec 144 fig. 2° édit., 1925. (1.370 gr.)..... 139 fr.
- Pour le distillateur, le débitant, le barman, FOUASSIER. In-16,**
avec 21 fig. 1927. (150 gr.)..... 16 50
- Etude sur le cardage des laines cardées et autres matières**
travaillées sur le même principe, COLIN. In-8°. (545 gr.). 50 fr.
- Etude sur le retordage et la fabrication des fils à plusieurs brins,**
COLIN. In-8°. (540 gr.)..... 50 fr.
- Traité complet de la filature du coton, COLIN. In-8°.**
- T. I : 1928 : *Préparation de filature, 1^{re} partie.* (930 gr.).... 85 fr.
- T. II : 1929. *Préparation de filature. 2^e partie.* (800 gr.).... 80 fr.
- T. III : *Traité des métiers à filer et filature des déchets* (1190 gr.) 130 fr.
- Le tissage mécanique moderne, SCHLUMBERGER. 1921. (350 g.) 35 fr.**
- De l'apprêt des tissus de laine peignée, LAGACHE. 1914. (1.210 gr.)**
63 fr.
- La soie artificielle. Fabrication et propriétés, WHEELER, traduit de**
l'anglais par TATU (320 gr.)..... 41 fr.
- La fabrication des matières intermédiaires pour les colorants,**
CAIN et SALLES. In-8°, avec 25 fig. 1920. (640 gr.)..... 49 fr.
- Les matières colorantes de synthèse et les produits intermé-**
diaires servant à leur fabrication, CAIN et THORPE. 1922. (1.360 g.)
105 fr.
- Les matières colorantes organiques, EHRMANN. 1922. (2.000 gr.)**
105 fr.
- La teinture du coton, SERRE. In-16, 62 fig. et 9 pl. 1912. (580 gr.) 19 fr.**
- Traité de la couleur, ROSENSTIEHL. In-8°, 1913. (990 gr.) 56 fr.**
- Traité de la teinture moderne, SPETEBROOT. 2° édit. 1927 (1.410 gr.)**
114 50
- Manuel du teinturier, GNEHM, DE MURALT. 1926. (530 gr.) 72 50**
- Les fibres textiles et la teinture, BARY. In-8°, 46 fig. 1927. 49 fr.**
- Pour le blanchisseur, CHAPLET. In-16. 1927. (200 gr.).... 16 50**
- La chimie du savonnier et du commerce de corps gras, EHRSAM.**
In-8°, avec figures. 1921. (1.000 gr.)..... 67 fr.
- La fabrication des savons industriels, EHRSAM. 3° édit. 1927.**
(600 gr.)..... 44 fr.
- La fabrication moderne des savons, bougies, glycérines, etc.,**
LAMBORN et APPERT. In-8°. 1923. (1.360 gr.)..... 105 fr.

- Technologie et analyse chimique des huiles, graisses et cires**, LEWKOWITSCH et BONTOUX. Tome I. 2^e édit. 1929. (1.775 gr.), 209 fr. Tomes II et III..... (*En réimpression*).
- L'industrie des parfums**, OTTO. 2^e édit. 1924. (1.490 g.).... 133 fr.
- Les essences naturelles**, CRAVERI. In-8°. 1929 (765 gr.).. 70 fr.
- Pour le parfumeur**, TRAVELLER. 1924. (190 gr.)..... 15 fr.
- La grande industrie des acides organiques**, ROUX et AUBRY. In-8°, avec 147 fig. 1923. (1.120 gr.)..... 92 fr.
- Production industrielle synthétique des composés nitrés**, ESCARD. In-8°, avec figures. 1920. (600 gr.)..... 49 fr.
- Les colloïdes dans l'industrie. Le caoutchouc**, BARY. In-8°, 50 fig. 1923. (300 gr.)..... 47 50
- Technologie du caoutchouc souple**, DE FLEURY. 1920. (300 g.) 30 50
- Les caoutchoucs artificiels**, VENTOU-DUCLAUX. 1912. (260 gr.) 14 fr.
- Manuel d'essais simples et rapides, à l'usage des tanneurs et mégisseries**, EGLÈNE. In-8°. 1922. (200 gr.)..... 14 fr.
- La chimie de la fabrication du cuir**, WILSON-DEFORGE. In-8°, 468 p., 150 fig. 1926. (450 gr.)..... 105 fr.
- La chimie du cuir**, EGLÈNE. In-8°. *Nouv. tir.* 1920. (300 gr.).. 18 fr.
- Industries des poils et fourrures, cheveux et plumes**, BELTZER. In-8°, avec 83 fig., 3^e édit. 1927. (520 gr.)..... 54 fr.
- Le gantier**, FROUMENTY et BOUVIER. In-8°, 89 fig. 1920. (370 gr.) 18 fr.
- Guide du tailleur**, MORIN. In-8°, avec 89 fig. 1921. (260 gr.).. 17 fr.
- Pour le relieur**, ROUX. In-16, avec fig. 1926. (170 gr.).... 16 50
- Gaz et cokes**, GREBEL et BOURON. In-8°, 324 fig. 1924. (1.450 g.) 109 fr.
- Manuel de chimie gazière**, SAINTE-CLAIRE DEVILLE. 1921. (320 gr.).. 24 50
- Eclairage : huile, alcools, gaz, électricité, photométrie**, GALINE et SAINT-PAUL. In-8°, avec 372 fig. 3^e édit. 1929. (1.040 gr.)..... 98 fr.
- Manuel de l'éclairage et applications pratiques**, FOURCAULT. In-8°, avec 237 fig. 1928. (565 gr.)..... 51 fr.
- Le goudron et ses dérivés**, MALATESTA. 2^e édit. 1927. (1.200 g.). 98 fr.
- Les fours à coke**, LECOQ. 108 fig. et pl. 1919. (1.600 gr.).. 98 fr.
- Les fours industriels**. W. TRINKS. Traduit de l'anglais par A. SCHUBERT..... (*En préparation*.)
- Combustibles industriels**, COLOMER et LORDIER. In-8°. 4^e édit. 1921. (1.470 gr.)..... 105 fr.
- Recherche et exploitation du pétrole**, HARDEL. 1922. (350 gr.) 28 fr.
- Le pétrole. Son utilisation comme combustible**, MASMEJEAN et BÉRÉHARE. In-8°, 92 figures et 30 tableaux. 1920. (1.070 gr.).. 57 fr.
- Exploitation industrielle de la tourbe**, VAN ECKE. In-8°. 1918, (730 gr.)..... 49 fr.
- La tourbe et son utilisation**, DE MONTGOLFIER. 1918. (270 gr.) 24 fr.
- La carbonisation des bois, lignites et tourbes**, MARILLER. In-8°, avec fig. 1924. (930 gr.)..... 65 fr.
- Technologie du bois**, MASVIEL. T. I. 3^e édit. 1926 : *Généralités*. 338 fig. (520 gr.), 23 fr.; T. II : *Travail mécanique*, 286 fig. (2^e édit. 1925. (610 gr.)..... 27 fr.
- L'usinage du bois**, PETITPAS. In-8°, avec 35 fig. 1923. (620 gr.) 39 fr.
- Pour l'artisan du bois**, STHEGENS. In-16. 1927. (360 gr.)... 23 fr.
- Le séchage des bois**, IHNE. In-8°. 1927. (270 gr.)..... 33 fr.
- Séchage industriel**, RAZOVS. 3^e édit. 1920. (650 gr.)..... 46 fr.

