

Auteur ou collectivité : Exposition universelle. 1900. Paris

Auteur : Exposition universelle. 1900. Paris

Titre : Congrès international de surveillance et de sécurité en matière d'appareils à vapeur tenu à Paris en 1900 [16-18 juillet]. 24e congrès des associations de propriétaires d'appareils à vapeur

Adresse : Paris : Imprimerie E. Capiomont et Cie, [1900]

Collation : 1 vol. (528 p.) ; 24 cm

Cote : CNAM-BIB 8 Xae 498

Sujet(s) : Exposition internationale (1900 ; Paris) ; Vapeur, Technique de la

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE498>

CONGRÈS INTERNATIONAL
DE
SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ
EN MATIÈRE
D'APPAREILS A VAPEUR

Tenu à Paris en 1900

70706

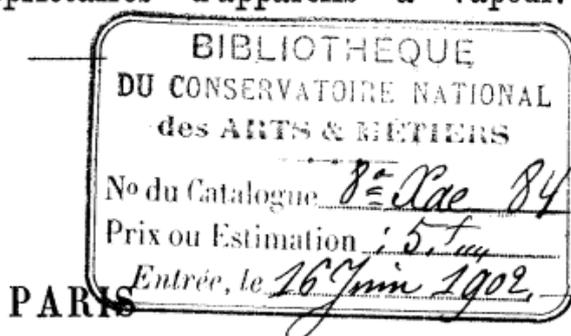
8° 2ae 498

CONGRÈS INTERNATIONAL
DE
SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ
EN MATIÈRE
D'APPAREILS A VAPEUR

Tenu à Paris en 1900

24° CONGRÈS

des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur.



IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET C^{IE}

57, RUE DE SEINE, 57

INTRODUCTION

Depuis 1876, les ingénieurs en chef des Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur se réunissent chaque année en Congrès avec leurs collègues de Bruxelles et de Mulhouse. Les travaux de ces Congrès, d'ordre plutôt technique, font l'objet de la publication d'un volume adressé aux adhérents des Associations, aux ingénieurs d'État et aux autres personnes qui s'intéressent aux questions de sécurité et d'économie dans l'emploi de la vapeur.

Les ingénieurs en chef des Associations françaises ont pensé qu'à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900, il serait utile de rattacher leur Congrès à la série des Congrès internationaux institués par l'arrêté ministériel du 11 juin 1898.

Toutefois, les questions concernant l'économie dans l'emploi de la vapeur devaient rester dans le cadre du Congrès de Mécanique appliquée.

Le Congrès, ainsi limité aux questions de sécurité, a été institué par décision de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900 sous le

nom de *Congrès international de surveillance et de sécurité en matière d'appareils à vapeur*.

Une commission, dont les membres furent nommés par M. le Commissaire général, fut chargée d'organiser le programme des travaux du Congrès, de recruter les adhérents, d'arrêter les questions à mettre à l'ordre du jour, etc.

La Commission d'organisation du Congrès était ainsi composée :

BUREAU

Président :

M. LINDER, Inspecteur général des mines, Ancien président de la Commission centrale des machines à vapeur, Président du Comité technique des machines à l'Exposition universelle de 1900.

Vice-Présidents :

MM. ROLAND, Ingénieur des arts et manufactures, Ingénieur en chef de l'Association normande des propriétaires d'appareils à vapeur, à Rouen.

BOURDON (Édouard), Ingénieur des arts et manufactures, Président de la Chambre syndicale des mécaniciens, chaudronniers et fondeurs de Paris.

Secrétaire général :

M. COMPÈRE, Ingénieur des arts et manufactures, Ingénieur en chef de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, Délégué général des Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur, Secrétaire du Comité d'admission de la Classe 19 (*Machines à vapeur*) et du Groupe IV (Exposition universelle de 1900).

MEMBRES

- MM. BASTIEN**, de la maison Delaunay-Belleville et C^{ie}, à Saint-Denis.
- BELLOM**, Ingénieur au Corps des mines, secrétaire de la Commission centrale des machines à vapeur.
- BOUGAREL**, Secrétaire de la Chambre syndicale des mécaniciens, chaudronniers et fondeurs de Paris.
- DEBIZE**, Ingénieur en chef du Service central des constructions des Manufactures de l'État, Membre de la Commission centrale des machines à vapeur.
- GROUVELLE**, Ingénieur des arts et manufactures, Professeur du cours de physique industrielle à l'École centrale des arts et manufactures.
- HIRSCH**, Inspecteur général honoraire des ponts et chaussées, Président du Comité d'admission de la Classe 19 (Exposition universelle de 1900), Membre de la Commission centrale des machines à vapeur.
- LHOMME**, Ingénieur de la marine.
- LIEBAUT**, Ingénieur des arts et manufactures, Vice-Président du Comité d'admission de la Classe 19 (Exposition universelle de 1900), Membre de la Commission centrale des machines à vapeur.
- MAIRE (Armand)**, Administrateur délégué de la Société des forges et aciéries du Nord et de l'Est.
- MAIRE (Étienne)**, Ingénieur des arts et manufactures, Ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est, à Reims.
- MICHEL-LÉVY**, Inspecteur général des mines, Membre de la Commission centrale des machines à vapeur.
- OLRY**, Ingénieur en chef des mines, Délégué général du Conseil d'administration de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, à Lille.
- PARENT**, Directeur des ateliers de la compagnie de Fives-Lille, à Fives-Lille (Nord).
- PICHON**, de la maison Meunier et C^{ie}, à Fives-Lille (Nord).
- SAUVAGE**, Ingénieur en chef des mines, Professeur du cours de machines à l'École nationale supérieure des mines.

VIII CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

MM. SCHMIDT, Ingénieur des arts et manufactures, Ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise, à Amiens.

WALCKENAER, Ingénieur en chef des mines, Rapporteur de la Commission centrale des machines à vapeur, Rapporteur du Comité d'admission de la Classe 19 (Exposition universelle de 1900).

WERTH, Ingénieur des arts et manufactures, Directeur des Services techniques des usines de la Société de Denain et Anzin (Nord).

De plus, un Comité spécial voulut bien prendre le Congrès sous son haut patronage.

Ce Comité était ainsi composé :

MEMBRES D'HONNEUR

MM. DELAUNAY-BELLEVILLE, Directeur général de l'Exploitation de l'Exposition universelle de 1900.

A. CARNOT, Membre de l'Institut, Président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

G. CANET, Président de la Société des Ingénieurs civils de France.

COMITÉ DE PATRONAGE

France.

MM. HÂTON DE LA GOUPILLIÈRE, Membre de l'Institut, Inspecteur général des mines, Président de la Commission d'organisation du Congrès de mécanique appliquée.

QUINETTE DE ROCHEMONT, Inspecteur général des ponts et chaussées, Ancien Directeur des routes, de la navigation et des mines au Ministère des Travaux publics.

MM. VICAIRE, Inspecteur général des mines, Président de la Commission centrale des machines à vapeur.

NICOLAS, Conseiller d'État, Directeur de l'Industrie au Ministère du Commerce.

Autriche.

M. *Le Président* de la Société des Ingénieurs et Architectes autrichiens.

Belgique.

MM. *Les Présidents* des Associations d'Ingénieurs de Bruxelles et de Liège.

Ch. LE GRELLE, Président de l'Association des Ingénieurs de Louvain.

WYHOWSKI, Vice-Président de l'Association des Ingénieurs de Gand.

États-Unis.

M. *Le Président* de la Société américaine des Civils Engineers.

Grande-Bretagne.

MM. *Les Présidents* des Institutions des Civils Engineers et des Mechanical Engineers.

Hollande.

M. J.-F.-W. CONRAD, Président de l'Institut royal des Ingénieurs néerlandais.

Italie.

M. DE ANGELI, Sénateur, Président de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de Milan et de la Société des Industriels italiens pour prévenir les accidents du travail.

Portugal.

M. *Le Président* de la Société des Ingénieurs civils portugais.

X CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

Une première circulaire fut envoyée le 31 mai 1899 en vue du recrutement des adhérents; une deuxième, en date du 31 mai 1900, fut adressée aux membres du Congrès déjà inscrits.

Ces circulaires étaient ainsi conçues :

MINISTÈRE DU COMMERCE DE L'INDUSTRIE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES	RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900	
DIRECTION GÉNÉRALE DE L'EXPLOITATION	
CONGRÈS INTERNATIONAUX	Paris, le 31 mai 1899.

CONGRÈS INTERNATIONAL
DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ
EN MATIÈRE
D'APPAREILS A VAPEUR

Un congrès international de surveillance et de sécurité en matière d'appareils à vapeur a été organisé à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900. Ce Congrès est rattaché à la série des Congrès prévus par l'arrêté ministériel du 11 juin 1898.

Il s'ouvrira à Paris, le lundi 16 juillet 1900. Sa durée sera de trois jours.

Vous trouverez ci-après :

- 1° Un exposé de motifs définissant le but du Congrès ;
- 2° La liste des membres de la Commission d'organisation ;
- 3° L'indication des questions actuellement mises à l'ordre du jour.

Si vous pensez qu'il soit intéressant d'ajouter à cet ordre du jour d'autres questions, nous vous serions très obligés de nous en indiquer le titre et l'objet. La Commission d'organisation statuera ensuite sur les propositions faites.

Les membres du Congrès payeront une cotisation de *dix francs* et recevront un compte rendu de la session.

Nous espérons, Monsieur, que vous apprécierez l'intérêt que présentera ce Congrès, pour lequel nous venons solliciter votre concours. Dans le cas où, comme nous le souhaitons, vous voudriez bien nous l'accorder, nous vous prions de retourner le plus tôt possible le bulletin d'adhésion ci-joint.

Veillez agréer, Monsieur, l'expression de notre considération très distinguée.

POUR LE COMITÉ D'ORGANISATION :

Le Président,

Le Secrétaire général,

LINDER,

COMPÈRE,

Inspecteur général des mines,
ancien Président
de la Commission centrale des machines
à vapeur.

Ingénieur en chef de l'Association
parisienne
des propriétaires d'appareils
à vapeur.

XII CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

MINISTÈRE
DU COMMERCE
DE L'INDUSTRIE
DES POSTES
ET DES TÉLÉGRAPHES.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

DIRECTION GÉNÉRALE
DE L'EXPLOITATION

CONGRÈS INTERNATIONAUX

Paris, le 31 mai 1900.

CONGRÈS INTERNATIONAL
DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

EN MATIÈRE

D'APPAREILS A VAPEUR

Paris 16, 17 et 18 juillet 1900.

SECRETARIAT : 66, rue de Rome, Paris.

Siège de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur.

Le moment de l'ouverture du Congrès approche; les rapports dont vous trouverez ci-après la liste sont imprimés et pourront être distribués dans quelques jours.

Le Congrès se tiendra dans les salles du Palais des Congrès à l'Exposition.

Les cartes des membres seront délivrées dans la matinée du 16 juillet au Palais des Congrès; elles

pourront également être retirées quelques jours auparavant, au Secrétariat de la Commission d'organisation du Congrès, 66, rue de Rome. Ces cartes donneront pendant la durée du Congrès la libre entrée à toute heure dans toutes les parties de l'Exposition.

Pour permettre à la Commission d'organisation de préparer à l'avance le programme des séances du Congrès, nous vous demanderons de bien vouloir nous indiquer les questions sur lesquelles vous désiriez pouvoir attirer, en séance, l'attention du Congrès.

Veillez agréer, Monsieur, l'expression de notre considération très distinguée.

POUR LE COMITÉ D'ORGANISATION :

Le Président,

LINDER,

Inspecteur général des mines,
ancien Président
de la Commission centrale des machines
à vapeur.

Le Secrétaire général,

COMPÈRE,

Ingénieur en chef de l'Association
parisienne
des propriétaires d'appareils
à vapeur.

La Commission d'organisation élaborera d'autre part le règlement du Congrès dont la teneur suit :

RÈGLEMENT

ARTICLE PREMIER. — Conformément à la décision de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900, il est institué à Paris un Congrès international de surveillance et de sécurité en matière d'appareils à vapeur, qui sera

XIV CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

rattaché à la série des Congrès prévus par l'arrêté ministériel du 11 juin 1898.

ART. 2. — Ce Congrès s'ouvrira le lundi 16 juillet 1900 et se terminera le mercredi suivant.

ART. 3. — Seront membres du Congrès :

1° Les adhérents qui auront acquitté la cotisation dont le montant est fixé à 10 francs ;

2° Les délégués des Administrations publiques françaises et les délégués des Gouvernements étrangers ;

3° Les membres d'honneur et les membres du Comité de patronage.

ART. 4. — Les membres du Congrès recevront une carte qui leur sera délivrée par le Commissaire général de l'Exposition.

Ces cartes, qui donne droit d'entrée à l'Exposition pendant la durée du Congrès, seront strictement personnelles.

ART. 5. — Le Congrès comporte :

des séances de sections,
des séances générales,
des visites à l'Exposition et à divers établissements industriels.

ART. 6. — La Commission d'organisation, nommée par le Commissaire général de l'Exposition, est chargée de préparer les travaux et les opérations du Congrès.

Elle reste constituée pendant et après la session pour assurer les services administratifs, ainsi que l'impression et la distribution des publications du Congrès.

ART. 7. — A l'ouverture du Congrès, le bureau du Comité d'organisation fait procéder à la nomination du bureau du Congrès.

ART. 8. — Le bureau du Congrès a la direction des travaux de la session ; il fixe l'ordre du jour de chaque séance.

ART. 9. — Les membres du Congrès ont seuls le droit d'assister aux séances et aux visites.

ART. 10. — En séance générale, après la lecture des communications autorisées, les orateurs prenant part à la discussion ne pourront garder la parole pendant plus de dix minutes, ni parler plus de deux fois dans la même séance sur le même sujet, sauf décision spéciale de l'assemblée.

ART. 11. — Les orateurs écriront un résumé de leurs observations en vue de la rédaction des procès-verbaux; ce résumé sera remis au Secrétaire dans les vingt-quatre heures: faute de quoi, le texte rédigé par le bureau en tiendra lieu. Le bureau peut opérer des réductions sur la longueur des résumés.

ART. 12. — Le bureau du Congrès statue en dernier ressort sur tout incident non prévu au règlement.

ART. 13. — Les procès-verbaux sommaires de la session seront imprimés et mis gratuitement à la disposition des membres du Congrès.

Il en sera de même d'un compte rendu détaillé des travaux du Congrès, qui sera publié par la Commission d'organisation.

ART. 14. — Le Congrès est soumis aux dispositions de l'arrêté ministériel du 11 juin 1898 portant règlement pour les Congrès à l'Exposition de 1900.

ART. 15. — Les adhésions au Congrès, la correspondance et toutes communications relatives au Congrès seront adressées :

1° Avant et après la session: au Secrétariat du **Congrès international de surveillance et de sécurité en matière d'appareils à vapeur**, au siège de l'**Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur**, *rue de Rome, 66, à Paris.*

2° Pendant la durée de la session: à l'adresse qui sera ultérieurement indiquée.

Enfin, la Commission d'organisation arrêta ainsi qu'il suit le programme des questions à traiter :

I. — Régimes divers de surveillance des appareils à vapeur.

Pays dans lesquels l'installation et l'exploitation de ces appareils sont exonérées du contrôle administratif. — Pays dans lesquels le contrôle existe; ses différents modes d'organisation; principaux points réglementés. — Dispositions particulières applicables aux chaudières de mines, aux locomobiles, aux locomotives et aux chaudières de bateaux; comparaison des systèmes en usage.

Personnes chargées de la surveillance et des visites : fonctionnaires d'État ou autres; ingénieurs, experts ou visiteurs, agréés ou non par le Gouvernement; associations de propriétaires d'appareils à vapeur, etc.

Rapporteur : **M. Olry**, Ingénieur en chef des mines, Délégué général du Conseil d'administration de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France.

II. — Du rôle des associations de propriétaires d'appareils à vapeur en matière de surveillance préventive ou d'assurance dans les divers pays.

Intervention des associations dans le contrôle administratif. — Influence exercée par elles sur la construction et l'entretien des appareils à vapeur sur la sécurité et l'économie.