Soufflage du verre , VIGREUX, In-8°, 3 ^e édit. 1930 (345 gr.)...	39 fr.
Céramique industrielle , ARNAUD et FRANCHE. In-8°, avec 306 fig. 2 ^e édit. 1922. (770 gr.).....	77 fr.
Les argiles réfractaires , BISCHOF, SCHUBERT. 1926. (750 gr.).	77 fr.
Pour le doreur, l'argenteur, le nicketeur , DE THELLESME. In-16 avec 26 fig. 1928. (204 gr.).....	15 fr.
Manuel de l'émaillage sur métaux , MILLENET. 3 ^e édit. 1929.	18 fr.
L'émaillage industriel de l'acier et de la fonte , THIERS. In-8°. 1929. (488 gr.).....	44 fr.
Installation d'une émaillerie , EYER et THIERS. 1926. (160 gr.)	15 fr.
Technologie chimique des matières premières de l'émail , GRUNWALD, HIRSCH, THIERS. In-8°, 25 fig. 1926. (610 gr.).	56 fr.
Vernis et émaux celluloseux . SPROXTON, traduit par A. TISSOT. In-8°, 1929 (385 gr.).....	40 fr.
Photographie , MIRON, PROMIO. In-16. 2 ^e édit., 1925. (730 gr.).	68 fr.
Pour le photographe et le cinéman , DE THELLESME. In-16. 229 p. 139 fig. 1927. (240 gr.).....	19 50
La technique cinématographique , LOBEL. In-16, 3 ^e édit. 1926. (665 gr.).....	77 fr.
Le guide de l'opérateur dans la photogravure , VILLEMAIRE. In-8°, avec 34 fig. 1921. (250 gr.).....	21 fr.
Pour l'inventeur , CHAPLET. In-16, 1926. (230 gr.).....	18 50

AGRICULTURE

Génie rural. Constructions rurales et machines agricoles , PHILBERT-PORCHET. In-16. 596 p. 299 fig. 2 ^e édit. 1927. (760 gr.)...	60 fr.
Hydraulique agricole , LÉVY-SALVADOR. I : <i>Cours d'eau. Barrages. Maintien du libre écoulement des eaux</i> . 293 fig. 3 ^e édit. 1928. (920 gr.), 68 fr.; II : <i>Irrigations</i> , 459 fig. 2 ^e édit. 1923. (520 gr.), 45 fr.; III : <i>Eaux nuisibles</i> , avec 239 fig., 2 ^e édit. 1923. (490 gr.)....	45 fr.
Manuel d'agriculture tropicale , WILLIS, 25 pl. 1912. (620 gr.)	30 50
Zoologie appliquée en France et aux colonies , PELLEGRIN et CAYLA. In-16, avec 282 fig. 1907. (1.060 gr.).....	54 fr.
Comment prévoir le temps? MOREUX. 2 ^e édit. 1925. (350 gr.).	21 fr.
Méthode simple pour prévoir le temps , MOREUX. 1923. (50 gr.).	7 fr.
Pour le jardinier amateur . ROUSSET. 1927. (300 gr.)....	19 50

FASCICULE 8

ARCHITECTURE. — CONSTRUCTION
TRAVAUX PUBLICS

I. — ARCHITECTURE

- Traité d'architecture**, REYNAUD. *Ouvrage couronné par l'Institut.*
4^e édit. 2 vol. in-4^e et 2 atlas de 179 pl. 1894. (12.100 gr.). 504 fr.
- Architecture**, HÉBRARD. In-16, 371 fig. 2^e édit. 1928. (720 gr.). 64 fr.
- Traité d'architecture théorique et pratique**, TUBEUF. In-4^e. I :
Histoire de l'architecture. (1.280 gr.), 42 fr.; II : *Pratique de l'archi-
tecture.* (1.380 gr.), 48 fr.; III : *Types de constructions diverses* (Habi-
tations particulières). (1.440 gr.), 48 fr.; IV : *Types de constructions
diverses* (Edifices publics et divers). (2.230 gr.)..... 72 fr.
- Pour l'architecte et le futur propriétaire**, HANNOUILLE. In-16,
avec 116 fig. 1929 (235 gr.),..... 19 fr.
- Edifices publics**, GUILLOT, BOUSQUET. 2^e édit. 1927. (950 gr.). 83 fr.
- Comment construire une villa. La construction à la portée de tous.**
GUILLOT. In-8^e, 474 fig. et 1 pl. 3^e édit. 1923. (640 gr.).... 44 50
- Petites constructions françaises**, par un Comité d'architectes, avec
400 pl. 1904. T. I: (*épuisé*), T. II, III, IV, chaque volume. 1500 gr.
environ..... 85 fr.
- Maisons ouvrières récemment construites.** 40 pl. (760 gr.). 40 fr.
- La science des plans de villes. Ses applications à la construction,
à l'extension, à l'hygiène et à la beauté des villes**, A.-A. REY, J. PIDOUX.
C. BARDE. In-8^e, avec figures. 1929. (1.300 gr.)..... 195 fr.
- Quelques problèmes d'urbanisme.** W. LCHARACHNICK. In-8^e, 1930
(265 gr.)..... 13 fr. 50
- L'urbanisme à la portée de tous**, RAYMOND. 1925. (290 gr.) 25 fr.
- Plantations, parcs et jardins publics**, LEFEBVRE. In-16, 376 fig.
2^e édit. 1927..... 50 fr.
- La maison salubre**, GUILLOT. In-8^e, 172 fig. 1914. (980 gr.). 42 fr.

II. — GÉNÉRALITÉS SUR LA CONSTRUCTION

- Annales des Travaux Publics de Belgique**, Ab. annuel (6 n^{os}).
France : 110 fr. Etranger : 115 fr. (110 fr. pour les pays acceptant
l'échange du tarif postal réduit). Le n^o..... 20 fr.
- Aide-mémoire des ingénieurs, architectes, entrepreneurs, con-
ducteurs, agents-voyers, dessinateurs**, CLAUDEL et DARIÈS.
Partie théorique : *Introduction à la science de l'ingénieur.* 8^e édit.
2 vol. in-8^e, avec 1.710 fig. et 2 pl. 1913. (2.430 gr.).... 86 50
- Partie pratique : *Formules, tables et renseignements usuels.* 2 vol.
in-8^e. xxvi-2296 p. 1813 fig. 12^e édit. 1930 (2800 gr.). Rel... 235 fr.