Rapporteur : **M. Walther-Meunier**, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne de propriétaires d'appareils à vapeur.

III. — Du concours des associations de propriétaires d'appareils à vapeur pour les épreuves hydrauliques des appareils à vapeur.

Rapporteur : **M. Compère**, Ingénieur-Directeur de l'Association parisienne de propriétaires d'appareils à vapeur.

IV. — Épreuves des chaudières exportées.

Rapporteur : **M. Sauvage**, Ingénieur en chef des mines, Ingénieur en chef adjoint au matériel et à la traction de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest.

V. — Étude sur les accidents de récipients à vapeur.

Classification de leurs accidents. — Résumé des travaux parus sur ces accidents. — Conséquences tirées pour la construction et l'installation.

Rapporteur : **M. Hébert**, Ingénieur adjoint à l'Association parisienne de propriétaires d'appareils à vapeur.

VI. — Dispositions à adopter pour éviter les avaries des tuyautages des appareils à vapeur modernes.

Rapporteur : **M. Moritz**, ancien Ingénieur de la marine.

VII. — Sécurité et hygiène des chaufferies.

Conditions d'installation des chaudières à ce double point de vue. — Conditions d'établissement des chaufferies. — Température. — Ventilation. — Issues faciles et multiples.

Rapporteur : **M. Herscher**, Ingénieur des mines.

VIII. — Garanties à exiger des mécaniciens et chauffeurs.

Age, bonne conduite, capacités professionnelles, contrôle de l'instruction de ces agents, certificats de capacité, cours et concours de chauffeurs.

Rapporteur : **M. Bonnin**, Ingénieur, Professeur honoraire à l'École polytechnique de Montréal (Canada), Commissaire spécial délégué à l'Exposition universelle de 1900 par le gouvernement provincial de Québec.

IX. — Chaudières à petits éléments.

Résultats obtenus au point de vue de la sécurité.

Rapporteur : **M. Compère**, Ingénieur-Directeur de l'Association parisienne de propriétaires d'appareils à vapeur.

X. — Épuration des eaux d'alimentation des chaudières à vapeur.

Épuration préalable. — Épuration intérieure. — Procédés de désincrustation et d'extraction.

Rapporteur : **M. Krauss**, Ingénieur de l'Association autrichienne de propriétaires d'appareils à vapeur.

XI. — Corrosions intérieures des chaudières.

Rapporteur : **M. Bonnet**, Ingénieur en chef de l'Association de propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France.

XII. — Fabrication des chaudières.

Matériaux employés. — Leur mise en œuvre dans la construction et la réparation.

Rapporteur : **M. Compère**, Ingénieur-Directeur de l'Association parisienne de propriétaires d'appareils à vapeur.

Des délégués des gouvernements français et étrangers ont été accrédités officiellement par l'intermédiaire de l'Administration de l'Exposition, pour suivre les travaux du Congrès.

Voici les noms de ces délégués :

DÉLÉGUÉS OFFICIELS

FRANCE

MINISTÈRE DE LA GUERRE

- MM. JACOMY, Capitaine d'Artillerie, Adjoint à l'Atelier de construction de Puteaux.
HAGRON, Ingénieur en Chef des Poudres et Salpêtres, attaché au Laboratoire central des Poudres et Salpêtres.
BARRIER, Ingénieur des Services administratifs.

MINISTÈRE DE LA MARINE

- MM. BARGUILLET, Mécanicien-Inspecteur.
TERRÉ, Ingénieur en Chef de 1^{re} classe, attaché à la Section technique des constructions navales.
LHOMME, Ingénieur en Chef de 1^{re} classe, Membre du Conseil des Travaux des constructions navales.
LOUIS, Ingénieur en Chef de 1^{re} classe, Chef du Service de la Surveillance des travaux confiés à l'industrie.
BROCARD, Ingénieur de 1^{re} classe, attaché au Service de la Surveillance des travaux confiés à l'industrie.

ÉTRANGER

Autriche.

- M. le Professeur DE RADINGER, à Vienne.

Belgique.

- M. DÉJARDIN, ingénieur en Chef des Mines, Directeur au Ministère de l'Industrie et du Travail, Secrétaire de la Commission consultative pour les appareils à vapeur, à Bruxelles.

Canada.

- M. BONNIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur honoraire à l'École Polytechnique de Montréal.

États-Unis.

- M. DRAKE, Directeur de la Section des Machines et de l'Électricité au Commissariat général des États-Unis, à l'Exposition de 1900.

Hongrie.

- M. DE ROZSAHEGYI, Inspecteur en Chef des Chemins de fer et de la Navigation de l'État Hongrois au Ministère du Commerce, Membre de la Commission des Examens de l'Université des Sciences techniques, à Budapest.

Japon.

- M. SAKATA, Professeur à l'École Impériale de l'Industrie, à Tokio.

Pays-Bas.

- M. PIEPERS, Ingénieur en Chef du Contrôle sur les appareils à vapeur.

Russie.

- M. DE DOEPP, Professeur à l'Institut Technologique de l'Empereur Nicolas I^{er}, à Saint-Pétersbourg.
M. ZELENSKI.

Le nombre des adhérents du Congrès a atteint 314.

Les adhérents se sont trouvés plus particulièrement parmi les personnes et les collectivités, qui ont à intervenir en ce qui concerne la surveillance et la sécurité des appareils à vapeur : associations de propriétaires d'appareils à vapeur, ingénieurs d'État, ingénieurs civils, industriels, constructeurs, maîtres de forges, etc.

En voici la liste :

LISTE DES ADHÉRENTS

COLLECTIVITÉS DIVERSES

FRANCE

Association Lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur.

M. DESJUZEUR, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur-Directeur, à Lyon.

Association Méridionale des Propriétaires d'appareils à vapeur.

M. MARTINENQ-COMBESCURE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur-Directeur.

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France.

M. OLRV, Ingénieur en Chef des Mines, Délégué du Conseil d'Administration, à Paris.

M. BONET, Ingénieur en Chef, à Lille.

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est.

M. MAIRE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur-Directeur, à Reims.

M. GRIGNAR, Inspecteur principal, à Reims.

Association Normande des Propriétaires d'appareils à vapeur.

M. CHEDVILLE, Membre de la Chambre de Commerce d'Elbeuf, Vice-Président du Conseil d'Administration.

M. ROLAND, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur en Chef, à Rouen.

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de l'Ouest.

M. OLIVIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Délégué du Conseil d'Administration, à Nantes.

M. PELTIER, Ingénieur-Directeur, à Nantes.

XXII CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

Association Parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur.

M. COMPÈRE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur-Directeur, à Paris.

M. HÉBERT, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur adjoint.

M. FISCHESSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur.

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Sud-Est.

M. STAFFER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Président du Conseil d'Administration.

M. DUBIAU, Ingénieur-Directeur, à Marseille.

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, l'Aisne et l'Oise.

M. SCHMIDT, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur en Chef, à Amiens.

M. ARCHAMBAULT DE VENCAY, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur principal à Amiens.

M. BOQUILLON DE ZENLIS, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur, à Saint-Quentin.

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Sud-Ouest.

M. POUQUET, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur-Directeur, à Bordeaux.

Association des Industriels de France contre les accidents de travail.

M. PERISSÉ, Ingénieur-Expert, Président, à Paris.

Association des Industriels du Nord de la France contre les accidents de travail, à Lille.

Chambre de Commerce de Paris.

M. SCIAMA, membre, *Délégué*.

Chambre de Commerce de Maine-et-Loire, à Angers.

M. QUINTARD, membre, *Délégué*.

Comité Central des Houillères de France, à Paris.

Compagnie des Chemins de fer de l'Est.

M. DESGEANS, Ingénieur des Ateliers de la Compagnie, à Épernay.

M. GIRAUD, Chef du Laboratoire.

M. PELLETIER, Ancien Ingénieur de la Marine.

Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest.

M. CLÉRAULT, Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction.

M. SAUVAGE, Ingénieur en Chef des Mines, Ingénieur en Chef adjoint du Matériel et de la Traction.

Section Technique de l'Artillerie.

M. le Capitaine GIRAUDET, Directeur.

Société Industrielle d'Amiens.

M. SCHMIDT, Président, *Délégué*.

Société Industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne, à Saint-Quentin (Aisne).

M. SÉBASTIEN, Président.

Société Industrielle de Fourmies.

M. LEGROS, Président.

Société Industrielle de Reims.

M. MARTEAU, Président.

Société des Anciens Élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers.

M. MESUREUR, Président.

M. BARGUILLET, *Délégué*.

Syndicat des Fabricants de sucre de France, à Paris.

ÉTRANGER

Allemagne.

Association pour la surveillance des chaudières à vapeur de l'Allemagne du Nord, à Hambourg.

M. ECKERMANN, Ingénieur en Chef.

Association Badoise pour la surveillance des chaudières à vapeur, à Manheim.

M. ISAMBERT, Ingénieur en Chef.

XXIV CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ
Association Bavaroise pour la surveillance des chaudières à vapeur,
à Munich.

M. GYSSLING, Ingénieur-Directeur.

Association pour la surveillance des chaudières à vapeur, à Berlin
M. HILLIGER, Ingénieur en Chef.

Association pour la surveillance des chaudières à vapeur, à Magde-
bourg.

M. CLARIO, Ingénieur-Directeur.

Association pour la surveillance des chaudières à vapeur, à Posen.
M. BENEMANN, Ingénieur en Chef.

Association pour la surveillance des chaudières à vapeur de Saxe et
d'Anhalt, à Bernbourg.

M. OCHLICH, Ingénieur-Directeur.

Association pour la surveillance des chaudières à vapeur de Saxe et
de Thuringe, à Halle.

M. MÜNTER, Ingénieur en Chef.

Association Silésienne pour la surveillance des chaudières à vapeur,
à Breslau.

M. MINNSEN, Ingénieur en Chef.

Association Wurtembergeoise de contrôle des chaudières à vapeur.
à Stuttgart.

M. LECHNER, Ingénieur en Chef.

Alsace-Lorraine.

Association Alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur, à
Mulhouse.

M. ZÜBER, Président du Conseil d'Administration, à Rixheim.

M. WALTHER-MEUNIER, Ingénieur en Chef.

Société Industrielle de Mulhouse.

M. WALTHER-MEUNIER, *Délégué.*

Autriche.

Association pour l'inspection et l'assurance des chaudières à vapeur,
à Vienne.

M. ZWIAUER, Ingénieur-Directeur.

M. KRAUSS, Ingénieur-Inspecteur.

Association pour l'épreuve des chaudières.

M. BURÈS, Vice-Président, à Prague.

M. SCHNIRCH, Ingénieur-Directeur.

Chemins de fer de l'État Autrichien.

M. BURGER, Commissaire des Machines, à Vienne.

M. DIEHL, Ingénieur, à Trieste.

M. RIHOSEK, Directeur au Ministère, à Vienne.

Société des Ingénieurs et Architectes, à Vienne.

M. RÜCKER, Président.

M. ZWIAUER, *Délégué*.

Belgique.

Association pour la surveillance des appareils à vapeur.

M. VINÇOTTE, Ingénieur-Directeur, à Bruxelles.

Italie.

Association des Propriétaires de chaudières à vapeur de Gènes.

M. ZANCANI, Ingénieur-Directeur.

Association des Propriétaires de chaudières à vapeur de Milan.

M. DE ANGELI, Sénateur, Président du Conseil d'Administration.

M. PERELLI, Ingénieur-Directeur.

XXVI CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

Association des Propriétaires de chaudières à vapeur dans les provinces napolitaines.

M. SINIGAGLIA, Professeur agrégé à l'École des Ingénieurs de Naples, Ingénieur-Directeur.

Association des Propriétaires de chaudières à vapeur de Rome.

M. SPREGA, Président du Conseil d'Administration.

M. CASANOVA, Ingénieur-Directeur.

Association des Propriétaires de chaudières à vapeur du Piémont, à Turin.

M. DÉCUGIS, Ingénieur-Directeur.

Société des Ingénieurs et des Architectes Italiens, à Rome.

M. SPREGA, *Délégué*.

Portugal.

Association des Ingénieurs Civils, à Lisbonne.

M. MENDÈS GUERRERRO et M. RENATO BAPTISTA, *Délégués*.

Suède.

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur, à Stockholm.

M. WIDELL, Ingénieur en Chef.

Suisse.

Association Suisse des Propriétaires d'appareils à vapeur.

M. STRUPLER, Ingénieur-Directeur, à Zurich.

MEMBRES DU CONGRÈS

France

- AGUILLON (Louis), Inspecteur général des Mines, à Paris.
ALERS (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
AMSLER (Jacques), Fabricant de papier, à Reims.
ANTHONI (Gustave), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
ARQUEMBOURG (Émile), Ingénieur, à Paris.
ASSELIN (Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, Fabricant de Produits chimiques, à Saint-Denis.

BADOUREAU (Albert), Ingénieur en chef des Mines, à Chambéry (Savoie).
BARBA (Joseph), Ancien ingénieur de la Marine, à Paris.
BASTIEN (Gustave), Ingénieur de la Société des Générateurs Belleville, à Épinay-sur-Seine (Seine).
BAZIN (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur de la Maison A. Meunier et C^{ie}, à Suresnes (Seine).
BEAUFORT (Mathieu), Mécanicien, Administrateur de la Fédération centrale des Chauffeurs, à Paris.
BELLANGER (Pierre), Ingénieur au Corps des Mines, au Mans (Sarthe).
BELLOM (Maurice), Ingénieur au Corps des Mines, à Paris.
BELMÈRE (Lucien), Ingénieur chez MM. Dujardin et C^{ie}, à Lille.
BERRIER-FONTAINE (Marc), Directeur du Génie Maritime, Directeur de l'Établissement de la Marine Nationale, à Indret (Loire-Inférieure).
BERTHELIER (Ferdinand), Directeur Général des Établissements Émile Muller, à Paris.
BICHAT (Ernest), Doyen de la Faculté des Sciences de Nancy, à Nancy (Meuse-et-Moselle).
BIÉTRIX (Vincent), Ingénieur-gérant des Forges et ateliers de la Chaléassière, à Saint-Étienne (Loire).
BINOT DE VILLIERS (Georges), Ingénieur, à Paris.
BLANCHET (Jean-Baptiste), Ingénieur-Mécanicien, à Paris.
BOCHET (Léon), Ingénieur au Corps des Mines, à Paris.

XXVIII CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

BORROT (Prosper), Ingénieur-Directeur de la Société anonyme : « Les Chaudronneries du Nord de la France » à Lesquin-lez-Lille (Nord).

BOUGAREL (Pierre), Ingénieur civil, à Paris.

BOULENGER (Paul), Gérant de la Faïencerie de Choisy-le-Roi (Seine).

BOURCE (A.), Administrateur-Délégué et Directeur de la Sucrerie d'Épernay (Marne).

BOURDON (Édouard), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.

BRAQUIER (Léon), Industriel, à Verdun-sur-Meuse (Meuse).

BRUN (Édouard), Ingénieur des Arts et Manufactures, Fabricant de sucre, à Hattencourt (Somme).

BRUNSWICK (Ernest), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur des Ateliers de la Maison Bréguet, à Douai (Nord).

BUFFAUD et ROBATEL, Ingénieurs-Constructeurs, à Lyon.

BURON (Alcide), Ingénieur-Constructeur, à Paris.

CALMETTES (G.), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.

CAPIOMONT et C^{ie}, Imprimeurs, à Paris.

CAREZ (Ernest-Eugène), Ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées de Belgique. Ancien Gérant des ateliers de constructions mécaniques de Saint-Quentin, à Saint-Quentin (Aisne).

CARPENTIER, Chef des Travaux au Grand-Hôtel, Représentant de la Société du Grand-Hôtel, à Paris.

CASEVITZ (Henry), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de l'Usine de la Compagnie Française des Charbons pour l'électricité, à Nanterre (Seine).

CAVALLIER (Camille), Administrateur-Directeur de la Société anonyme des Hauts fourneaux et fonderies de Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).