- Pratique de l'art de construire**, CLAUDEL, LAROQUE et DARIÈS. In-8°, 1.162 fig. 7^e édit. *Nouv. tir.* 1920. (1.520 gr.)..... 133 fr.
- Les travaux publics et le bâtiment aux Etats-Unis**, ANTOINE. In-8°, avec 123 fig. 1923. (330 gr.)..... 30 fr.
- Devis et évaluations des travaux publics et des constructions civiles**, BONNAL et DARDART. In-16, 2^e édit. 1924. (960 gr.). 72 fr.
- Méthodes rapides d'évaluation du prix de construction et série de prix au mètre superficiel**, LOUARN. In-4°, 3^e édit. 1924. (430 gr.)..... 35 fr.

III. — RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX, STABILITÉ DES CONSTRUCTIONS

- Résistance des matériaux appliquée aux constructions**, ARAGON. 2^e édition révisée par CHAMBRAN. I : 1928. (1.020 gr.), 69 fr. II : 1929 (910 gr.), 72 fr. III : 1927. (740 gr.)..... 56 fr.
- Cours de résistance des matériaux : Applications au calcul des éléments des machines**, BONHOMME. In-8°, 1919. (1.500 gr.). 98 fr.
- Cours de résistance des matériaux**, RABOZÉE. In-8°, avec 236 fig. 1926. (1.800 gr.)..... 182 fr.
- Cours de résistance des matériaux**, MESNAGER. In-8°, avec 330 fig. 1928. (660 gr.)..... 84 fr.
- Déformations permanentes et ruptures des aciers. Les causes prévues. Les accidents**, RÉGNAULD, 1929 (180 gr.)..... 22 fr.
- Le calcul des colonnes**, LEMAIRE. I : In-8° (*dépuisé*). II : in-8°, 1926. (210 gr.). 30 fr. III : in-4°, 1928. (320 gr.)..... 50 fr.
- Statique graphique**, BUGAT-PUJOL. In-4°, 1918. (1.410 gr.). 67 fr.
- Barèmes pour le calcul des poutres, solives, linteaux, poitrails, chevrons, etc.**, P. TURBAT. In-8°, 1929. (135 gr.)..... 15 fr.
- Traité de la résistance des matériaux et de la stabilité des constructions civiles**, DE VILLIERS DE L'ISLE-ADAM. In-8°, avec 61 fig. N. T. 1930 (710 gr.)..... 39 fr.
- Stabilité des constructions usuelles**, ROUSSELET et PETITET. In-4°, 421 fig. 2^e édit. 1926. (840 gr.)..... 78 fr.
- Déformations des constructions usuelles**, ROUSSELET et PETITET. In-4°, 493 fig. 1923. (1.010 gr.)..... 61 fr.
- Cours de stabilité des constructions**, VIERENDEEL. 4^e édit. I : 1926. (1.170 gr.), 140 fr.; II : 1928. (1.350 gr.), 140 fr.; III : 1927. (650 gr.), 100 fr.; IV : 1927. (965 gr.), 130 fr.; V : 1928. (1.135 gr.). 130 fr.

IV. — MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION, CIMENT ARMÉ

- Les défauts des mortiers et bétons**. MALETTE. In-8° de iv-226 pages, 1929 (425 gr.)..... 55 fr.
- Bois et métaux**, AUCAMUS. 365 fig. 2^e éd. 1926. (630 gr.)... 60 fr.
- Analyses et essais des matériaux de construction**, MALETTE. In-16. 916 p., 187 fig. 1924. (1.010 gr.)..... 72 fr.
- Analyse dilatométrique des matériaux**, P. CHEVENARD. In-4° 1929..... 25 fr.

- Recherches industrielles sur les chaux, ciments et mortiers**, BIED. 227 p., 37 fig., 23 graphiques. 1926. (470 gr.)..... 49 fr.
- Cours de béton armé**, A. MESNAGER. In-4° 1921. (1.590 gr.) 154 fr.
- Aide-mémoire de l'ingénieur-construteur de béton armé**, BRAIVE. In-8°, avec fig. 3° édit. 1922. (560 gr.)..... 47 fr.
- Le béton armé à la portée de tous**, MALPHETTES. (420 gr.). 1925. 37 fr.
- Calculs simplifiés de stabilité des constructions en béton armé**, THIBAULT. In-8°, 1929. (630 gr.)..... 70 fr.
- Les calculs de résistance de pièces en béton armé rendus simples**, THIBAULT. In-8°, 106 p. 1926. (250 gr.)..... 19 50
- Pratique de la construction en béton et mortier de ciment armés ou non armés**, TAYLOR, THOMPSON et DARRAS. 1924. (1.360 gr.). 105 fr.
- Tables pour le calcul rationnel des planchers sans nervures et des dalles rectangulaires**, SONIER, 1929. (210 gr.). 27 50
- Pour le cimentier**. CHAPLET. 2° édit. 1929 (175 gr.)..... 15 fr.
- Le portefeuille du béton armé**, FORESTIER. Fascicules I à IV. 21 fig., 6 pl. 2° édit. 1926. (680 gr.), 62 fr.; Fasc. V à VIII. 23 fig., 7 pl. 1921. (780 gr.)..... 62 fr.
- Calcul des constructions hyperstatiques**, RIEGER-CAROT. Tome I : *Cadres et portiques en béton armé*. 2 vol., 1927 (450 gr.). Ensemble 54 fr. — Tome II : *Cadres et portiques multiples*. (En préparation.)
- Règle à calcul pour construction en béton armé, système RIEGER** (avec 3 réglettes)..... 1.200 fr.

V. — TERRASSEMENTS, FONDATIONS, MAÇONNERIE

- Tracé et terrassements**, FRICK et GUILLEMONT. In-16, 2° édit. 1926, (950 gr.)..... 70 fr.
- Fouilles et fondations**, FRICK et LÉVY-SALVADOR. In-16. 2° édit. 1926 (720 gr.)..... 62 fr.
- Métré et attachements de terrasse, maçonnerie, etc.**, MOUREL-MAILLARD. I : *Terrasse*. (épuisé) ; II (épuisé). III, IV, V : *Maçonnerie*. (3.990 gr.)..... 180 fr.
- Maçonneries**, SIMONET. In-16. 2° édit. 1929. (600 gr.).... 48 fr.
- La marbrerie**, DARRAS. In-8°, avec 163 fig. 2° éd. 1929 (700 gr.). 72 fr.
- Carrelages et faïences**, MOULINEY. In-4°, 157 fig. 1914. (700 g.) 28 fr.
- Pour le maçon et le plâtrier**, HANNOUILLE. (216 gr.). 1928. 16 50

VI. — CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES, CHARPENTE, COUVERTURE, MENUISERIE, ÉBÉNISTERIE, TAPISSERIE, SERRURERIE

- Calcul des charpentes**, BERGERON. In-4°. 1921. (1.440 gr.).. 126 fr.
- Constructions métalliques**, BONHOMME et SILVESTRE. In-4°, 867 fig. et 2 pl. 1921. (1.710 gr.)..... 112 fr.
- Considérations inédites sur les charpentes métalliques**, L. PERBAL. In-4°, avec fig. et tableaux, 1929. (520 gr.)..... 50 fr.
- Tableaux relatifs à la construction métallique** (*Vade-mecum du charpentier*), L. PERBAL. In-4°, avec 13 fig. 1929. (255 gr.). 23 fr.

- Le traçage en chaudronnerie et en charpente en fer**, HERMANN et DEYSINE. In-16, 1924. (200 gr.)..... 20 fr.
- Traçage des constructions métalliques et de chaudronnerie**, BOTTIEAU. 1926. (770 gr.)..... 61 fr.
- Traité de charpente en bois et en fer**, OSLET. In-4°. I : *Charpente en bois*. (épuisé) ; II : *Charpente en fer*. (2.060 gr.), 72 fr. ; III : *Serrurerie, Quincaillerie et petite charpente en fer*. (2.230 gr.), 78 fr. ; IV : *Procédés de construction*. (1.040 gr.), 60 fr. ; V : *Métré de charpente en bois*. (2.280 gr.)..... 90 fr.
- Art du trait de charpente**, DELATAILLE. I : *Bois droit*. (590 gr.), 30 fr. ; II : *Bois droit*. (580 gr.), 30 fr. ; III : *Bois broché*. (560 gr.), 30 fr. ; IV : *Combles* (570 gr.), 30 fr. ; Les 4 vol. (2.300 gr.)..... 100 fr.
- Charpente et couverture**, ALDEBERT et AUCAMUS. In-16, 2° édit. 1926. (700 gr.)..... 52 fr.
- Métré de couverture et série de prix des ouvrages de couverture**, OSLET, LECOMBE et CORDEAU. In-4°, avec 610 fig. (1.630 gr.)..... 78 fr.
- Manuel de serrurerie**, HENRIET. In-8°, 232 fig. 1924. (330 gr.)..... 21 fr.
- Cours de technologie du bois**, MASVIEL. In-4°, I : *Généralités*. 3° édit. 1926. (520 gr.), 23 fr. ; II : *Travail mécanique*. 2° édit. 1925. (610 gr.)..... 27 fr.
- Traité de menuiserie**, OSLET et JEANNIN. In-4°. I : *Menuiserie de bâtiments* (épuisé). II : *Métré* (épuisé). III : *Installations diverses. Ebénisterie et Layetierie* (1.370 gr.)..... 48 fr.
- Menuiserie, serrurerie, plomberie, peinture et vitrerie**, AUCAMUS. In-16, 247 fig., 2° édit. 1924. (520 gr.)..... 45 fr.
- Industrie du meuble**, BOISON. In-16, 1928. (510 gr.)..... 23 fr.
- Pour finir un meuble**, DEHEURLES. In-16. 1928. (315 gr.)..... 18 50
- Pour le tapissier amateur**, BEAURIEX. In-16. 1928. (240 gr.)..... 18 50
- Manuel du tapissier-garnisseur**, BOISARD. 1928. (330 gr.)..... 18 fr.

VII. — PLOMBERIE, CHAUFFAGE, FUMISTERIE, PEINTURE

- Traité pratique de la pose et l'entretien des canalisations de gaz**, BARBE. In-8°, avec 135 fig. 1910. (910 gr.)..... 30 50
- Métré de plomberie et d'électricité et série de prix s'y rattachant**, OSLET, LASCOMBE et CORDEAU. In-4°. (2.160 gr.)... 78 fr.
- Pour le plombier et le spécialiste en installations sanitaires**, par J. de THELLESME, ingénieur civil et LEDUQUE, entrepreneur de plomberie. (*En préparation*.)
- Chauffage, ventilation et fumisterie**, AUCAMUS. In-16, avec 277 fig., 2° édit. 1923. (480 gr.)..... 45 fr.
- Le chauffage des habitations**, DEBESSON. 730 fig. In-8°, avec 730 fig., 2° édit. 1920. (1.630 gr.)..... 136 fr.
- Notes sur les chaudières employées dans les installations de chauffage central**, LELBUX. In-8°, avec 43 figures. 1927. (220 gr.)..... 20 fr.
- Régimes variables de fonctionnement dans les installations de chauffage central**, NESSI et NISOLLE. 1925. (250 gr.)... 44 50
- Méthodes graphiques pour l'étude des installations de chauffage et de réfrigération en régime discontinu**, NESSI et NISOLLE. In-4°, avec 49 fig. 1929. (900 gr.)..... 84 fr.

- Distribution et réglage de la chaleur dans les installations de chauffage central**, NESSI et NISOLLE. In-4°. 1924. (150 gr.). 11 fr.
- Répartition générale de la chaleur dans les immeubles au moyen de centrales thermiques**, NESSI. In-4°. 12 fig. 1924. (220 gr.) 16 50
- Pour le fumiste et le monteur de chauffage central**, par VALLIEZ, ingénieur et BELLAMI, constructeur, 1930 (205 gr.)..... 18 fr. 50
- Métré de fumisterie, chauffage, tôlerie, chaudronnerie, faïencerie**, GRANDJEAN. In-4°, 1.316 fig. (2.180 gr.)..... 78 fr.
- Pour le peintre vitrier**, BATAILLE, CHAPLET et DE THELLESME. In-16. 164 pages. 1922. (200 gr.)..... 14 50

VIII. — TOPOGRAPHIE. — ROUTES

- Topographie appliquée aux travaux publics**, PRÉVOT et ROUX. I : *Instruments*. 2° édit. 1925. (670 gr.), 66 fr.; II : *Méthodes*, 2° édit. 1925. (990 gr.)..... 80 fr.
- Cours de topographie de l'École des maîtres-mineurs de Douai**, TISON. In-8°. I : 1928. (440 gr.). 44 fr.; II : 1928. (260 gr.), 28 fr.
- L'ouvrage complet..... 66 fr.
- Manuel de topométrie**, BAÏLLAUD. In-8°, 93 fig. 1920. (800 gr.) 42 fr.
- Sur le terrain**, *Topographie usuelle*, LIGER. N. T. 1925. (180 gr.). 11 fr.
- Nouvelle méthode pratique et tables pour le calcul du mouvement des terres et de la zone d'emprise nécessaire à la construction de routes, voies ferrées, canaux**. CATTO, traduit de l'italien, par BOURGEOIS. In-8°. XII-251 p. 193 (320 gr.). 27 fr. 50
- Tables trigonométriques pour le tracé des courbes de chemins de fer, routes et canaux**, GAUNIN, HOUDAILLE et BERNARD. Nouv. édit, In-8°, avec 24 fig. 1922. *Nouv. tirage* 1930 (450 gr.)..... 47 fr.
- Tables tachéométriques**, NOMICOS. In-8°, 1928. (320 gr.). 50 fr.
- Routes et chemins vicinaux**, ROUX. 2° édit. 1924. (640 gr.). 53 fr.
- Les routes américaines**, ANTOINE. 2° édit. 1926. (150 gr.). 22 fr.
- Voie publique**, LEFEBVRE. In-16, avec fig. 2° édit. 1926. (750 gr.) 40 fr.