CHAMPY (Louis), Ingénieur au Corps des Mines, à Chalon-sur-Saône (Saône-et-Loire).

CHAUDOIR (Eugène), Ingénieur-Directeur de la Compagnie des Eaux de la Banlieue de Paris, à Suresnes (Seine).

CHEDEVILLE, Ingénieur de la Société anonyme « Les Chaudronneries du Nord de la France », à Lille.

CHEVALET (Ferdinand), Ingénieur-Chimiste, à Troyes (Aube).

CHEVALIER (Alfred), Administrateur-Directeur de la Sucrerie des Andelys (Seine-Inférieure).

Compagnie de Fives-Lille, à Paris.

Compagnie Française des Métaux, à Paris.

- Compagnie Française pour l'exploitation des Procédés Thomson-Houston, à Paris.
- Compagnie Générale des Omnibus, à Paris.
- Compagnie des Tramways de l'Est-Parisien. Directeur : M. Paul DEBRAY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.
- Compagnie de Saint-Gobain, à Paris.
- CORDIER (Jules), Ingénieur-Constructeur, à Paris.
- COROMPT (Guillaume), Chef Mécanicien, Trésorier général de la Fédération centrale des Chauffeurs, à Boulogne-sur-Seine (Seine).
- COULON (Gustave), Administrateur de la Société anonyme de Construction et de Galvanisation, à Anzin (Nord).
- COUSIN (Henri), Ingénieur en chef au Corps des Mines, au Mans (Sarthe).
- CRÉPELLE-FONTAINE, Constructeur à la Madeleine-lez-Lille (Nord).
- Cressonnières (des), Savonnerie, Parfumerie, à Lille (Nord).
- CROHARÉ (Eugène), Directeur des Ateliers de la Société Lyonnaise de Mécanique et d'Électricité, à Paris.
- DALTROFF (Julien), Industriel, à Paris.
- DANZER (Henry), Administrateur-Délégué de la Compagnie générale de Glace hygiénique, à Paris.
- DARBLAY (Paul), Manufacturier, à Essonnes (Seine-et-Oise).
- DAYMARD (Victor), Ingénieur en chef de la Compagnie générale transatlantique, à Paris.
- DELANGRE, Gérant de la Sucrerie du Petit-Caudry, à Caudry (Nord).
- DELATTE (Carlos), Ancien Administrateur de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord, à Lille.
- DELAUNAY-BELLEVILLE et C^{ie}, Constructeurs-Mécaniciens, à Saint-Denis (Seine).
- DÉROCHE (Marcelin), Entrepreneur de Chaudronnerie et Fumisterie industrielles, à Paris.
- DESROMAUX, Ingénieur-Administrateur-Délégué de la Société anonyme « L'Épuration des Eaux », à Paris.
- DREYFUS (Félix), Marchand de fers, à Paris.
- DRIEUX (Victor), Filateur de lin, à Lille.
- DRIEUX et J. BOITTIAUX, Filateurs de lin, à Séclin (Nord).
- DUBOIS (Jules), Ingénieur-Constructeur, à Anzin (Nord).
- DUCROS DE ROMEFORT, Secrétaire général de la Compagnie d'assurances contre les accidents « Le Secours », à Paris.

XXX CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

- DUJARDIN (Albert), Ingénieur-Mécanicien, à Lille.
- DUPONT et C^{ie} (A.), Manufacturiers, à Beauvais (Oise).
- DUPORTAL (Armand), Ingénieur civil des Mines, attaché à la Pharmacie centrale de France, à Paris.
- DURENNE (Jean), Ingénieur civil, Ancien constructeur, à Paris.
- DYCKOFF (Frédéric), Ingénieur-Administrateur-Délégué de la Société Française des Moteurs Diesel, à Bar-le-Duc (Meuse).
- EICKEN (DE) (Richard), Industriel, à Paris.
- EUDE (Émile), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
- EXPERT-BEZANÇON, Industriel, à Lille.
- FALISSE (A.), Directeur de l'Usine des Mines de Malfidano, à Noyelles-Godault (Pas-de-Calais).
- FAUQUIER (Pierre), Ingénieur à la Maison Pignet, à Lyon.
- FLIPOT (Émile), Ingénieur à la Maison Meunier et C^{ie}, à Fives-Lille.
- FOCQUET (Paul), Ingénieur-Directeur-Gérant de la Société anonyme des Forges de Vireux (Ardennes).
- FORT (Jean), Mécanicien Administrateur-Délégué de la Fédération centrale des Chauffeurs, à Paris.
- FOUCHÉ (Frédéric), Ingénieur-Constructeur, à Paris.
- GACHOT (Charles), Étudiant en Chimie, à Paris.
- GAILLET (Paul), Ingénieur civil, Administrateur Délégué de la Société anonyme des Ateliers de construction de la Madeleine-lez-Lille, à Lille.
- GARNIER et FAURE-BEAULIEU, Ingénieurs-Mécaniciens, à Paris.
- GARRY (Gaston), Fabricant de sucre, à Rue (Somme).
- GENOULLAC (DE) (Victor), Ingénieur en chef au Corps des Mines, à Rouen.
- GIGOT (Paul), Ingénieur Chef du service des Usines de la Compagnie Parisienne du Gaz, à Paris.
- GODILLOT (Georges-Alexis), Ingénieur à Paris.
- GORVEL (Joseph), Ingénieur des Arts et Manufactures, Inspecteur du service des Machines à la Compagnie Parisienne du Gaz, à Paris.
- GROSSOUVRE (DE) (Albert), Ingénieur en chef au Corps des Mines, à Bourges (Cher).
- GROUVELLE (Philippe-Jules), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, à Paris.

- GRYSEZ (Édouard), Filateur, à Dunkerque (Nord).
- GUARY (Gabriel), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur à la maison Lorilleux, à Paris.
- GUERREAU (A.), Ingénieur civil des Mines, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- GUYOT (Antoine), Robinettier, à Montreuil-sous-Bois (Seine).
- HATTERER (Vve J.), Fabricant de papiers à cigarettes, à Paris.
- Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain (Nord).
- HERSCHER (Eugène), Ingénieur au Corps des Mines, à Lille.
- HIRSCH (J.), Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, à Paris.
- HOCQUARD (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
- HOWATSON (Andrew), Ingénieur civil, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- HUGUET (Albert), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur, à Paris.
- HUILLARD (Alphonse) et C^{ie}, Manufacturiers, à Suresnes (Seine).
- IMBERT (Agamemnon), Ingénieur, Ancien constructeur, à Asnières (Seine).
- IRELAND (Henry), Filateur de lin, à Houplines-sur-la-Lys (Nord).
- JANET (Léon-Augustin), Ingénieur au Corps des Mines, à Paris.
- JAY (Julien), Ingénieur aux Mines du Teil, à Paris.
- JOIRE (Alexandre), Filateur de coton, à Tourcoing (Nord).
- KELLER (Octave), Inspecteur général des Mines, à Paris.
- KOECHLIN et C^{ie} (Les successeurs de), Filature et tissage de coton, à Ramonchamp (Vosges).
- KÆRTING frères, Ingénieurs-Constructeurs, à Paris.
- KREISS (Adolphe), Ingénieur civil, Administrateur-Directeur des Brasseries de la Meuse, à Sèvres (Seine-et-Oise).
- KREMER (Philippe), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
- KRETZSCHMAR (Charles), Constructeur de chaudières, à Soissons (Aisne).
- LAAS D'AGUEN, Directeur de la Compagnie d'Assurances contre les accidents « Le Secours », à Paris.
- LAFORGUE (Gabriel-Joseph), Ingénieur, à Paris.
- LAINÉ (Émile), Raffinerie française d'alcools, à Loos (Nord).

XXXII CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

- LALANDE (Georges), Chef d'entretien du matériel de la Société française des Munitions de chasse, de tir et de guerre, à Issy-les-Moulineaux (Seine).
- LANDSBERG (Jules), Chromolithographie française, à Halluin (Nord).
- LANTENOIS (Honoré), Ingénieur des Mines, à Constantine (Algérie).
- LARNAUDE (Émile), Fabricant de papiers, à Aulnay-par-Maule, (Seine-et-Oise).
- LAUNAY (Félix), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de l'assainissement de Paris, à Paris.
- LE BLANC (Jules), Ingénieur-Constructeur, à Paris.
- LEBRUN (Albert), Ingénieur au Corps des Mines, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- LE CARPENTIER (Henry), Filateur de coton, Juge au Tribunal de Commerce, à Rouen (Seine-Inférieure).
- LECOMTE (Émile et Jules), Usine de la Sorille, à Sedan (Ardennes).
- LEFÈVRE (Olivier), Fondateur, à Saint-Quentin (Aisne).
- LELIÈVRE-DUBRANILLE, Industriel à Calais (Pas-de-Calais).
- LEMAIRE (Honoré), Directeur des Services administratifs et commerciaux aux Forges et Aciéries de Denain et d'Anzin (Nord).
- LEMOINE (Édouard), Ingénieur - Directeur des Forges de Paris (Société des Aciéries de France), à Paris.
- LÉON (G.), Ingénieur au Corps des Mines, à Valenciennes (Nord).
- LEQUIN (Édouard), Ancien Ingénieur des Manufactures de l'État, Directeur général des Usines de Produits chimiques de la Compagnie de Saint Gobain, à Paris.
- LETHUILLIER-PINEL, Ingénieurs-Mécaniciens, à Rouen.
- LETORT (Alfred), Ingénieur-Directeur du Matériel de la Raffinerie Say, à Paris.
- LIÉBAUT (Arthur), Ingénieur-Constructeur, à Paris.
- LIÉBAUT (Théophile), Constructeur-Mécanicien, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- LINDER, Inspecteur général des Mines, à Paris.
- LORIEUX (E.), Inspecteur général des Mines, à Paris.
- LORILLEUX (Charles), Fabricant d'encre d'imprimerie, à Paris.
- MABIRE (Alexandre), Filateur de coton, à Rouen.
- MAES (Georges-Louis), Manufacturier, à Clichy.
- MALLIET (Eugène), Ingénieur-Constructeur, à Anzin (Nord).
- MAIRE (Jean), Ingénieur-Administrateur de la Société des Forges et Aciéries du Nord-Est, à Paris.

- MALLARD (P.), Constructeur, à Rouen.
- MANTEL (Conrad), Filateur, à la Bussière, près Guise (Aisne).
- MARCHAL (Jean), Directeur des travaux de la ville de Châlons-sur-Marne (Marne).
- MARCHAND (Georges), Dépositaire du Creusot, à Paris.
- MASSABIEAUX (Manfred), Ingénieur, Représentant de la Compagnie Parisienne de l'Air comprimé, à Paris.
- MASUREL frères, Filateurs de laine peignée, à Tourcoing (Nord).
- MATHÉI (Jules), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur de la Compagnie pour la fabrication des compteurs, à Paris.
- MATHIEU (Henri), Contrôleur principal des Mines, Inspecteur des appareils à vapeur de la Seine, à Paris.
- MATHON et DUBRULLE (E.), Fabricants de tissus et teinturiers, à Tourcoing (Nord).
- MATHOT (Toussaint), Administrateur-Délégué de la Société anonyme des générateurs Mathot, à Rœux-lez-Arras.
- MAZIS (DES) (Raoul), Ingénieur, Directeur des Cours de la Fédération centrale des Chauffeurs, Conducteurs, Mécaniciens, à Paris.
- MEKER (François), Sous-Ingénieur des Ponts-et-Chaussées, Inspecteur des machines et réservoirs de la Ville de Paris, à Paris.
- MÉQUILLET-NOBLOT et C^{ie}, Filature et tissage de coton, à Héricourt (Haute-Saône).
- METTRIER (Maurice), Ingénieur au Corps des Mines, à Montpellier (Hérault).
- MEUNIER (L.), Représentant de la Maison Hachette, à Paris.
- MICHAUD (Edmond), Ingénieur des Arts et Manufactures, Membre de la Chambre de Commerce, à Paris.
- MICHAUD (Ernest), Fabricant de savons, à Aubervilliers (Seine).
- MICHAUD (Jules), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Maison Marinoni, à Paris.
- MICHEL (Charles-Ferdinand), Directeur de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à gaz, à Paris.
- MILCENT (Ernest), Administrateur-Délégué de la Société anonyme du Temple, à Cherbourg (Manche).
- MONMERQUÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.
- MONTUPET (Antoine), Ingénieur-Constructeur, à Paris.
- MORITZ (Frédéric), Manufacturier, Ancien ingénieur de la Marine, à Ourscamp (Oise).
- MORTE (Alfred) et C^{ie}, Peignage mécanique de laines, à Roubaix.

XXXIV CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

MUNIER (Édouard), Ingénieur-Constructeur, à Nancy.

MUNIER (Jules), Constructeur, à Frouard (Meurthe-et-Moselle).

NADAL (Joseph), Ingénieur au Corps des Mines, à Bourges (Cher).

NICLAUSSE (Jules-Pierre-Elie), Ingénieur-Constructeur, à Paris.

NIVOIT (Edmond), Inspecteur général des Mines, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, à Paris.

ODENT (Xavier), Fabricant de papiers, à Paris.

OPPERMANN (Alfred), Ingénieur en chef au Corps des Mines, à Marseille.

PARENT (Louis), Directeur des Ateliers de la Compagnie de Fives-Lille (Nord).

PETIT, Ingénieur au Creusot, à Paris.

PIAT (Albert), Constructeur-Mécanicien, fondeur, à Paris.

PICOU (Gustave), Distillateur, à Saint-Denis (Seine).

PIERREL, Ingénieur à la Compagnie française Babcock et Wilcox, à Paris.

PORTAIT (Auguste), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur de la Maison B. Serven, à Toulouse (Haute-Garonne).

PRIMAT (Jean), Ingénieur au Corps des Mines, à Grenoble (Isère).

QUELLENNEC, Ingénieur en chef de la Compagnie universelle du Canal de Suez, à Paris.

RAVIER (Sylvain-Louis), Ingénieur de la Marine, à Douai (Nord).

REDOULY, VALMÉ et C^{ie}, Entrepreneurs de peinture, à Paris.

RENARD (Charles), Ingénieur de la Maison Dujardin, à Lille.

RÉSIMONT (Armand), Directeur de la Société anonyme des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est, à Valenciennes (Nord).

RÉVILLION frères, Fabricants de fourrures et pelleteries, à Paris.

REY (Louis), Administrateur de la Société anonyme de travaux Dyle et Bacalan, à Paris.

RICARD (Jules), Ingénieur à la Société des Eaux du Vésinet (Seine-et-Oise).

RICHEMOND (Pierre), Ingénieur-Constructeur, à Paris.

RIGO (Eugène), Ingénieur-Directeur de l'Usine Saint-Marcel, à Hautmont (Nord).

ROGÉ (Xavier), Administrateur-Directeur de la Société anonyme des Hauts Fourneaux et Fonderies de Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).

- ROSER (Nicolas), Constructeur de chaudières, à Saint-Denis.
ROUSSEL (Jules), Ingénieur-Constructeur, à Paris.
ROUVILLE (DE), Directeur de la Compagnie universelle du Canal de Suez, à Paris.
ROY frères et C^{ie}, Tissage mécanique de coton, à Petit-Quevilly (Seine-Inférieure).
- SAINT frères, Manufacturiers, à Flixecourt (Somme).
SCHNEIDER et C^{ie}, Constructeurs, au Creusot.
SEYRIG, Ingénieur-Constructeur, à Saint-Denis (Seine).
Société anonyme agricole et sucrière de Lesdins (Aisne).
Société anonyme des Ateliers de construction, Forges et Fonderies de Hautmont (Nord).
Société anonyme du Chocolat Lombard, à Paris.
Société anonyme des Établissements de construction mécanique Carion-Delmotte, à Anzin (Nord).
Société anonyme de la Fabrique de fer de Maubeuge, à Louvroil (Nord).
Société anonyme de la Sucrierie de Moyencourt (Somme).
Société française de Constructions mécaniques (Anciens établissements Cail).
SOSNOWSKI, Ingénieur civil, Administrateur de la Société de Laval, à Paris.
SOUBEIRAN (Alfred), Société des Ciments français, à Paris.
- Tanneries et Corroieries de Watten (Nord).
THOMINE (Edmond), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur-Directeur de la Compagnie française Babcock et Wilcox, à Paris.
TRÉBUCIEN (Ernest), Négociant, à Paris.
TRYSTRAM (Jean), et fils, Négociants à Dunkerque (Nord).
- Usine des Ressorts du Nord, à Douai (Nord).
- VAN DER MAESEN, Directeur-Gérant de la Société anonyme des Hauts Fourneaux et Forges de Villerupt (Meurthe-et-Moselle).
VIEUSSA, Chef des Travaux de la Compagnie universelle du Canal de Suez, à Paris.
VION (Victor), Fabricant de sucre, à Sainte-Émilie, par Roisel (Somme).