IX. — PONTS. — VIADUCS. — TUNNELS

- Méthode de calcul des ponts métalliques**, MÉTOUR. In-8°, avec 236 figures. 1921. (1.410 gr.)..... 112 fr.
- Ponts et ouvrages en maçonnerie**, ARAGON. 1909. (660 gr.). 50 fr.
- Ponts en bois et en métal**, ARAGON. In-16. 1911. (640 gr.). 50 fr.
- Calculs de résistance des ponts métalliques, d'après les prescriptions ministérielles**. DE BOULONGNE et BEDAUX. 1916. (1.160 gr.) 42 fr.

FASCICULE 9 bis

X. — HYDRAULIQUE. — DISTRIBUTION D'EAU ASSAINISSEMENT

- Machines hydrauliques**, par BERGERON. 1928. (1.120 gr.). 105 fr.
- Théorie du coup de bélier**, ALLIÉVI et GADEN. (690 gr.). 1921. 14 fr.
- Barrages conjugués et bassins de compensation**, G. LAPORTE. In-8°, 1929. IRIS et LILLIAD - Université Lille 1..... 32 fr.

- La technique de la houille blanche, PACORET. I : Création et aménagement des chutes d'eau et des usines hydro-électriques.** 4° éd., 1925. 2 vol., (3.050 gr.), 266 fr.; II : *Descriptions et études d'usines hydro-électriques aménagées ou projetées.* 3° éd. 1920. (1.040 gr.), 78 fr. 50; III : *Utilisation de l'énergie des chutes d'eau.* 3° éd. 1920. (1.870 gr.), 196 fr.; IV : *Utilisation de l'énergie des forces hydraul., électrochimie, électro-metallurgie.* 3° éd. 1920. (1.290 gr.)..... 112 fr.
- Distributions d'eau, DARIÈS. Nouv. tir.** 1909. (680 gr.).. 53 fr.
- Traité d'adduction et de distribution d'eau, GILBERT et MONDON,** In 8°, 904 fig. et 8 pl., 2° vol. ensemble 1928 (2.500 gr.).. 285 fr.
- Règle Mougnié, pour le calcul des conduites**..... 130 fr.
- Etablissements des projets de distribution d'eau potable, FRICK. LÉVY-SALVADOR.** In-8°, 2° édit. 1926, 45 fig. (275 gr.)..... 25 fr.
- Devis et cahiers des charges pour travaux communaux de distributions d'eau, FRICK et CAUVIN.** In-4°. 1920. (730 gr.). 44 50
- Assainissement des villes et égouts de Paris, DAVERTON.** In-8°. xviii-794 pages. 1922. (900 gr.)..... 68 fr.

XI. — NAVIGATION. — PORTS

- Rivières canalisées et canaux, CUÉNOT.** 1913. (1.060 gr.). 68 fr.
- Fleuves et rivières, CUÉNOT.** In-16, 232 fig. 1921. (910 gr.). 60 fr.
- Collection des grands ports français : Dunkerque, Calais, Boulogne.**
H. MALO. 1920. (200 gr.), 12 fr. — *Le Port de Rouen*, DUPOUY. (190 gr.), 1920, 12 fr. — *Le port de Paris*, COLIN, 1921. (250 gr.), 15 fr. — *Nantes et Saint-Nazaire*, COLIN, 1921. (250 gr.), 15 fr. — *Le Port du Havre*, WEULERSSE, 1921. (250 gr.), 14 fr. — *La Rochelle et Bayonne*, VERGNIOL, 1921. (170 gr.), 10 fr. — *Le Port de Strasbourg*, ARNAUD. 1922. (230 gr.), 13 fr. — *Bordeaux-la Gironde*, LORIN. 1921. (220 gr.), 13 fr. — *Brest et Lorient*, DUPOUY. 1922. (210 gr.), 13 fr. — *Cette, Port-Vendres, Nice*, MARTIN et COMBY. 1922. (310 gr.), 13 fr. — *Le Port de Marseille*, LÉOTARD, 1922. (310 gr.) 13 fr. — *Caen, Dieppe, Cherbourg*, GIDEL, 1922. (240 gr.).. 16 fr.
- Le Port d'Alger, DELVERT.** 1923. (280 gr.)..... 13 fr.
- Le Rhin et le Port de Strasbourg, LUCIUS.** 1928. (260 gr.). 13 fr.
- Travaux maritimes, LÉVY-SALVADOR et PRUDON.** In-16, 2 vol. I : 1929 (675 gr.). 62 fr. 50. — II : (*En préparation.*)
- Ports maritimes, DE CORDEMOY.** 2 vol. in-16. 1920. (1.240 gr.). 90 fr.
- Exploitation des ports maritimes, DE CORDEMOY.** 175 fig. *Nouv. tir.* 1920. (600 gr.)..... 45 fr.

XII. — ADMINISTRATION ET LégISLATION DES TRAVAUX PUBLICS

- Traité administratif des travaux Publics (édition refondue du Dictionnaire administratif des travaux publics de DEBAUVE), COURCELLE.** In-8°, 3 volumes 1927. (3.100 gr.)..... 250 fr.
- Législation du bâtiment, COURCELLE,** 1930 (1295 gr.)..... 120 fr.
- Manuel juridique des travaux publics, MARIZIS et COT.** 1925. (430 gr.)..... 56 fr.