XXXVI CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

WALCKENAER, Ingénieur en chef au Corps des Mines, à Paris.

WERTH (Jean), Ingénieur-Directeur des Services techniques des Usines de Denain et d'Anzin (Nord).

WORMS DE ROMILLY (Paul), Inspecteur général des Mines, à Paris.

ÉTRANGER

Angleterre.

HILLER (Edward-George), Ingénieur en Chef et Directeur de la Compagnie Générale d'assurance des chaudières, à Manchester.

Autriche.

BOSCHAN (Arthur), Ingénieur à Vienne.

Belgique.

FRANÇOIS (Nicolas), Ingénieur à la Société John Cockerill, à Jemeppe-sur-Meuse.

GROSJEAN (Alexandre), Ingénieur aux Établissements de Naeyer et C^{ie}, à Willebroeck.

DE NAEYER (Louis), Constructeur, à Willebroeck.

STEIN (Émile), Ingénieur en Chef des Établissements de Naeyer et C^{ie}, à Bruxelles.

Brésil.

DA SILVA FREIRE, Directeur des Travaux de la Ville et Professeur à l'École Polytechnique, à Sao-Paulo.

VITAL BRANDAO CAVALCANTI, Ingénieur de la Marine brésilienne, à Rio-de-Janeiro.

Danemark.

ELGSTRÖM (Nicolai-Frederik), Ingénieur, à Copenhague.

États-Unis.

Low (F.-R.), Éditeur, à New-York.

SWANN (J.-J.), Ingénieur et Journaliste, Représentant de « Engineering News », à New-York.

Hollande.

FREMB (Docteur), Directeur du Centraal-Bureau voor Sociale Adviezen, Professeur d'économie politique à l'Université d'Amsterdam.

Italie.

BARZANO (Carlo), Ingénieur, Office de Brevets d'invention, à Milan.

Japon.

OBATA (Bounzaburo), Ingénieur de la Marine japonaise, à Tokio.

ODAGIRI (Enju), Ingénieur de la Marine japonaise, à Tokio.

OHATCHI (Geulard), Mécanicien en Chef de la Marine japonaise, à Tokio.

Portugal.

MENDÉS GUERREIRO (J.-V.), Ingénieur de 1^{re} classe, à Lisbonne.

RENATO (Baptista), Officier du génie, Professeur à l'École de l'Armée, à Lisbonne.

Russie.

ALBRECHT (Uno), Ingénieur, Professeur à l'École Polytechnique de Finlande, à Helsingfors.

GAVRILENKO (A.-P.), Ingénieur-Mécanicien, Professeur à l'École Impériale Technique, à Moscou.

XXXVIII CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ

KORNOWSKI (Henri), Ingénieur, à Varsovie.

LOMCHAKOFF (Alexis), Ingénieur, Chef de la Station d'essais des usines
Pontilof, à Saint-Pétersbourg.

MARKIEWICZ (P.-Br.), Ingénieur de la maison Fitzner et Gamper, à
Kramatorskaïa.

RACIENCKI (Sigismond), Ingénieur, à Varsovie.

SOKOWNINE (Nicolas), Chimiste, à Paris.

Suisse.

KLEIN (Rodolphe), Ingénieur de la Maison Sulzer frères, à Win-
terthur.

RAPPORTS

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

CONGRÈS INTERNATIONAL DE SURVEILLANCE ET DE SÉCURITÉ
en matière d'appareils à vapeur.

1^{re} Question

RÉGIMES DIVERS DE SURVEILLANCE

DES

APPAREILS A VAPEUR

PAR

M. A. OLRV

Ingénieur en chef des mines, Délégué général
du Conseil d'administration de l'Association des propriétaires
d'appareils à vapeur du Nord de la France.

Systèmes en présence. — Le tempérament d'une nation se reflète dans ses institutions. Là où règnent le respect absolu de la liberté individuelle, le principe, le dogme que le domicile privé, et même la demeure industrielle doivent rester inviolables, l'ingérence administrative n'existe pas, ou se trouve réduite à des proportions minimales. Dans les pays, au contraire, où la raison d'État est volontiers admise, où les convenances privées sont instinctivement subordonnées, d'un consentement tacite et presque unanime, à l'intérêt général, ce mode

d'intervention est répandu à un degré qui varie avec le prestige que les pouvoirs publics exercent sur les citoyens, et avec la docilité plus ou moins grande que mettent ceux-ci à accepter un contrôle organisé en faveur de ceux dont l'Administration et ses représentants sont les protecteurs naturels.

De cette double tendance découlent, en matière d'appareils à vapeur, des régimes tout à fait dissemblables.

Régime de la liberté. — C'est ainsi que, dans la Grande-Bretagne, où toute atteinte à la liberté individuelle est rigoureusement proscrite et serait sévèrement condamnée par l'opinion publique, l'usage des chaudières et récipients fonctionnant à terre n'est soumis à aucune réglementation ni à aucune surveillance officielle. Dans le cas d'explosions seulement, la loi du 12 juillet 1882 ordonne une enquête en vue d'établir les responsabilités encourues, et, le cas échéant, de permettre la répression des fautes commises.

Un système analogue est en vigueur en Espagne, en Suède et en Norvège, sauf dans quelques villes, où l'emploi des appareils à vapeur est plus ou moins sévèrement réglementé.

Régime de la surveillance administrative. — Par contre, en Allemagne, en Autriche-Hongrie, en Belgique, en Danemark, en France, en Italie, dans les Pays-Bas, le Portugal, la Russie et la Suisse, les appareils à vapeur sont astreints à une législation ayant pour but d'assurer la sécurité des hommes et des choses, en passant outre aux considérations d'intérêts particuliers, mais en s'efforçant d'éviter l'arbitraire et d'épargner à l'industrie des charges inutiles et vexatoires. En Suisse, cette législation est complétée, dans plusieurs cantons, par des réglementations particulières.

Les États-Unis d'Amérique possèdent un régime mixte ; les générateurs à vapeur n'y figurent pas dans la législation fédérale ; mais, tandis que, dans certains États, la construction et l'emploi de ces appareils sont restés entièrement libres, d'autres ont légiféré pour les soumettre à des règles dictées par le désir légitime d'éviter des accidents.

Discussion des deux systèmes. — De ces deux tendances opposées, liberté ou réglementation, quelle est celle qu'il convient de préférer ? La question est sujette à controverse et sa solution peut, à bon droit, rester indécise.

En Angleterre, par exemple, une enquête dans laquelle elle avait été posée, effectuée en 1870 et 1871, n'a pas donné de résultats positifs. La commission spéciale chargée d'y procéder, c'est-à-dire de rechercher les causes des explosions de chaudières à vapeur et les meilleurs moyens de les prévenir, a reconnu qu'un grand nombre de ces accidents ne sauraient être évités par une inspection obligatoire officielle, et ne pourraient être supprimés que par l'exercice d'une surveillance permanente, c'est-à-dire pratiquement irréalisable ; elle a, en outre, émis l'avis qu'une pareille inspection pourrait faire disparaître, ou atténuer tout au moins la responsabilité des industriels ; elle a, dès lors, conclu à l'encontre d'un système qui ne lui paraissait pas d'une efficacité complète et lui semblait présenter, par ailleurs, de sérieux inconvénients.

Ce n'est pas, toutefois, qu'en Angleterre on soit absolument rebelle à l'application de dispositions préventives, lorsque les circonstances s'y prêtent, et surtout lorsque les accidents d'appareils à vapeur seraient susceptibles d'entraîner des conséquences d'une exceptionnelle gravité. C'est ainsi que, dans ce pays, les locomotives appartenant aux Compagnies de chemins de fer sont assujetties à la surveillance des inspecteurs spéciaux du contrôle et

de la commission instituée par la loi du 14 août 1871, que les chaudières de mines, ont été réglementées par les lois des 10 août 1872 et 16 septembre 1887, et que les chaudières de bateaux sont soumises, en vertu de la loi sur la marine marchande du 10 août 1854, à des prescriptions qui, pour les navires transportant des voyageurs, sont d'une minutie et d'une sévérité extrêmes. Il est intéressant de mettre en regard de la liberté presque absolue laissée aux usagers des chaudières fonctionnant à terre, les sujétions de toute nature, parfois onéreuses, souvent difficiles à observer, imposées sur les bateaux à voyageurs. D'un extrême on tombe dans l'autre; mais, aussi, il faut bien reconnaître qu'une explosion en pleine mer pourrait donner lieu à de terribles catastrophes; les Anglais n'ont dès lors reculé devant aucune mesure préservatrice pour éviter une pareille éventualité, et, mettant cette fois en première ligne l'intérêt supérieur de la sécurité, ils ont fait bon marché du principe de la liberté individuelle.

Les mêmes différences, nous pourrions presque dire les mêmes anomalies, se retrouvent en Suède et en Norvège. Les générateurs de vapeur y sont affranchis de toute réglementation, à l'exception de ceux installés à bord de bateaux affectés au transport de voyageurs. Ces derniers sont régis d'une manière assez rigoureuse, en Suède par une ordonnance du 12 février 1864, relative à la construction, l'armement et l'emploi des bateaux à vapeur pour passagers, en Norvège par une loi du 4 juin 1866 et une ordonnance du 24 novembre suivant, ayant le même objet.

Si, quant à présent, nous laissons de côté les chaudières de bateaux, pour ne considérer que celles qui sont installées et fonctionnent à terre, et rechercher lequel des deux systèmes en présence, celui de la liberté et celui d'une réglementation officielle, doit être considéré comme

le meilleur, nous devons constater que l'enquête anglaise de 1870-1871 a opiné en faveur du premier, tandis que, dans les autres pays, un mouvement presque universel s'est dessiné, au cours de ces dernières années, dans le sens du second. Nous en trouvons la preuve dans la promulgation de plusieurs règlements récents, du 30 juillet 1889 en Russie, des 3 avril 1890 et 27 juin 1897 en Italie, du 16 octobre 1897 en Suisse, qui ont, soit créé une législation d'ensemble applicable aux chaudières et récipients, soit codifié des prescriptions anciennes qui manquaient d'homogénéité, de précision et de netteté. Il semble donc que, d'une façon générale, la tendance actuelle soit de soumettre les appareils dont il s'agit à un contrôle officiel et à des règles sagement étudiées.

A la vérité, quoi que l'on fasse, il se produira toujours des accidents, car, pour les éviter complètement, il ne faudrait rien moins qu'une surveillance de tous les instants, impossible à réaliser, sur chaque chaudière et sur chaque récipient; mais il tombe sous le sens que certaines précautions imposées et qu'une surveillance intelligemment organisée peuvent rendre d'importants services. Le tout est de savoir se tenir dans un juste milieu. Autant il nous semble délicat de compter uniquement, pour assurer la sécurité, sur la crainte d'un accident et sur la responsabilité qui serait ainsi mise en jeu, autant nous croyons que l'on doit éviter des exagérations qui, en se traduisant par une réglementation trop sévère, entraveraient inutilement l'essor de l'industrie. En d'autres termes, il convient, selon nous, de concilier, autant qu'il est possible de le faire, les exigences de la sécurité qui réclame des mesures de protection et de prévention, et l'intérêt des établissements industriels qui ont besoin de ne pas être entravés dans leur fonctionnement par des prescriptions abusives. C'est dans

cet ordre d'idées que la plupart des pays se sont placés, et de ce principe sont nées maintes réglementations qui ont produit des effets bienfaisants, et qui, sans supprimer les responsabilités imparties aux intéressés, sont parvenues à diminuer dans des proportions notables les accidents dus à l'emploi des appareils à vapeur.

Principaux points réglementés. — Ces réglementations portent sur divers points concernant surtout : 1° la construction des chaudières et récipients ; 2° les épreuves auxquelles ces appareils doivent être soumis avant ou après leur mise en service ; 3° les conditions de leur installation ou de leur emploi ; 4° les appareils de sûreté dont ils doivent être munis ; 5° les visites auxquelles ils sont assujettis et la surveillance administrative à exercer sur eux.

Construction des appareils à vapeur. — En thèse générale, l'ingérence administrative en matière de construction d'appareils à vapeur semble peu opportune. Si l'on admet qu'elle existe, n'est-il pas à craindre qu'elle ne tende à paralyser l'initiative privée par les règles qu'elle prétendrait imposer, qu'elle ne crée une véritable subordination de l'industrie aux pouvoirs publics, et qu'elle n'entraîne, au détriment de ceux-ci, un déplacement des responsabilités ? Aussi, est-ce avec une extrême prudence que les législations spéciales ont touché ce sujet délicat. Elles se bornent, en général, à stipuler certaines défenses, plutôt qu'à édicter des règles précises. Par exemple, l'ordonnance danoise du 1^{er} décembre 1880 interdit l'usage des chaudières dont les tôles sont assemblées au moyen de bords rabattus et de celles qui sont formées de tôles soudées sur lesquelles la vapeur agit par extension. De même, l'emploi de la fonte ou du laiton dans la construction des générateurs est interdit, d'une façon plus ou moins rigoureuse, en Allemagne, en Autriche, en Belgique,

en Danemark, en Hollande, en Hongrie, en Italie et en Russie. Pour le surplus, la liberté des constructeurs reste à peu près complète. Quelques règlements, comme l'ordonnance autrichienne du 1^{er} octobre 1875, proclament même que le choix des matériaux, la détermination de leurs épaisseurs, ainsi que le mode de construction et l'exécution des chaudières à vapeur, sont laissés à l'initiative du constructeur, sous sa responsabilité. Il en est ainsi, notamment, pour ce qui a trait aux épaisseurs des parois, qui étaient réglementées en France sous le régime de l'ordonnance du 22 mai 1843, et qui, maintenant, sont abandonnées à l'appréciation des industriels.

Cas des chaudières de bateaux. — Mais ce n'est que pour les appareils fonctionnant à terre que l'on trouve, dans l'unanimité des réglementations officielles, une pareille tolérance. Quand il s'agit de chaudières de bateaux, le régime est parfois tout différent. En Angleterre, les règlements du Board of Trade entrent dans des détails d'une complication extrême au sujet de la construction des générateurs; ils prescrivent de déterminer, d'après une série de formules de résistance des matériaux applicables aux diverses parties d'une chaudière, la pression de régime sous laquelle elle doit fonctionner, ce qui revient à fixer exactement, par une voie détournée, les dimensions de ses divers organes, d'après sa pression de marche. De même, aux États-Unis d'Amérique, cette pression est calculée au moyen de formules réglementaires ou donnée par des tableaux spéciaux en raison des diamètres, de la résistance des tôles et de leur épaisseur. Nous retrouvons, ici encore, cette sorte d'antinomie que nous avons déjà signalée entre des réglementations d'un même pays, libérales pour les chaudières fonctionnant à terre, et rigoureuses pour celles qui servent à la navigation.

Épreuves hydrauliques. — L'épreuve par pression hydraulique des chaudières et récipients, attestée par un timbre officiel frappé d'un poinçon, est généralement considérée comme une opération indispensable à la sécurité; aussi son obligation est-elle inscrite dans presque tous les règlements relatifs à ces appareils. Mais il y a des réserves à formuler à son égard. Si, pour vouloir en tirer des garanties trop complètes, on exagère la pression à laquelle elle doit avoir lieu, on court le risque de soumettre les appareils à des efforts capables de les disloquer, de sorte qu'après l'avoir subie, ils seraient frappés, par le fait même, de causes nouvelles de destruction ultérieure. Il y a là, évidemment, un écueil qu'il faut éviter; il ne faut pas tomber d'un mal dans un pire; il ne faut pas que, pour s'assurer des bonnes conditions de résistance d'une chaudière, on la soumette à un surmenage funeste et à des efforts excessifs, susceptibles de compromettre irrémédiablement sa solidité. En France, l'ordonnance du 22 mai 1843 soumettait les chaudières, y compris leurs bouilleurs et réservoirs, ainsi que les cylindres des machines et leurs enveloppes, à une épreuve hydraulique sous une pression variant, suivant les cas, du double au quintuple de la pression effective maximum de marche. Une expérience prolongée a fait reconnaître l'exagération d'une semblable pratique, et le décret du 25 janvier 1865, remplacé plus tard par celui du 30 avril 1880, a tempéré ces dispositions; la surcharge d'épreuve a été ramenée à la pression indiquée par le timbre, avec minimum d'un demi-kilogramme et maximum de 6 kilogrammes par centimètre carré, pour les chaudières, et à moitié de cette pression, avec maximum de 4 kilogrammes, pour les récipients.

C'est encore beaucoup; c'est trop peut-être, car, dans plusieurs pays, ces conditions ont été notablement adoucies. En Belgique et en Italie, on se contente, pour les

épreuves hydrauliques, d'une pression égale à une fois et demie la pression maximum de marche, avec maximum de 5 atmosphères en Italie; en Danemark, on a adopté les $\frac{5}{3}$ de cette pression; en Autriche, une fois et demie cette pression, plus une atmosphère, pour les chaudières timbrées à plus de 2 atmosphères effectives, etc.

Ce sont surtout les chaudières ayant déjà servi qui ont besoin d'être ménagées. Les épreuves périodiques, de même que celles motivées par des réparations notables, par un changement d'installation, par un chômage prolongé, ou par toute autre cause intervenue postérieurement à la mise en marche, demandent donc, logiquement, à être faites, dans l'intérêt de la sécurité, à des pressions réduites. On en trouve un exemple en Bavière où, d'après l'ordonnance royale du 14 mars 1874, la pression d'épreuve est ramenée de deux fois à une fois et demie de la pression de marche pour les épreuves faites lors des revisions, et en Italie où elle est réduite, par le décret du 27 juin 1897, d'une fois et demie à une fois et quart cette pression, avec maximum de 2 atmosphères et demie, dans le même cas.

En somme, l'épreuve hydraulique des chaudières et récipients n'est pas infaillible. Il peut arriver qu'elle réussisse sur des appareils plus ou moins gravement avariés, et qu'elle ne serve alors qu'à aggraver des défauts préexistants, en préparant en quelque sorte des explosions. Mais il ne faudrait pas tirer de cette éventualité des conclusions trop défavorables à l'utilité des épreuves à froid sous pression d'eau. La vérité est qu'il ne faut demander à cette opération que les garanties qu'elle est susceptible de fournir, qu'il convient de ne pas la pousser à un degré capable de la rendre dangereuse, et qu'il importe de ne pas la regarder comme une panacée universelle. Appliquée toutefois avec modération, et surtout accompagnée de visites intérieures attentives, permettant de se rendre

compte de ses effets, et au besoin de reconnaître les avaries qu'elle aurait pu engendrer ou accentuer, elle reste l'un des moyens les plus efficaces et les plus répandus, dans la législation des appareils à vapeur, à l'effet de prévenir les accidents.

Conditions d'installation et d'emploi des chaudières et récipients. Autorisation préalable ou simple déclaration. — Au point de vue des conditions d'installation et d'emploi des chaudières et récipients de vapeur, deux régimes sont en présence : celui de l'autorisation préalable et celui de la simple déclaration.

Le premier est en vigueur en Allemagne, en Autriche-Hongrie, en Belgique, en Hollande, en Suisse, en Russie. Les conditions d'installation et d'emploi des appareils, spécialement en ce qui concerne l'emplacement des chaudières à demeure, sont alors fixées par les arrêtés d'autorisation ; cependant, elles sont parfois définies et rendues obligatoires par les règlements eux-mêmes.

Quand, au contraire, il suffit d'adresser à l'autorité compétente une déclaration préalable pour faire fonctionner régulièrement une chaudière ou un récipient, il convient que la législation indique explicitement les règles qui doivent être observées. Il est ainsi en Alsace-Lorraine, en Danemark, en France, en Portugal, etc.

Conditions d'emplacement des chaudières fixes. — Ces règles ont un double but : celui d'assurer la sécurité du personnel ouvrier qui travaille à proximité des appareils à vapeur, et celui de préserver les habitations voisines contre les effets éventuels d'une explosion.

Pour cela, les générateurs sont répartis en catégories d'après le coefficient de danger qu'ils présentent. Cette classification est basée sur divers caractères, savoir : la surface de chauffe seule (Suisse, canton de Glaris), la

surface de chauffe et la pression de la vapeur (Allemagne, Russie), la surface de chauffe, la pression et la capacité de l'appareil (Suisse, canton de Bâle-Ville), la force en chevaux des chaudières (Espagne, ville de Sabadell; Norvège, ville de Bergen), la capacité de l'appareil et la pression de la vapeur (Alsace-Lorraine), la capacité et la température de l'eau correspondant à la pression indiquée par le timbre (France, Portugal).

Le plus souvent, la protection du personnel des usines est assurée par l'interdiction de l'accès des locaux où se trouvent les chaudières; il est parfois spécifié en outre que celles-ci doivent être établies en dehors de tout atelier surmonté d'étages, étant entendu qu'une construction légère située au-dessus d'une chaudière et où ne se fait aucun travail nécessitant la présence d'un personnel à poste fixe, peut ne pas être considérée comme un étage.

Pour soustraire les habitations aux conséquences d'une explosion, les règlements interdisent l'installation des chaudières de certaines catégories dans les maisons habitées ou à une distance déterminée de ces maisons, sauf à réduire cette distance, grâce à la construction de murs de défense.

La voie publique jouit parfois de la protection assurée aux maisons habitées.

Nous ne saurions, dans les limites restreintes de ce rapport, aborder le détail des dispositions en vigueur dans les divers pays; nous ne pouvons, comme nous venons de le faire, qu'en indiquer les traits essentiels.

Appareils de sûreté. — L'obligation de l'emploi d'appareils de sûreté figure en première ligne dans les règlements officiels concernant les chaudières et récipients de vapeur. Ces appareils consistent en des soupapes, des manomètres, des clapets de retenue d'eau d'alimentation, des vannes de prise de vapeur, des clapets automatiques

d'arrêt de vapeur, des indicateurs de niveau d'eau.

Soupapes de sûreté. — Les soupapes de sûreté doivent être au nombre d'une ou de deux par chaudière.

Il n'en faut qu'une en Grande-Bretagne pour les chaudières de bateaux, et aussi pour les chaudières de mines, soumises effectivement à cette obligation, en tant que chaudières à demeure, par les lois des 10 août 1872 et 16 septembre 1887.

Il en faut deux en Belgique, en France, en Hongrie, en Italie, en Portugal.

Ailleurs, on exige une ou deux soupapes, suivant la surface de chauffe et la force du générateur (Autriche, Danemark, Hollande); ou suivant qu'il s'agit d'une chaudière fixe, d'une chaudière mobile ou d'une chaudière de bateau (Allemagne, Alsace-Lorraine).

En Hollande, une soupape peut être remplacée par un tube de sûreté ouvert à ses deux extrémités.

Parfois, les dimensions des soupapes ne sont pas fixées par les règlements (Allemagne, France, Portugal, Russie); il suffit que ces organes soient établis de manière à éviter tout danger.

Dans d'autres pays (Danemark, Hollande, Hongrie), le diamètre minimum des soupapes de sûreté résulte de formules ou de tableaux officiels.

En Belgique, on a admis un système intermédiaire. Il faut que chaque soupape ait une section qui lui permette d'évacuer, à elle seule, toute la vapeur produite avec un feu très intense, sans que la pression dépasse de plus d'un dixième la limite autorisée; et, pour cela, le propriétaire du générateur a la faculté d'employer des soupapes d'un diamètre quelconque; mais leur section est considérée, *a priori*, comme suffisante si le diamètre de l'orifice est déterminé d'après une formule identique à celle qui était en vigueur en France sous le régime de

l'ordonnance du 22 mai 1843, et jusqu'à la promulgation du décret du 25 janvier 1865.

Le règlement français actuel, du 30 avril 1880, stipule que « l'orifice de chacune des soupapes doit suffire à « maintenir, celle-ci étant au besoin convenablement « déchargée ou soulevée, et quelle que soit l'activité du « feu, la vapeur dans la chaudière à un degré de pression « qui n'excède pour aucun cas la limite indiquée par le « timbre réglementaire ».

Ce texte fait des soupapes de sûreté, non plus des appareils atteignant leur but d'une façon automatique, mais de simples indicateurs d'excès de pression. Il a été reproduit dans le décret portugais du 30 juin 1884 ; mais on ne le retrouve pas dans d'autres législations ; en France même, il existe dans le décret du 9 avril 1883, relatif à la navigation fluviale, mais il n'a pas été reproduit dans le décret du 1^{er} février 1893, concernant la navigation maritime ; il semble, d'après cela, qu'il y ait tendance à l'abandonner, et cela nous paraît désirable, car la disposition consistant à subordonner le fonctionnement effectif des soupapes à leur décharge ou à leur soulèvement artificiel, réduit leur rôle à des proportions trop modestes et insuffisantes, à notre avis, si l'on prend cette restriction à la lettre, pour sauvegarder convenablement la sécurité.

Manomètres. — Presque toutes les législations prescrivent de munir chaque chaudière à demeure d'un manomètre (Allemagne, Alsace-Lorraine, Autriche, Belgique, Danemark, France, Grande-Bretagne pour les chaudières de mines et de bateaux, Hollande, Hongrie, Italie, Portugal, Russie, Suisse). Les exceptions à cette règle sont rares ; nous n'avons à citer que les chaudières de moins de 80 litres de capacité en Autriche, et celles pourvues d'un tube de sûreté à l'air libre en Hollande, comme étant dispensées de cet appareil.

Les manomètres sont gradués, tantôt en atmosphères, tantôt en kilogrammes par centimètre carré. En Hollande, ils doivent pouvoir indiquer une pression supérieure à celle correspondant à la charge maximum des soupapes de sûreté ; s'il s'agit d'un manomètre à mercure, cet excès doit être d'au moins une demi-atmosphère, et s'il s'agit d'un manomètre métallique, il doit être d'au moins une atmosphère.

Cette disposition est sage, car c'est surtout dans le cas de surpression qu'il est intéressant d'être renseigné sur la tension exacte de la vapeur.

Une marque très apparente, indiquant sur l'échelle du manomètre la limite que la pression ne doit pas dépasser, est exigée en Allemagne, Alsace-Lorraine, Autriche, Belgique, Danemark, France, Hollande, Italie, Portugal, Russie, Suisse. Un dispositif permettant l'application d'un manomètre étalon est en outre prescrit en Allemagne, Alsace-Lorraine, Autriche, Belgique, Danemark, France, Hollande, Italie et Portugal.

Clapets de retenue d'eau. — En général, chaque chaudière doit être pourvue d'un appareil de retenue d'eau, se fermant automatiquement sous l'effet de la pression intérieure lorsque les organes d'alimentation sont arrêtés, et empêchant l'eau de s'échapper, le cas échéant, par le tuyau alimentaire. A citer toutefois une exception : en Alsace-Lorraine, l'ordonnance du 3 novembre 1884 permet d'exempter de l'application de ce clapet de retenue, par décision du président du département, les petits générateurs dans lesquels l'appareil d'alimentation est solidement relié à la chaudière, et dont les conduites alimentaires sont très courtes.

L'appareil automatique de retenue d'eau est normalement placé au point même, ou tout au moins à proximité du point d'insertion sur la chaudière du tuyau d'alimen-

tation qui lui est propre. En Hollande, cet appareil doit être accompagné d'un robinet d'arrêt.

Appareils d'alimentation. — Les règlements d'Autriche, de Danemark et de Hollande, stipulent l'obligation de pourvoir chaque chaudière d'un appareil d'alimentation. Il en faut deux en Allemagne, en Alsace-Lorraine, en Italie, en Suisse, et un ou deux, suivant la surface de chauffe, en Russie.

Par exception, deux appareils d'alimentation sont exigés, en Danemark, pour les locomobiles et les locomotives, ainsi qu'en Hollande pour les locomotives.

Vannes de prise de vapeur. — Aux termes du décret français du 30 avril 1880 et du décret portugais du 30 juin 1884, chaque chaudière est munie d'une soupape ou d'un robinet d'arrêt de vapeur placé, autant que possible, à l'origine du tuyau de conduite de vapeur, sur la chaudière même. L'ordonnance d'Alsace-Lorraine du 3 novembre 1884 exige également que toute chaudière soit pourvue d'une valve ou d'un robinet de prise de vapeur, et veut en outre que ce dispositif soit placé à l'endroit même où la conduite de vapeur quitte le générateur. Enfin, le règlement russe du 30 juillet 1889 indique que, pendant l'examen interne d'une chaudière, l'attention doit se porter sur l'état des clapets d'arrêt pour la vapeur, ce qui signifie clairement qu'il doit en exister.

Clapets automatiques d'arrêt de vapeur. — En France, on s'est préoccupé d'atténuer les conséquences des accidents dans lesquels des déversements de vapeur ont lieu, à la suite d'une explosion survenue dans une batterie de chaudières, en provenance de générateurs restés intacts et en communication avec celui qui s'est rompu. On s'est proposé d'obtenir, dans ce cas, l'isolement immédiat,

c'est-à-dire la fermeture instantanée des appareils non intéressés dans l'explosion. C'est de cette idée qu'est issu le décret du 29 juin 1886, en vertu duquel les batteries présentant un fort coefficient de danger sont réparties par séries possédant chacune un clapet automatique d'arrêt, disposé de façon à éviter, en cas d'explosion, le déversement de la vapeur des séries restées intactes. On ne retrouve l'équivalent de cette disposition dans aucune autre législation.

Niveau de l'eau dans les générateurs. — La sécurité commande que toute paroi de chaudière en contact par une de ses faces avec la flamme soit baignée par l'eau sur sa face opposée. Le niveau de l'eau ne doit donc pas descendre au-dessous d'une certaine limite qui est définie par les règlements et varie, suivant les pays, de 0^m,06 à 0^m,10, et même à 0^m,25 pour les chaudières de bateaux, au-dessus du plan horizontal à partir duquel les parois cesseraient d'être protégées. Une marque ou ligne apparente doit, en général, montrer à l'extérieur la position de ce plan d'eau limite. Enfin, des indicateurs spéciaux sont prescrits à l'effet de faire connaître le niveau réel de l'eau à chaque instant, et de permettre ainsi d'alimenter en temps opportun.

Indicateurs de niveau. — Le nombre des indicateurs exigés est le plus souvent de deux (Allemagne, Alsace-Lorraine, Autriche, Danemark, France, Grande-Bretagne pour les chaudières de bateaux, Italie, Portugal, Russie, Suisse); mais un seul suffit en Grande-Bretagne pour les chaudières de mines, en Hongrie, aux États-Unis dans le Massachusets. Par contre, il en faut trois en Belgique et en Hollande.

Parmi ces indicateurs doit ordinairement figurer un tube de verre. C'est ainsi que l'unique indicateur prescrit

en Hongrie doit être un tube. De même, en Allemagne, Alsace-Lorraine, Autriche, Grande-Bretagne (bateaux), Italie, Portugal, Russie et Suisse, il faut que l'un des deux indicateurs réglementaires soit un tube. Il doit enfin y avoir un tube parmi les trois indicateurs exigés en Belgique et en Hollande.

En dehors du tube de verre, certains règlements prescrivent explicitement l'emploi d'autres indicateurs de niveau, savoir : des robinets de jauge, au nombre de trois en Danemark, et de deux en Grande-Bretagne (bateaux), en Hollande et en Russie ; un appareil d'alarme en Belgique (sauf pour les chaudières mobiles) et en Hollande ; dans ce dernier pays, cet appareil peut être un sifflet à vapeur ou un bouchon fusible.