- Occupations temporaires, Commentaires de la loi sur les dommages causés à la propriété privée par l'exécution des travaux publics.** PLONQUET. In-8°. 1909. (350 gr.)..... 11 fr.
- Canalisations d'éclairage, réglementation et jurisprudence,** REMAURY. In-8°. 1912. (420 gr.)..... 16 50

FASCICULE 9

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS

- Revue générale des chemins de fer.** Publication mensuelle. Abonn. annuel : France, 120 fr. ; Etranger. 160 fr. (145 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). Le N° de l'année en cours. 11 fr.
- Aperçu de l'évolution des chemins de fer français de 1878 à 1928,** R. GODFERNAUX. In-8°, avec figures, 1928. (360 gr.).... 20 fr.
- Traité des chemins de fer,** MOREAU. In-4°. I : *Infrastructure*. (1.390 gr.), 56 fr. ; II : *Superstructure*. (1.930 gr.), 70 fr. ; III : *Matériel et traction*. (2.330 gr.), 84 fr. ; IV : *Locomotives, accessoires*. (1.970 gr.), 77 fr. ; V : *Exploitation, statistique*. (2.510 gr.), 98 fr. ; VI : *Chemins de fer secondaires*. (1.960 gr.)..... 84 fr.
- Les chemins de fer à voie d'un mètre,** MUSTAPHA IBRAHIM BEY. In-4°, avec fig. 1922. (1.110 gr.)..... 63 fr.
- Exploitation technique des chemins de fer,** GALINE. 2° édit. 1924. In-16, 344 fig. 1 pl. (900 gr.)..... 73 fr.
- Exploitation commerciale des chemins de fer,** BONNAL. CHATEL. 2° édition 1928. In-16 (840 gr.)..... 68 50
- Cours d'exploitation des chemins de fer,** U. LAMALLE, Tome I. *Exploitation commerciale.* In-4°, avec fig. 1929. (620 gr.). 45 fr.
- Construction et voies,** SIROT et BELORGEY. 2° édit. 1924. In-16. 317 fig., 14 pl. (810 gr.)..... 64 fr.
- Manuel pratique des poseurs de voies de chemins de fer,** SALIN et SOUSTELLE. In-16, avec 280 fig. 5° édit. 1925. (400 gr.). 28 fr.
- Locomotive et matériel roulant,** DEMOULIN et VIGERIE. 2° édit. 1924. In-16, 219 fig., 14 pl. (630 gr.)..... 60 fr.
- La locomotive,** LAMALLE. 498 p., 433 fig. 3° édit. 1927 (1.050 g.) 80 fr.
- Le mécanicien de chemin de fer,** GUÉDON, In-8°, 512 fig. 3° édit. 1920. (960 gr.)..... 50 fr.
- Electrification partielle du réseau de la Compagnie d'Orléans,** PARODI. In-4°, 215 figures. 1928. (930 gr.)..... 48 fr.
- Tramways, Métropolitains et Automobiles,** AUCAMUS et GALINE. 3° édit. JULIEN. In-16, 461 fig. 1 pl. 1924. (950 gr.)..... 75 fr.
- Monographies des réseaux de l'Est et du Nord,** H. LAMBERT. I : *Est*, 1907. (220 gr.), II : *Nord*, 1909. (230 gr.)..... 20 fr.
- Contrôle des chemins de fer et tramways,** DE LA RUELLÉ. CHATEL. In-16. 2° édition 1929. (790 gr.)..... 58 fr.
- Cahiers des charges unifiés et spécifications techniques adoptés par les chemins de fer français,** VIOLET. 1925. Avec compléments à jour au 6 février 1930. (320 gr.)..... 35 fr.

FASCICULE 10

GÉOLOGIE. — MINES. — MÉTALLURGIE

I. — GÉOLOGIE ET MINÉRALOGIE

- Dictionnaire de Géologie**, S. MEUNIER. 1926 (900 gr.)... 125 fr.
- Œuvres géologiques de Marcel Bertrand**, recueillies par DE MARGERIE, 3 volumes in-8°. I, 1927 (1.750 gr.), 100 fr.; II, 1928: (1.650 gr.). 100 fr.; III, *en préparation*. L'ouvrage complet..... 300 fr.
- Hydrologie et hydroscopie**, LANDESQUE. In-8°, 1920. (740 gr.) 50 fr.
- Essai d'hydrogéologie. Recherche, étude et captage des eaux souterraines**, par le D^r IMBRAUX. In-4°, xx-678 p., 1930 (1800 gr.). 270 fr.
- Précipitations atmosphériques. Ecoulement et hydroélectricité**, J. LUGEON. In-8°, avec fig. et pl. 1928. (1.100 gr.)..... 75 fr.
- Les sourciers et leurs procédés. La baguette, le pendule**, MAGER. In-16, 352 p. avec fig., 3^e édit. 1926. (500 gr.)..... 42 fr.
- Géologie et minéralogie appliquée**, CHARPENTIER. In-16, avec 116 fig., 2^e édit. 1927. (960 gr.)..... 64 fr.
- Notions élémentaires de cristallographie, géométrie et optique de minéralogie et de pétrographie**, BUTTGENBACH. In-8°, avec 145 fig. 1922. (200 gr.)..... 28 fr.
- Tableaux des constantes géométriques des minéraux**, BUTTGENBACH. In-4°, avec 5 fig. 1918. (250 gr.)..... 21 fr.
- Les minéraux et les roches**, BUTTGENBACH. In-8°, 5^e édit. 1928, 592 fig. (1.320 gr.)..... 160 fr.
- Les gîtes minéraux**, MEUNIER. In-8°, 1919. (800 gr.).... 49 fr.

II. — MINES

- Annales des Mines**. Publication mens. Abt. annuel. Paris, 000 fr. Départ., 000 fr.: Etr., 000 fr. (000 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). Le n° de l'année en cours. 12 fr.
- Etude pratique des minerais. Guide pour les missions d'études minières et les essais aux usines de traitement** N. DÉGOUTIN. In-8°, iv-429 p. 1930. (810 gr.)..... 85 fr.
- Gîtes miniers et leur prospection**, ROUX-BRAHIC. 1919. (1.450 gr.). 126 fr.
- Guide pratique de la prospection des mines et de leur mise en valeur**, LECOMTE-DENIS, 4^e édit. 1927. In-8°. (1.380 gr.). 110 fr.
- Recherches minières. Guide pratique de prospection et de reconnaissance des gisements**. COLOMER. 4^e édit. 1923. (530 gr.).... 54 fr.
- Comment on crée une mine**, LECOMTE-DENIS. In-8°, 3^e édit. 1913. (310 gr.)..... 16 50
- Cours d'exploitation des mines**, HATON DE LA GOUPILLIÈRE et BÈS DE BERC. 4^e édit. I: in-8°, avec 761 fig. 1928. (2.075 gr.). 189 fr. II, III, IV. (*En préparation*).
- Exploitation des mines**, COLOMER. 3^e édit. 1923. (590 gr.).. 53 fr.
- Exploitation des mines métalliques**, CRANE et BORDEAUX. In-8°, avec 66 fig. 1912. (740 gr.)..... 22 fr.

Causeries sur les filons métalliques , P. AUDIBERT. In-8°, 1929. (475 gr.)	33 fr.
Ateliers modernes de préparation mécanique des minerais , ROUX-BRAHIC. In-8°. 895 p., 425 fig. 1922. (1.490 gr.)...	168 fr.
Traité pratique du broyage et tamisage des matériaux et minerais , RATEL. In-8°, 405 fig. 1920. (1.880 gr.).....	133 fr.
La technique du mineur , MARTEL. 2° éd. 1929. (1.550 gr.).	130 fr.
Législation minière et contrôle des mines , CUVILLIER, DE BUTTET. 2° édit. 1929. (760 gr.)	67 fr.