Il est spécifié, le plus souvent, que lorsque plusieurs indicateurs de niveau sont exigés, ils doivent être indépendants l'un de l'autre, c'est-à-dire en communication directe et séparée avec la chaudière (Allemagne, Alsace-Lorraine, Autriche, Danemark, France, Italie, Portugal, Russie, Suisse). Cependant, en Allemagne, en Alsace-Lorraine et en Suisse, le tube de niveau d'eau et le second indicateur peuvent n'avoir qu'une communication commune avec la chaudière, si cette communication est établie au moyen d'un tuyau d'au moins 60 centimètres carrés de section intérieure ; de même, en Danemark, il peut y avoir communication commune des robinets de jauge et de l'autre indicateur de niveau avec la chaudière par des tuyaux ayant au moins 3 pouces (78^{mm},4) de diamètre.

Il va de soi que les indicateurs de niveau doivent être placés en vue du chauffeur ou du mécanicien, c'est-à-dire de l'ouvrier chargé de l'alimentation. Les règlements d'Alsace-Lorraine, de Belgique, de Danemark, de France et de Portugal le disent nettement.

Visites intérieures et extérieures. — Le rôle des

appareils de sûreté est très important ; mais la sécurité ne serait pas assurée d'une manière satisfaisante si l'on se fiait uniquement à leur emploi. Ils ne donnent en effet aucune indication sur la résistance des parois des générateurs, dont il importe essentiellement de se préoccuper, et qui intervient dans un grand nombre d'explosions. Dès qu'une chaudière est mise en marche, elle se trouve soumise, alors même qu'elle aurait été originellement saine, solide, bien construite, bien établie, à des causes de destruction provenant surtout des tensions du métal dans ses diverses parties, aggravées par l'effet des dilatations inégales et des corrosions produites, à l'intérieur par l'eau et la vapeur, à l'extérieur par les gaz de la combustion ou par des causes accidentelles. Seules, des visites opérées à froid, l'appareil étant vide, dans le but d'examiner attentivement les tôles et leurs assemblages sur les deux faces, peuvent révéler les défauts ainsi produits et permettre d'en surveiller le développement. Effectuées à des intervalles suffisamment rapprochés, ces visites servent à reconnaître avec certitude l'état des générateurs, leurs conditions de fonctionnement, leurs causes d'altération et les vices de toute nature qu'ils peuvent présenter ; grâce à elles, les défauts constatés peuvent être mis en observation, et il devient possible de veiller à ce que leur extension ne les fasse pas dégénérer en de véritables causes de danger.

Ces visites à froid doivent être complétées par une surveillance exercée sur les chaudières et récipients en pression, en vue de contrôler l'état de leurs parties visibles, celui des appareils de sûreté, la conduite du feu, du tirage, en un mot toutes les circonstances desquelles peut dépendre une marche prudente. Les examens à chaud ainsi opérés, bien que moins essentiels que les visites à froid, sont de nature à apporter à la sécurité un surcroît de garanties qui est loin d'être négligeable.

Prescriptions relatives aux visites intérieures et extérieures. — Eu égard à leur extrême utilité, les examens à froid ou visites intérieures, et les examens à chaud ou visites extérieures, sont l'objet de dispositions plus ou moins détaillées dans la plupart des règlements concernant les appareils à vapeur. Tantôt, les visites sont faites par des agents administratifs, ou ayant l'attache de l'Administration, comme en Allemagne, en Autriche, en Danemark, en Hollande, en Hongrie, en Italie, en Russie, en Suisse ; tantôt, elles doivent être opérées par les soins et sous la responsabilité des intéressés eux-mêmes : c'est le régime en vigueur en Alsace-Lorraine, en Belgique, en France et en Portugal. En Alsace-Lorraine, l'ordonnance du 3 novembre 1884 soumet les chaudières à des visites intérieures périodiques, qui doivent être faites par un personnel compétent. L'arrêté royal belge du 28 mai 1884 spécifie que ces visites ne peuvent être confiées qu'à des agents dont le caractère et l'aptitude à reconnaître les défauts et à en apercevoir les effets, présentent toutes les garanties désirables. Enfin, en France et en Portugal, les décrets des 30 avril 1880 et 30 juin 1884, en prescrivant que tous ceux qui font usage de générateurs ou de récipients de vapeur doivent faire procéder, à des intervalles rapprochés, à des visites complètes tant de l'intérieur que de l'extérieur de ces appareils, se bornent à indiquer que le but de ces visites doit être la vérification de l'état de ceux-ci, à l'effet d'assurer l'exécution, en temps utile, des réparations ou remplacements qui seraient nécessaires.

Cela signifie que les industriels sont libres d'assurer ce service comme ils l'entendent, sous le contrôle de l'Administration, cette dernière ayant le droit d'apprécier les capacités et aptitudes des personnes chargées d'effectuer les visites, et d'attribuer aux certificats délivrés par elles la valeur qu'ils peuvent mériter, sans que, d'ailleurs, ce

contrôle soit susceptible de supprimer ou de restreindre la responsabilité des intéressés.

Lorsque les visites réglementaires sont dévolues à des agents administratifs, ou opérant pour le compte ou au nom de l'Administration, elles peuvent être obligatoires avant la mise en service, et devoir être ensuite périodiquement renouvelées.

Les visites avant mise en service sont habituellement prescrites dans les pays où le régime de l'autorisation préalable est en vigueur pour les appareils à vapeur. Tel est le cas, notamment, pour l'Allemagne, l'Autriche, la Russie. Quant aux visites périodiques, faites ou non par des agents administratifs, elles sont soumises à des règles assez variables.

L'intervalle maximum compris entre deux visites extérieures successives est d'un an en Saxe, dans le Wurtemberg, le grand-duché de Bade, la Suisse ; de deux ans en Prusse, en Italie, en Russie.

Pour les visites intérieures, aucun intervalle fixe n'est prescrit, pas plus d'ailleurs que pour les visites extérieures, en France et en Portugal ; il en est de même en Alsace-Lorraine. Au contraire, cet intervalle est rigoureusement défini en Belgique et en Suisse, où il est d'un an ; dans le grand-duché de Bade et la Hollande, où il est de deux ans ; en Italie, où il atteint quatre ans ; en Autriche, où il est de cinq ans ; en Prusse et en Russie, où il est porté à six ans.

Notons encore que, parfois, les visites périodiques, ou revisions, doivent être accompagnées d'une épreuve hydraulique, et qu'inversement cette épreuve, quand elle est exigée par les règlements, doit être, dans certains cas, précédée ou suivie d'une visite intérieure.

Plusieurs législations étrangères prévoient, en dehors des revisions périodiques, des revisions ou visites, tant intérieures qu'extérieures, dans diverses circonstances,

savoir : réparations ou changements notables (Danemark, Russie); changement d'emplacement (Bavière, Danemark); chômage (Autriche, Belgique); irrégularité de fonctionnement ou doute sur la solidité des appareils (Prusse, Bade, Wurtemberg, Russie, Autriche, Belgique, Danemark).

Enfin, un pouvoir en quelque sorte discrétionnaire est attribué à cet égard aux fonctionnaires de la surveillance en Wurtemberg, en Hollande et en Russie.

Nous ne saurions avoir la prétention de retracer ni même de résumer, dans ce rapport, les dispositions extrêmement nombreuses que présentent, sur ces divers points, les législations concernant les appareils à vapeur. Nous ne pouvons en donner qu'un aperçu sommaire et nécessairement incomplet.

Cas des locomobiles, des locomotives et des chaudières de bateaux. — Cependant, nous devons insister sur quelques mesures spéciales applicables aux appareils autres que ceux fonctionnant à demeure. Telles, par exemple, celles qui sont applicables aux locomobiles en Prusse et dans le grand-duché de Bade, où ces machines doivent être tenues prêtes, sur sommation des autorités locales, à subir l'inspection dans une localité quelconque. Telles aussi celles édictées en Belgique, où les propriétaires de locomobiles sont tenus d'en demander une fois par an la visite officielle, et de les mettre, pour cet objet, pendant un délai de quinze jours, à la disposition de qui de droit, à l'endroit désigné par eux. Dans le même ordre d'idées, nous voyons les locomotives assujetties à une revision complète triennale en Allemagne, et à des revisions particulièrement rigoureuses, avec enlèvement des tubes, tous les huit ans, en Hollande et en Italie.

Partout, en définitive, les règlements sont inspirés de la même préoccupation : s'assurer, par des visites renouve-

lées à intervalles convenables, que les appareils à vapeur peuvent fonctionner sans danger. Les dispositions édictées dans ce but manquent certainement d'homogénéité; mais elles sont toutes inspirées par la même idée. Elles sont particulièrement rigoureuses pour ce qui a trait aux bateaux à vapeur, ce qui s'explique, comme nous l'avons déjà fait observer, par la gravité des conséquences éventuelles d'une explosion sur un navire en pleine mer, transportant de nombreux passagers.

Organisation de la surveillance administrative. — Il nous reste à expliquer la façon dont le contrôle administratif est organisé dans les divers pays, soit qu'il se borne à un rôle de surveillance générale, soit qu'il embrasse en outre les revisions périodiques.

En Prusse, l'ordonnance du 24 juin 1872 confie à des inspecteurs désignés par l'autorité gouvernementale compétente, l'inspection des chaudières autres que celles des mines et des établissements affectés au traitement des minerais et des salines.

En Saxe, la visite des chaudières est faite par des inspecteurs techniques nommés par le ministre de l'Intérieur.

Dans le grand-duché de Bade, les revisions sont effectuées par des inspecteurs du gouvernement, opérant chacun dans un district déterminé; ce sont aussi ces inspecteurs qui interviennent, avant la mise en service des chaudières, pour les examiner et s'assurer si l'exécution de l'installation cadre bien avec l'autorisation accordée.

En Bavière, les gouvernements de province, chambres de l'intérieur, nomment des commissaires spéciaux pour procéder à l'inspection des chaudières et autres appareils à vapeur dans des régions déterminées.

Dans le Wurtemberg, les demandes d'autorisation sont instruites par des inspecteurs commissionnés par le

ministre de l'Intérieur pour la surveillance des installations de chaudières à vapeur. Ces inspecteurs sont aussi chargés des épreuves, ainsi que des visites périodiques et autres de ces appareils.

En Alsace-Lorraine, les ingénieurs des mines et leurs subordonnés sont chargés de veiller à l'exécution de l'ordonnance du 3 novembre 1884, concernant l'établissement et le fonctionnement des appareils à vapeur.

En Autriche, l'épreuve et l'inspection périodique des chaudières sont faites, au choix des parties, soit par un commissaire nommé par le gouvernement, soit, dans le cas où le propriétaire de la chaudière est membre d'une association constituée à cette fin, par les agents officiellement autorisés de cette société, et conformément aux règlements et prescriptions en vigueur.

En Belgique, aux termes de l'arrêté royal du 28 mai 1884, le ministre de l'Intérieur désigne les fonctionnaires du gouvernement chargés de la surveillance des appareils à vapeur.

En Danemark, les inspections des chaudières sont confiées à deux inspecteurs compétents ; à Copenhague, ils sont nommés par l'autorité municipale, et ailleurs par le préfet.

En France, la surveillance des appareils à vapeur est confiée aux ingénieurs du Corps des mines.

En Grande-Bretagne, les chaudières fonctionnant à terre ne sont soumises, comme nous l'avons expliqué, qu'à la loi spéciale du 12 juillet 1882, relative aux explosions. Toutefois, celles qui dépendent des mines sont assujetties à la surveillance des inspecteurs agissant en vertu des lois des 10 août 1872 et 16 septembre 1887. De même, celles qui appartiennent aux compagnies de chemins de fer sont comprises dans la surveillance exercée par le service du contrôle, conformément à la loi du 14 août 1871.

D'après la loi hollandaise du 28 mai 1869, les fonctionnaires chargés de la surveillance et de l'épreuve des chaudières à vapeur, ainsi que les membres de la commission à laquelle sont soumis les actes et décisions de ces fonctionnaires, sont nommés par le roi.

Il résulte de plusieurs articles des ordonnances hongroises des 11 février 1854 et 12 novembre 1886, que l'épreuve et la revision périodique des chaudières sont confiées à des commissions spéciales. L'autorité chargée de la sécurité publique fait faire en outre inopinément, de temps à autre, l'inspection des chaudières à vapeur, avec l'intervention d'un expert habile.

En Italie, les épreuves et visites des chaudières sont faites par un expert que le préfet ou le sous-préfet choisit entre les personnes réputées propres à cet emploi, et ayant obtenu le titre d'ingénieur ou le diplôme de mécanicien dans une des écoles du royaume à ce autorisées.

Dans chacune des directions de Travaux publics du Portugal, un ingénieur, ou plusieurs s'il est nécessaire, sont chargés de la surveillance des appareils à vapeur, sous les ordres du directeur des Travaux publics du district, et avec le concours des autorités locales. Les chaudières des chemins de fer et celles des mines sont surveillées par les ingénieurs du contrôle.

En Russie, la surveillance des chaudières à vapeur est exercée par des ingénieurs - inspecteurs appartenant à l'administration publique.

En Suisse, ce sont des inspecteurs cantonaux qui sont chargés de la surveillance des chaudières à vapeur.

En Amérique, dans l'État de Massachusets, les commissaires des incendies de la ville de Boston, les maires et échevins des autres cités, les administrateurs de toute commune, ou toute personne par eux autorisée, peuvent, après avis aux parties intéressées, inspecter toute machine à vapeur ou toute chaudière située dans leur

circonscription, qu'elle soit fixe ou transportable.

Dans l'État de New-York, aux termes des lois de 1862, les inspections des chaudières à vapeur sont faites par la section métropolitaine de la salubrité, ou par une délégation d'un ou plusieurs membres compétents de cette section, ayant l'expérience pratique des machines. D'autre part, une escouade composée d'agents de police de la section de salubrité, dont le nombre est fixé par l'administration de la police, est chargée, sous le nom « d'escouade d'inspection des chaudières à vapeur », sous les ordres et la direction du capitaine de la section de salubrité, et conformément aux règlements de l'administration de la police, de remplir les fonctions et d'exercer les pouvoirs que les lois de 1862 ont conférés et imposés à cette administration, relativement à l'inspection des chaudières à vapeur. Ce sont les agents de cette escouade qui procèdent, lorsqu'il y a lieu, aux épreuves hydrauliques.

Cas spéciaux. — Ces systèmes sont, comme on le voit, très variés et très dissemblables ; ils le paraissent encore plus, lorsqu'on entre dans les détails et qu'on aborde l'étude de cas spéciaux.

Chaudières de mines. — Ainsi, en Prusse, ce sont les fonctionnaires des mines qui sont chargés de la surveillance des chaudières des mines et des établissements affectés au traitement des minerais et des salines. Nous avons vu aussi qu'en Grande-Bretagne, les chaudières dépendant des mines sont soumises au contrôle des inspecteurs institués par les lois de 1872 et de 1887. Il en est de même en Portugal, où les ingénieurs des mines, comme surveillants des travaux miniers exécutés pour le compte des concessionnaires, sont chargés de la surveillance des appareils à vapeur employés dans ces travaux, avec les attri-

butions conférées, par le règlement du 30 juin 1884, aux directeurs des Travaux publics.

Locomobiles. — En ce qui concerne les locomobiles, les gendarmes et les agents de la police locale sont autorisés, en Saxe, à vérifier si, pendant la marche, il est satisfait aux mesures prescrites par les règlements.

Locomotives. — Quant aux locomotives, elles sont souvent l'objet de dispositions particulières.

En Autriche, l'épreuve et la surveillance des chaudières de locomotives, en tant qu'elles sont confiées à des commissaires du gouvernement, rentrent dans les attributions de l'inspection générale des chemins de fer autrichiens.

D'après le même principe, les locomotives sont soumises, en Espagne, à la surveillance des agents du gouvernement, comme faisant partie intégrante des chemins de fer.