FASCICULE 10 bis

III. — MÉTALLURGIE

Chimie physique des métaux , SCHENCK et LALLEMENT. In-8°. 1911. (750 gr.)	42 fr.
Le chauffage industriel, introduction à l'étude de la métallurgie , LE CHATELLIER. In-8°, avec 96 fig. 3° édit. 1925. (1.110 gr.).	80 fr.
L'économie thermique dans la sidérurgie . SCHLIPKOTER, traduit de l'allemand par WEYAND et BECHTER, 1930. (870 gr.)...	29 fr.
Les fours industriels . TRINKS, traduit par SCHUBERT. Tome I. (<i>En préparation.</i>)	
Leçons de sidérurgie , ANGLÈS D'AURIAC et ESTOUR. In-8°. 2° édit. (<i>en préparation.</i>)	
Calculs métallurgiques , RICHARDS et LALLEMENT. 1922. (1.710 gr.).	114 50
Essais et analyses des produits sidérurgiques , SERRE. In-8°, avec 39 fig. 1925. (280 gr.).....	26 50
Manuel des laboratoires sidérurgiques. Méthodes analytiques conventionnelles de la communauté ARBED-TERRES-ROUGES. In-8°, 312 p. 67 fig. 1927. (510 gr.).....	30 50
Calcul du lit de fusion des hauts fourneaux , PAWLOFF et DLOUGATCH. In-8°, avec fig. 1924. (550 gr.).....	35 fr.
Précis de métallographie microscopique et de macrographie , GUILLET et PORTEVIN, 117 pl. 2° édit. 1924. (1.180 gr.)..	105 fr.
Les méthodes d'étude des alliages métalliques , GUILLET. In-8°, avec 577 fig. 1923. (1.210 gr.).....	98 fr.
La corrosion des métaux , EVANS. In-8°. 1928. (640 gr.)..	60 fr.
Les impuretés dans les métaux. Leur action sur la structure et les propriétés des métaux , par C.-J. SMITHELLS, 1930 (405 gr.).	50 fr.
Actualités métallurgiques , DEJEAN. 1925. (560 gr.)....	50 fr.
Trempe, recuit, revenu , GUILLET. I : <i>Théorie</i> , 1927. (870 gr.), 121 fr. ; II : <i>Pratique</i> , 1928. (600 gr.), 83 fr. ; III : <i>Résultats. (En préparat.)</i>	
Etude sur les métaux industriels , TURPIN. 1919. (380 gr.).	22 fr.
Essais de réception des métaux , CHARPY, In-8° 1921.	25 fr.
Les essais de fatigue des métaux , BREUIL. 1925. (120 gr.)..	9 50
Le contrôle de la dureté des métaux dans l'industrie . ROUDIÉ, 1930 (325 gr.).....	26 fr.
L'usure des métaux , BREUIL. In-16. 1925 (80 gr.).....	7 fr.
Manuel pratique de fonderie. Cuivre, Bronze, Aluminium. Alliages divers . DUPONCHELLE. In-16° <i>Nouv. tir.</i> 1923, (350 gr.)....	19 fr.

Pour les praticiens de la fonderie : modeleurs, mouleurs, fondeurs, LEFEBVRE. In-16, 143 fig. 1928. (240 gr.).....	19 fr.
La fabrication de la fonte malléable, C. BUSQUET. In-8°, 1929. (315 gr.).....	36 fr.
Comment on pratique la fonderie, DUPONCHELLE. 1921. (1.070 gr.).	77 fr.
La technique du modèle de fonderie, MASVIEL. 1927. (600 gr.)	53 fr.
Le modelage mécanique, CHAMPDECLER. In-4°, 1920. (710 gr.)	33 50
Aciers, fers, fontes, JACQUET. I. 2° édit. 1923 : 160 fig. (320 gr.), 18 fr.; II : 133 fig., 2° édit. 1927. (320 gr.).....	18 fr.
La fonderie d'acier, HALL, trad. par DROUOT. 1925. (940 gr.).	80 fr.
Le traitement thermique préliminaire des aciers doux et demi-durs, GIOLITTI. In-8°, avec figures. 1921. (1.210 gr.)...	70 fr.
Déformations permanentes et ruptures des aciers, P. REGNAULD. In-8°, 1929. (180 gr.).....	22 fr.
Installations d'aciéries et laminoirs, JACQUES. In-8°. 3 fascicules I et II épuisés, III 1918. (300 gr.).....	42 fr.
Les aciers spéciaux. <i>Historique, propriétés, traitements et fabrication.</i> MARS, traduit de l'allemand par PÉTROT. (<i>En préparation.</i>)	
Etudes sur les laminoirs, PUPPE et DEMOLE. 1922. (1.370 gr.)	98 fr.
Laminoirs à fers marchands, RICHARME. In-4°. 1929. (460 gr.)	55 fr.
Soufflantes et compresseurs centrifuges, MONTEIL. In-8°. 1922. (210 gr.).....	18 50
Traitement métallurgique des minerais complexes (zinc, cuivre, plomb, etc.), ROUX-BRANIC. In-8°. 1927. (1.500 gr.).....	147 fr.
Les métallurgies électrolytiques et leurs applications, LEVASSEUR. In-8°. 1921. (380 gr.).....	25 fr.
L'électrochimie et l'électrometallurgie, LEVASSEUR. In-8° avec 128 fig., 3° édit. 1928. (700 gr.).....	71 fr.
Electrometallurgie des solutions aqueuses. <i>Electrochimie appliquée.</i> J. BILLITER, traduit par SALAUZE..... (<i>En préparation.</i>)	
L'aluminium dans l'industrie, ESCARD. In-8°. 1921. (1.090 g.)	75 50
La galvanisation du fer, BABLIK-SCHUBERT. 1927. (250 gr.)	54 fr.
Manuel pratique de soudure autogène, GRANJON et ROSENBERG. In-8°, avec figures. 2° édit. 1929 (560 gr.).....	31 fr.
La soudure électrique, VARINOIS. In-8°. 1923. (1.270 gr.)	91 fr.
Pour le soudeur-braseur, LEFÈVRE. In-16. 1926. (165 gr.)	17 fr.
L'électrometallurgie du fer et de ses alliages, ESCARD. 1920. (1.840 gr.).....	133 fr.
Les métaux des terres rares, SPENCER et DANIEL. In-8°. 1922. (710 gr.).....	56 fr.