C'est aussi ce qui se passe en Grande-Bretagne, où les chaudières appartenant aux compagnies de chemins de fer sont comprises dans la surveillance attribuée au service du contrôle par la loi du 14 août 1871.

En Hollande, la surveillance générale des chemins de fer, et par suite des locomotives, est exercée, en vertu de la loi du 9 avril 1875, par les soins d'une commission de surveillance placée sous les ordres du ministre de l'Hydraulique, du Commerce et de l'Industrie, et dont les membres sont nommés par le roi. L'arrêté royal du 9 juillet 1876 ajoute que la surveillance des locomotives est dévolue aux ingénieurs du *Stoomwezen* du service des chemins de fer, lesquels sont nommés, suspendus et révoqués par le roi.

Le décret italien du 31 octobre 1874 sur les chemins de fer, veut que les épreuves des locomotives soient effectuées par les soins de l'Administration dont dépendent les

voies ferrées auxquelles elles sont destinées; ces épreuves ont lieu avec le concours d'une commission composée du commissaire technique du gouvernement, d'un autre ingénieur du commissariat et d'un inspecteur ou ingénieur de la traction désigné par la compagnie. Ces dispositions sont applicables aux chaudières des chemins de fer autres que les locomotives. La commission est aussi chargée de procéder aux visites périodiques intérieures ou extérieures.

En Portugal, les appareils à vapeur dépendant des services spéciaux des entreprises de chemins de fer ou autres sur lesquelles l'État exerce une surveillance technique sont surveillés, d'après le décret du 30 juin 1884, par les ingénieurs du gouvernement chargés du contrôle technique de ces entreprises, les attributions conférées par le règlement aux directeurs de Travaux publics étant exercées, dans ce cas, par les ingénieurs du contrôle.

Chaudières et autres appareils des bateaux. — Enfin, des variantes dans l'organisation des services de surveillance existent parfois à l'égard des appareils à vapeur des bateaux de navigation fluviale ou maritime.

En France, par exemple, le contrôle de ces appareils est confié, non plus aux ingénieurs des mines, mais à des commissions de surveillance dont les membres sont désignés par le ministre des Travaux publics.

En Espagne, les chaudières de bateaux sont astreintes à la visite d'experts-mécaniciens dans les principaux ports.

En Portugal, le règlement de la police des ports du 30 avril 1884 remet aux capitaines de port un droit d'inspection sur les navires, qui s'étend aux chaudières et aux machines à vapeur.

En Suède, des inspecteurs des navires, chargés du contrôle des appareils à vapeur, sont nommés par les préfets.

L'inspection de ces appareils est dévolue, en Norvège, à une commission d'inspecteurs désignés par le roi.

Aux États-Unis, les chaudières de navigation sont surveillées par un corps d'inspecteurs techniques, dont une loi, faisant partie des statuts de la confédération, définit les pouvoirs.

Associations de propriétaires d'appareils à vapeur. — A côté des services de surveillance ainsi organisés, fonctionnent les associations de propriétaires d'appareils à vapeur. Le rôle de ces institutions sera examiné et décrit dans un autre rapport qui sera présenté au Congrès. Nous nous bornerons donc à le résumer dans ses parties principales.

Les législations qui font mention des associations de propriétaires d'appareils à vapeur sont celles de Prusse, du grand-duché de Bade, de Bavière, d'Alsace-Lorraine, d'Autriche, de France, d'Italie et de Suisse. Dans ces pays, sauf en France, les attributions de ces associations sont très étendues; les chaudières qui en dépendent sont en effet complètement exonérées du contrôle officiel; les associations sont en quelque sorte substituées aux fonctionnaires de l'État pour l'exercice de la surveillance administrative. En France, au contraire, les associations n'interviennent, comme auxiliaires des ingénieurs des mines, que dans des cas très limités, notamment pour procéder à des visites permettant d'obtenir des dispenses d'épreuves hydrauliques, ou pour rendre les conditions de ces opérations moins rigoureuses. Mais, dans ce pays, où les visites intérieures et extérieures ne sont pas effectuées par des agents administratifs, les associations offrent aux industriels, pour procéder à ces visites, un personnel compétent et expérimenté, et l'on peut dire que, sans elles, les prescriptions à ce relatives du décret du 30 avril 1880 seraient pratiquement inexécutables; les

services qu'elles rendent sont donc considérables, bien que se présentant sous une apparence modeste.

Conclusions. — Arrivé au terme de ce rapport, nous nous trouvons embarrassé pour conclure. Les régimes de surveillance des appareils à vapeur sont très dissimilaires, et dérivent, dans les pays où ils sont appliqués, de principes différents. Dans les uns règne une liberté à peu près absolue, une absence de contrôle presque complète; le seul frein à cette liberté consiste dans la responsabilité encourue en cas d'accidents. Dans d'autres se manifeste, à des degrés variables, la tutelle administrative, s'exerçant d'une façon d'autant plus stricte et minutieuse, que les tendances à la centralisation et à l'exercice du pouvoir central ont plus pénétré dans les mœurs. Est-ce à dire qu'il convienne de vanter ou de condamner le système de la liberté ou celui d'une réglementation plus ou moins sévère? Nous ne le pensons pas. Il faut en effet tenir compte, et grand compte, dans chaque espèce, de l'éducation nationale et du tempérament des individus. Tel système, basé sur le principe de la liberté, peut fonctionner avec succès, en Angleterre par exemple, nation industrielle par excellence, où l'usage des appareils à vapeur est universellement répandu, et où l'initiative personnelle est en honneur, tandis qu'il échouerait dans des pays où, en matière d'industrie, les pouvoirs publics doivent être en quelque sorte les tuteurs des particuliers, trop ignorants ou inexpérimentés pour n'avoir pas besoin d'être guidés par eux. Tel autre système, apprécié avantageux, là où règne l'esprit de discipline, de déférence à l'égard de l'Administration et de ses représentants, paraîtrait ailleurs inadmissible, insupportable même.

Il convient enfin de prendre en considération certaines circonstances susceptibles de modifier ou de restreindre le rôle de l'Administration, et en premier lieu l'influence

exercée par les associations de propriétaires d'appareils à vapeur ou par les sociétés d'assurance, soit que ces dernières opèrent indépendamment des associations, soit que, comme en Angleterre, elles ne fassent qu'un avec elles. On conçoit, en effet, qu'à défaut des pouvoirs publics, les associations, gardiennes vigilantes de la sécurité, puissent suffire à exercer l'action tutélaire en vue de laquelle les règlements sont conçus et imposés. Il n'y a donc rien d'absolu sur cette question. La discussion reste ouverte à son sujet, car elle comporte, sinon un éclectisme complet, du moins une variété de solutions satisfaisantes, pour ainsi dire indéfinie et illimitée.

2^e Question

DU ROLE DES ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

dans les différents pays

EN MATIÈRE DE SURVEILLANCE PRÉVENTIVE OU D'ASSURANCE

PAR

M. WALTHER-MEUNIER

Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires
d'appareils à vapeur.

MESSIEURS,

La question que votre Commission m'a chargé de traiter a fait l'objet de travaux, que l'on peut désigner sous le nom de classiques, de la part de plusieurs auteurs dont la compétence est reconnue, et dont je n'ai eu qu'à me rappeler les publications pour m'apercevoir que je me trouvais en face d'un sujet pour ainsi dire épuisé.

En 1880 déjà, M. Aguilon, alors ingénieur en chef des mines et professeur de législation industrielle à l'École nationale des mines, a fait connaître, dans une étude approfondie publiée dans les *Annales des Mines*

de ladite année, séries XVII et XVIII, l'organisation et le rôle des différentes associations de propriétaires d'appareils à vapeur existant à cette époque, tant au point de vue administratif que technique.

Mon regretté collègue Bour, au Congrès de mécanique appliquée de l'Exposition de 1889, a traité le même sujet, mais en insistant principalement sur le développement des associations françaises, tout en mentionnant les débuts de ces institutions dont, comme vous le savez, nous devons la création à l'Angleterre.

Mon collègue, M. Compère, au Congrès international des accidents du travail, tenu à Paris du 9 au 14 septembre 1889, a présenté, sur la demande du Comité d'organisation, un rapport sur les associations de propriétaires d'appareils à vapeur, dans lequel il rappelle les services qu'elles rendent au point de vue de la sécurité et de l'économie.

Au Congrès international des accidents du travail, qui eut lieu à Milan du 1^{er} au 6 octobre 1894, M. Olry, ingénieur en chef des mines, communiqua les résultats obtenus par les associations instituées en vue de prévenir les explosions de chaudières.

MM. Aguillon et Olry, que leur compétence toute spéciale en matière législative et administrative qualifiait pour traiter à ce point de vue le rôle des associations de surveillance de chaudières, m'ont permis de puiser dans leurs travaux de précieux renseignements auxquels je n'aurai à ajouter que peu de données supplémentaires. Les travaux de MM. Bour et Compère n'ont demandé également que des compléments insignifiants, justifiés par les modifications intervenues depuis leur publication.

Nous parlerons, en premier lieu, du rôle des associations en matière d'assurance; c'est sur ce chapitre qu'il y a le moins à dire. L'assurance n'est pratiquée que par

les associations anglaises et la Société autrichienne. Les premières constituent de véritables sociétés financières par actions, distribuant des dividendes et où la partie commerciale prime la partie technique ; plusieurs d'entre elles font le commerce d'appareils à vapeur et exécutent elles-mêmes les réparations.

La Société autrichienne exerce en société mutuelle ; l'inspection technique et l'assurance constituent deux branches distinctes. Il faut être abonné à la première pour pouvoir être inscrit à la seconde, dont les adhérents sont très peu nombreux en comparaison des membres abonnés à l'inspection technique seulement. Les bénéfices éventuels sont portés au crédit des membres.

Une association anglaise et une association du continent de l'Europe accordent à leurs membres, sans prime supplémentaire, une indemnité en cas d'explosion, jusqu'à concurrence d'une somme fixée par les statuts. Ce n'est pas un droit, mais une faveur qui peut être retirée en tout temps par l'ingénieur en chef, lorsque un état dangereux ou un service négligé sont constatés.

Aucune autre association n'a adjoint à ses services techniques des agences commerciales d'assurances ou autres.

C'est ce court résumé, Messieurs, que nous avons cru devoir vous donner pour mémoire seulement et puisqu'il figure dans le programme dressé par votre Commission, sur le rôle des associations en matière d'assurance.

Nous abordons et traitons séparément les deux parties faisant suite au titre général de la II^e Question, savoir :

Intervention des associations dans le contrôle administratif. Influence exercée par elles sur la construction et l'entretien des appareils à vapeur, sur la sécurité et l'économie.

PREMIÈRE PARTIE

**Intervention des associations dans le contrôle
administratif**

Nous ne mentionnerons que les pays où cette intervention existe, en nous bornant aux détails strictement indispensables, en suivant l'ordre alphabétique.

Allemagne. — C'est en Allemagne que peu à peu, avec des progressions plus ou moins rapides selon les législations particulières des divers États, la substitution du contrôle privé au contrôle administratif s'opère de la façon la plus accentuée.

En Prusse, avant 1884, la compétence des diverses associations, au point de vue des attributions officielles, était encore très contestée. Admise sans objection par certaines autorités provinciales, elle était, au contraire, énergiquement combattue par d'autres, lorsque, en 1884, fut créée l'Union centrale des Associations prussiennes, provoquée en partie par un refus de crédit de la Chambre des députés, demandé par le gouvernement pour les appointements de quarante nouveaux fonctionnaires pour le service de contrôle des appareils à vapeur. Il existait, à cette époque, une vingtaine d'associations en Prusse, et il fut connu officieusement que le gouvernement serait disposé à leur accorder quelques concessions s'il avait à faire à une délégation unique représentant toutes les associations prussiennes. Le bureau de l'Union centrale sert d'intermédiaire entre le Ministère du commerce, duquel relève le service des appareils à vapeur, et les conseils d'administration des différentes associations.

L'Administration intervient dans la nomination des ingénieurs des associations, qui, en général, doivent justifier d'études complètes à une école supérieure technique, mais peuvent, à titre exceptionnel, être dispensés de cette obligation. Un ingénieur commence par être agréé pour une partie du service seulement, puis successivement pour les autres, et sa nomination ne devient définitive qu'après un stage d'un an. La demande en est faite au Ministère du Commerce par le Conseil d'administration de l'association intéressée, et remise par celui-ci au bureau de l'Union centrale qui a seul qualité de la transmettre au ministère. Celui-ci répond au bureau de l'Union centrale par l'intermédiaire des présidents de district.

Sur demande spéciale de l'Union centrale, tout ingénieur, régulièrement nommé au service d'une association, peut être assermenté par le conseiller du district dans lequel l'association a son siège. La qualité est reconnue dans toute l'étendue du royaume de Prusse, sur présentation des pièces justificatives. Celles-ci sont à restituer à l'autorité compétente au cas où l'ingénieur quitterait son service.

Par règlement du 15 mars 1897, les ingénieurs des associations peuvent être appelés, au même titre que les fonctionnaires de l'État, à faire les épreuves et les visites de chaudières et d'appareils non soumis au contrôle des associations, et moyennant une rétribution fixée.

La qualité d'assermenté est obligatoire pour les ingénieurs appelés à remplir temporairement les fonctions de commissaires royaux.

Les sceaux, les poinçons, les certificats d'épreuves et de rapports de visites sont de modèle uniforme pour toutes les associations prussiennes et semblables à ceux de l'administration. Chaque ingénieur est personnellement responsable des travaux dont il est chargé.

L'Union centrale des Associations prussiennes publie une feuille bimensuelle contenant des articles techniques et portant à la connaissance des abonnés les décisions administratives dans le domaine de la production et de l'emploi de la vapeur.

La *Bavière* comprend deux associations dont les statuts et règlements sont identiques et les attributions en matière d'intervention dans le contrôle administratif les mêmes.

La plus importante est celle dont le siège est à Munich et qui s'étend sur le royaume de Bavière proprement dit ; la seconde, dite Association de surveillance de chaudières du Palatinat, a son siège à Kaiserslautern, chef-lieu de cette province.

Les attributions du personnel de ces deux associations sont les mêmes ; les épreuves et visites exécutées par lui sont reconnues au même titre que celles auxquelles procèdent les agents du gouvernement. Comme en Prusse, les ingénieurs des associations peuvent être délégués à remplir le rôle de commissaires du gouvernement pour les épreuves et visites des appareils non inscrits sur les registres des associations. Les agents chargés de ces missions doivent être assermentés.

Le règlement des honoraires pour ces travaux ont fait l'objet de traités entre les associations et le gouvernement royal.

Les deux associations apposent leurs poinçons propres après les épreuves ordinaires, mais sont tenues de faire usage du poinçon et des formulaires de certificats administratifs pour les cas où leurs agents ont eu à remplir la mission de commissaires du gouvernement.

Dans les deux associations bavaroises, le recrutement du personnel ne fait l'objet d'aucune prescription administrative spécial ; la direction est responsable, en dehors de ses agents assermentés faisant fonction de commis-

saires administratifs. L'Association de Munich publie, comme l'Union centrale des Associations prussiennes, une Revue mensuelle contenant des articles techniques et les communications des autorités.

Les associations *du grand-duché de Bade, des royaumes de Wurtemberg et de Saxe* ont, avec leurs administrations respectives, des relations analogues à celles qui existent pour l'Association bavaroise.

En Alsace-Lorraine, les épreuves et visites faites par les agents de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur sont considérées comme officielles, au même titre que celles qu'exécutent les fonctionnaires de l'État qui, comme en France, sont les ingénieurs en chef et ingénieurs des mines et leurs subordonnés.

Les membres de l'Association sont exemptés du contrôle officiel de l'État. Aucune condition n'est imposée pour le recrutement du personnel; il n'y a pas d'agent assermenté. Les obligations de l'Association consistent à communiquer, tous les mois, à l'ingénieur des mines les mutations survenues; tous les ans, un relevé général des visites et un aperçu de leurs résultats. Cette dernière communication comporte la liste des défauts et un état général des constatations faites dans le courant de l'exercice, au point de vue de la sécurité principalement, mais mentionnant également les innovations et progrès réalisés dans le domaine économique. L'Association est tenue aussi de collaborer à la statistique des appareils à vapeur soumis à son contrôle; les relevés sont remis annuellement à l'ingénieur des mines, avec ceux des appareils nouvellement construits et des appareils mis hors service. Le poinçon de l'Association est reconnu comme officiel et aucune autre marque n'a été imposée par les autorités. L'Association alsacienne ne fait pas d'épreuves ni de visites d'appareils en dehors de ceux que possèdent ou construisent ses membres.