IV. — PIERRES ET MÉTAUX PRÉCIEUX

Etude résumée des métaux précieux. <i>Extraction. Récupération. Séparation,</i> par W. LAATSCH. Traduit de l'allemand par A. SCHUBERT, 1930. In-iv de vi-151 pages (290 gr.).....	32 fr.
Guide pratique pour la recherche et l'exploitation de l'or en Guyane française, LEVAT. In-8°, avec 6 pl. 1898. (610 gr.)	25 fr.
Désargentation des plombs, ROSWAG. In-8°. 1884. (900 gr.)	84 fr.
La synthèse du rubis, FRÉMY. In-4°, 22 pl. col. 1891. (650 gr.)	70 fr.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

EXPÉDITIONS. — Les ordres sont exécutés contre remise de valeur sur Paris, mandat-poste, versement au compte de chèques postaux PARIS 7545 ou bien, sur le désir du client, contre remboursement lorsque ce mode de recouvrement est possible. Sauf avis contraire du destinataire, l'envoi est fait par poste ou colis postal à ses risques et périls ; *il est toujours recommandé pour l'étranger*, mais ne l'est que sur demande pour la France et ses colonies.

Les frais de port, ainsi que ceux de remboursement, de recommandation ou d'assurance sont à la charge du client. Le poids net indiqué au catalogue pour chaque ouvrage permet d'évaluer les frais de port en se reportant à un barème envoyé franco sur demande.

COMPTES COURANTS. — Un compte peut être ouvert lorsque l'importance des commandes et surtout leur fréquence le justifient ; les clients en compte reçoivent en février, mai, août et novembre, pour les trois mois précédents, un relevé qu'ils paient dans les conditions indiquées ci-après.

RÈGLEMENT. — France et Afrique française du Nord : Valeur sur Paris, mandat-poste ou versement au compte de chèques postaux PARIS 7545. Les clients en compte peuvent, s'ils le désirent, s'acquitter au moyen d'une traite présentée à leur domicile les 5 mars, 5 juin, 5 septembre et 5 décembre, avec majoration, pour frais de recouvrement, de 2 fr. 50 en France, 3 fr. 50 en Afrique du Nord.

Exceptionnellement, et afin de faciliter les débuts des jeunes ingénieurs français les fournitures de 200 francs et au-dessus d'ouvrages édités par la librairie DUNOD peuvent être payées à raison de un quart du prix des livres et le montant des frais de port joints à la commande ou contre remboursement, le reliquat en trois paiements trimestriels égaux.

Étranger et Colonies françaises : Chèque sur Paris, ou mandat-poste pour les pays faisant partie de l'Union Postale. (Les clients résidant dans les pays suivants : Allemagne, Belgique, Danemark, Grand-Duché de Luxembourg, Pays-Bas, Pologne, Suède et Suisse peuvent effectuer leurs règlements par versements au compte de chèques postaux PARIS 7545).

RENSEIGNEMENTS DIVERS

Indépendamment des livres indiqués dans son catalogue, la librairie DUNOD fournit tous les ouvrages français et étrangers.

La fourniture d'ouvrages étrangers, de spécimens, livraisons et collections de revues françaises et étrangères, ainsi que de renseignements sur les mêmes catégories de publications fait l'objet de conditions spéciales figurant dans chaque livraison de la *Bibliographie des Sciences et de l'Industrie* ou qui sont communiquées sur demande.

La *Bibliographie des Sciences et de l'Industrie*, qui donne 8 fois par an les titres de tous les livres techniques récemment parus en France et des principaux ouvrages de même nature publiés à l'étranger, ainsi que les sommaires des revues scientifiques françaises le plus réputées — prix d'abonnement 10 fr. pour la France et ses colonies, 20 fr. pour l'étranger — est servie gratuitement aux clients de la librairie DUNOD qui en font la demande.

Les fascicules du catalogue général énumérés dans l'extrait qui précède et qui donnent, par spécialité, les sommaires des ouvrages publiés par la librairie DUNOD sont envoyés franco sur demande.

TRAVERSES CHEMIN DE FER

Injectées, entaillées et percées

SOCIÉTÉ ANONYME DES

Etabl^{ts} ARMAND BEAUMARTIN

Capital: 4.000.000 de frs

BORDEAUX — 33, RUE DE SAINT-GENÈS

TÉLÉPHONE 74.28

Adresse télégr.: *ARMAND BEAUMARTIN-BORDEAUX*

POTEAUX SA BOIS

Pour transport de **FORCE, LUMIÈRE ÉLECTRIQUE**, etc.

POTEAUX pour MINES et HOUILLÈRES

Pavés, Bois de **CONSTRUCTION**

Pieux, Planches, Piquets, etc.

20 CHANTIERS D'INJECTION

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Vente directe aux Consommateurs — Intermédiaires s'abstenir.

CHEMINS DE DE FER.

b



Soudures Spéciales

à basse Température et à l'Autoène

Marques :
"LAFFITTE"
"DELMAS"
"LIGOT"
"LACHEZE"



PLAQUE & POUDRE à SOUDER

Soudure à basse température
pour fers et aciers.

TREMPE & CÉMENT

à feu ouvert et à vase clos.
Trempe du fer.
Durcissement de l'acier.
Cémentation à vase clos.

"ALUFOR"

Baguette inaltérable
pour le Brasage de l'Aluminium.

"CUIVROGÈNE"

Baguette à braser
plus fusible que le laiton
2 titres : N° 1 grise, N° 2 jaune.

"SILIZOL"

Enduit protecteur
contre la cémentation.

"LAFFITTUM"

Flux et Baguette pour la soudure
autogène de l'aluminium.

POUDRE à BRASER

Supérieure au Borax.
Évite toute boursoufflure.

"BANKALINE"

Soudure d'étain en pâte inoxydable
Supprime l'esprit de sel.
La Résine et l'Ammoniaque.

"ZÈCA"

Soudure à basse température
pour Aluminium et Alliages.
4 titres : N° 1, 2, 3, 4.

BRASURE EN BAGUETTE

Produit complet.
S'emploie sans fondant.
2 titres : jaune et grise.

"RUBANKA"

Soudure complète d'étain en ruban.
STANIX
Soudure complète d'étain en baguette

"BRONZOGENE"

Métal d'apport inoxydable
pour la soudure autogène
du bronze d'aluminium.
Laiton, fonte et acier.

BRASURE COMPLÈTE

Produit complet
en tablettes comprimées.
N° 1 grise, N° 2 jaune, N° 3 au fer.

AUTOFLUX

Décapant en Pâte.
Spécial pour soudure à l'étain.

"FONTOLINE"

Poudre à braser la fonte.
S'emploie avec le Superflux
et la soudure de cuivre

PLAQUE à BRASER

Spéciale pour scies à ruban

"SUPERFLUX"

Décapant pour tous Métaux.
Spécial pour soudure autogène.

"UNIFONTE"

Pâte à braser la fonte.

SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES à SOUDER

SOCIÉTÉ ANONYME - CAPITAL 3.000.000 DE FRANCS

102, AVENUE PARMENTIER - PARIS



l'Éclairage des Véhicules sur Rail

Marque **E.V.R.** déposée

Entreprise Générale d'Éclairage Électrique
de Voitures de Chemins de Fer
22, Rue de l'ARCADE, Paris (8^e)

Tél. : Central 06-37, 06-38. Adr. Télégraph. : SOCIEVER-PARIS-47.
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