Nous devons mentionner encore une disposition particulière à l'Allemagne : c'est l'autorisation donnée à un certain nombre de très grands établissements privés d'exercer eux-mêmes le contrôle sur leurs appareils à vapeur. Ce travail est fait par des ingénieurs auxquels sont imposées les mêmes conditions qu'à ceux des associations de propriétaires d'appareils à vapeur ; les formulaires de rapports de visites et de certificats d'épreuves sont les mêmes.

Le nombre des établissements jouissant, en Allemagne, du contrôle autonome est de cinq, dont quatre en Prusse et un en Alsace-Lorraine.

Par ce qui précède, nous voyons qu'en Allemagne une part très large est faite aux associations au point de vue de leur intervention dans le contrôle administratif. Aussi voyons-nous, pour un certain nombre d'entre elles, des fonctionnaires de l'État appelés à siéger dans les rangs des conseils d'administration.

La plupart des associations allemandes convoquent à leurs assemblées générales des fonctionnaires administratifs, dont la présence doit donner une sanction aux délibérations vis-à-vis des autorités supérieures.

Autriche. — Il existe, dans l'empire d'Autriche, deux associations dont l'une, de création récente, avec siège à Prague, opère sur les bases des associations allemandes ; elle s'étend sur quelques districts de la Bohême et porte un caractère spécialement provincial.

La première et la plus ancienne des associations autrichiennes est celle dont le siège est à Vienne, qui s'étend sur l'empire d'Autriche entier et comprend sous sa surveillance 15 000 chaudières. Comme nous l'avons mentionné plus haut, cette Société s'occupe, en dehors de la surveillance des appareils à vapeur, de l'assurance de ces appareils sur les bases de la mutualité. Elle existe depuis 1872, se basant sur la loi du 7 juillet 1871, d'après

laquelle les propriétaires d'appareils à vapeur sont libres d'en faire faire le contrôle par les agents de l'État ou par ceux d'une Société constituée dans ce but.

Les visites et épreuves faites par l'association de Vienne sont considérées, par l'Administration, au même titre que celles des fonctionnaires de l'État. Elle comprend 44 inspections dont chacune a sa responsabilité propre et dont chaque titulaire est assermenté. La direction générale est considérée comme responsable en dernière instance. Elle est tenue à fournir au Ministère du commerce le compte rendu de son exercice.

Un fonctionnaire de l'État est institué comme commissaire de surveillance dans les assemblées de l'Association. Celle-ci verse à l'État une somme fixée à l'avance pour la présence et les rapports des commissaires et les contributions qui sont taxées au taux de celles des établissements de l'État.

Nous devons ajouter à ce que nous avons dit des relations des associations allemandes et autrichiennes avec les administrations, que celles-ci font elles-mêmes partie des associations.

Les chaudières appartenant à des administrations militaires ou civiles sont inscrites, à très peu d'exceptions près, sur les registres des associations, au titre de membres ordinaires, et sans aucune disposition exceptionnelle en leur faveur; l'adhésion à une association de propriétaires d'appareils à vapeur est même imposée à quelques administrations par leurs gouvernements respectifs.

Mentionnons encore que dans plusieurs États de l'Allemagne et en Autriche, les gouvernements demandent l'avis des associations lorsqu'il s'agit de modifications à apporter aux dispositions législatives concernant les appareils à vapeur, ou même de mesures nouvelles à prendre.

Belgique. — L'association de surveillance des appareils à vapeur de Belgique, quoique étant, après celle de Vienne, la Société ayant le plus grand nombre de chaudières sous son contrôle, n'intervient en aucune façon dans les attributions de l'Administration, en ce qui concerne l'exécution et l'interprétation des prescriptions législatives. Elle a conservé son caractère d'institution spécialement privée, ne demandant qu'à ses seuls services rendus ses ressources et sa réputation, et ayant, par cela même, conservé son indépendance complète vis-à-vis de l'Administration.

France. — En France, le rôle des associations est nettement défini par l'article 3 du décret du 30 avril 1880, qui prescrit les époques auxquelles les épreuves à la presse hydraulique des chaudières doivent être renouvelées.

Le délai le plus long entre deux épreuves consécutives est de dix années, la chaudière doit être mise à nu pour ces essais. Celles qui sont visitées périodiquement par les associations peuvent être exceptées de la démolition complète des maçonneries sur une demande faite par l'ingénieur-directeur au nom des propriétaires du générateur. Celui-ci est visité à l'extérieur pendant et à l'intérieur après l'épreuve hydraulique qui est toujours faite par un fonctionnaire de l'Administration des mines. Les membres des associations sont soumis au contrôle de l'État, comme les propriétaires d'appareils à vapeur n'en faisant pas partie. Le rôle des associations de France est donc limité à la possibilité de faire exempter leurs membres de la démolition des maçonneries, mais en leur imposant une visite intérieure supplémentaire qui n'est pas obligatoire pour les chaudières n'ayant pas fait l'objet d'une demande d'exemption.

Italie. — La création d'associations de surveillance des appareils à vapeur, dans le royaume d'Italie, remonte aux

dernières années de 1880. Le nombre de ces sociétés est actuellement de douze ; il tendait à devenir considérable, mais fut limité par des règlements administratifs, que nous mentionnerons plus bas, après qu'une ordonnance du 3 avril 1890 eût établi les premières bases des attributions de ces associations.

Par le nouveau règlement publié avec le décret royal du 27 juin 1897, le rôle des associations et leur intervention dans le contrôle administratif sont nettement établis.

Les statuts et règlements des associations doivent être soumis à l'approbation du ministère de l'agriculture, du commerce et de l'industrie. C'est le corps des mines, qui, comme en France, a la haute surveillance des appareils à vapeur dans le royaume.

Une association n'est autorisée que si elle fournit la preuve que le nombre des chaudières qu'elle surveille est de 500 au moins ; toutefois, comme disposition transitoire, celles qui étaient reconnues sur les bases de l'ordonnance du 3 avril 1890 peuvent continuer leurs fonctions, quel que soit le nombre des chaudières inscrites. Cinq des associations existantes bénéficient de cette exception.

Il est interdit à deux ou plusieurs associations d'exercer leur activité dans une même circonscription. Ces dernières ont été délimitées par arrêté ministériel du 12 avril 1898.

Les visites et épreuves à la presse peuvent être exécutées par les agents techniques des associations, au même titre que la surveillance officielle. Ceux-ci doivent justifier d'un diplôme d'ingénieur ou de machiniste délivré par une école italienne autorisée par le gouvernement.

Il est interdit aux associations de se livrer à des opérations commerciales, et au personnel de s'occuper de placements d'appareils ayant trait à la production et à l'emploi de la vapeur. Le personnel doit être en nombre suf-

fisant pour présenter la garantie d'un bon fonctionnement du service.

Les copies des rapports de visites sont à expédier aux préfectures et sous-préfectures dans la quinzaine ; les associations sont tenues d'exécuter les visites et épreuves qui peuvent leur être éventuellement imposées par les autorités.

Le titre XII du règlement du 27 juin 1897 prescrit aux préfectures et sous-préfectures d'établir un relevé annuel du mouvement des appareils à vapeur établis dans leurs circonscriptions ; ce travail est imposé aux associations pour ceux dont leurs membres sont propriétaires ou exploitants.

Elles sont tenues d'exécuter les épreuves à la presse et les visites prescrites par l'administration, savoir :

Une visite intérieure tous les 4 ans.

Une visite extérieure tous les 2 ans.

Une épreuve à la presse tous les 8 ans,

et celles imposées pour les appareils neufs, réparés ou déplacés.

Quelques associations s'en tiennent à ces chiffres ; d'autres exécutent les visites dans les délais usuels des autres pays, et celle de Milan, notamment, s'occupe d'essais de machines à l'indicateur, de réceptions de matériaux et de surveillance d'exécution de chaudières et d'appareils.

Suisse. — Depuis les intéressants travaux que nous avons mentionnés, la Suisse a été dotée d'une ordonnance du Conseil fédéral du 16 octobre 1897, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1898, et qui remplace les anciennes lois cantonales régissant l'installation et l'exploitation des appareils à vapeur. L'Association suisse, dont le siège est à Zurich, est reconnue par le gouvernement fédéral en qualité de commissaire de surveillance des appareils à vapeur, et les autorités cantonales ont la facilité de s'a-

dresser à elle. Les pouvoirs sont conférés à l'Association de Zurich par des traités conclus avec la direction de police et de justice de chaque canton ; les visites et épreuves faites par elle ont le caractère officiel et les membres de l'Association sont exemptés de tout contrôle administratif. Les agents de l'Association ne sont pas personnellement responsables ; il n'existe aucune prescription leur imposant des conditions particulières ou le serment ; la direction de l'Association est libre de recruter son personnel dans les milieux techniques qui lui semblent le mieux appropriés.

Il résulte de ce court exposé, qu'à très peu d'exceptions près, les administrations des divers pays où existent des prescriptions légales concernant les appareils à vapeur ont su apprécier les services qu'elles peuvent attendre des associations et les utilisent comme auxiliaires dans leurs contrôles, et dans une mesure plus ou moins large dépendant des usages administratifs de chaque pays en particulier.



DEUXIÈME PARTIE

**Influence exercée par les associations
sur la construction et l'entretien des appareils à vapeur
sur la sécurité et l'économie**

Construction et entretien. — Les auteurs que nous avons mentionnés, MM. Aguillon, Bour, Compère et Olry, ont exposé dans leurs travaux de nombreuses données, recueillies depuis plus de vingt ans, sur les résultats obtenus par l'influence des associations sur la construction et l'entretien des appareils à vapeur. S'entourant des meilleurs renseignements, plusieurs d'entre elles ont créé des cahiers des charges pour la réception des matériaux de constructions pour générateurs et appareils, et établi des bases sur lesquelles la détermination des dimensions au point de vue de la sécurité semble présenter le plus de garanties. Le travail le plus important, dans cet ordre d'idées, a été fourni par l'Union internationale des Associations. A l'époque de sa création, les qualités des matériaux étaient devenues déplorable. La cause en était l'énorme essor de l'industrie allemande à la suite de la guerre de 1870; on ne demandait que du matériel en quantité et au meilleur marché possible; la question de qualité n'était que secondaire.

De plus, à cette époque, un nombre très restreint de données précises étaient connues pour la détermination des dimensions; il existait quelques formules officielles, souvent empiriques et surannées, et celles des grandes Compagnies de transports sur terre et sur mer. Quant aux prescriptions adoptées et faites par les administrations de la marine et de la guerre, elles ne rentrent pas, à notre avis, dans le domaine de l'industrie privée.

L'Union internationale trouva donc, toute prête, une question du plus haut intérêt et dont elle ne méconnut pas l'importance. On s'occupa tout d'abord d'un cahier des charges uniforme pour la réception des matériaux. L'élaboration en fut confiée à une Commission composée en partie seulement d'ingénieurs en chef d'associations, puis de maîtres de forges, de constructeurs de chaudières et de professeurs de mécanique appliquée ou de résistance des matériaux. Par cette composition, la Commission ne pouvait manquer de présenter toutes les garanties désirables d'une haute compétence et d'une impartialité absolue.

Le travail fut présenté à l'Assemblée générale de l'Union des maîtres de forges allemands le 29 mai 1881, adopté par elle, puis par l'Assemblée générale de l'Union internationale des Associations de surveillance de chaudières le 25 juin 1881. Une brochure intitulée : « Principes à suivre pour les épreuves des matériaux employés à la construction des chaudières à vapeur, » fut publiée et répandue immédiatement dans les milieux intéressés. Elle est connue sous le nom de « Würtzburger Normen », ces travaux ayant presque tous eu lieu à Würtzbourg, en Bavière.

Les progrès considérables faits depuis 1881 dans la fabrication des matériaux eurent pour suite un remaniement de ce cahier des charges. Un nouveau chapitre fut ajouté, ayant spécialement trait aux conditions de réception du fer homogène (Flusseisen), dont l'emploi se répand de plus en plus. La nouvelle brochure parut en 1895; le cahier des charges qu'elle contient est reconnu par toutes les associations faisant partie de l'Union internationale et adopté même par quelques administrations d'État.

Après l'étude du cahier des charges de 1881, la Commission, avec l'adjonction de quelques membres, s'occupa d'établir des règles uniformes pour le calcul des dimensions à donner aux pièces entrant dans la construction de chaudières à vapeur neuves. Cette Commission, sié-

geant à Hambourg généralement, présenta son premier travail au Congrès de l'Union internationale tenu à Bruxelles les 6 et 7 juin 1884. Il fut adopté et publié sous forme de brochure portant le titre : « Principes des calculs des dimensions des matériaux pour chaudières à vapeur neuves », et dénommé « Hamburger Normen ».

A la suite de la première publication, la Commission resta en permanence, remplaçant, quand le besoin s'en faisait sentir, l'un ou l'autre des membres par des personnes s'étant donné la même mission, et choisies dans les milieux industriels et scientifiques. Il était indispensable, en effet, de suivre les progrès dans la fabrication des matières premières et dans l'exécution des appareils et d'y conformer les règles à établir pour leur emploi. Il y eut donc des modifications diverses apportées au texte primitif, proposées et adoptées dans les assemblées générales de l'Union internationale de 1885, 1891, 1892, 1896. Cette dernière suite au travail commencé en 1884 est très importante, puisque le fer homogène entre en ligne de compte ; l'édition de 1896 des « Hamburger Normen » représente un moment remarquable dans les études ayant été faites dans cet ordre d'idées.

Les brochures parues contiennent toutes des formules extrêmement simples, l'indication des coefficients à appliquer suivant les cas, et une série de tableaux donnant, pour les emplois les plus courants, les résultats calculés sur les bases que nous venons de mentionner.

Une dernière édition (la septième) fut publiée en 1898. Il y est tenu compte des progrès réalisés, au point de vue de la résistance, non seulement dans la fabrication des matières premières, mais encore dans l'exécution. Aussi le coefficient de sécurité à la traction, fixé à 5 en 1884, fut-il abaissé à 4,5 en 1898. Dans la nouvelle édition encore, les formules, primitivement établies sur la base du centimètre, furent modifiées en prenant pour unité le

millimètre. Ce changement avait pour but principal de ne pas exiger la transformation, bien simple cependant, d'un chiffre, en passant de l'unité industrielle du millimètre à celle du centimètre employé dans la formule, et ensuite, de permettre une comparaison plus facile avec les calculs servant de bases aux déterminations de résistances dans les administrations d'État, les grandes Compagnies et autres institutions qui, toutes, ont pris pour point de départ le millimètre.

En résumé, les prescriptions des « Hamburger » et « Würtzburger Normen » n'imposent pas des exigences exagérées aux fournisseurs de matières premières, tout en donnant au preneur des garanties largement suffisantes de sécurité, si l'exécution est satisfaisante.

Les qualités et dimensions des matériaux de construction, déterminées suivant des méthodes rationnelles comme celles dont nous venons de donner un aperçu, ne donneront un résultat heureux que si la main-d'œuvre, les assemblages et les montages sont exécutés d'une manière rationnelle également. Ces opérations sont essentiellement variables avec le système de chaudières à établir et ne peuvent faire l'objet d'une réglementation générale, ni de cahiers des charges uniformes. Ceux-ci, chez toutes les associations, présentent des points de ressemblance pour certaines mains-d'œuvre, et concordent en ce que leur but est d'assurer un ensemble exécuté d'une manière aussi satisfaisante que possible. Le rôle d'une association est de ne proposer un cahier des charges que s'il n'en existe pas. Au cas contraire, il y a à examiner les conditions faites et demandées et à rectifier ce qu'il peut y avoir d'excessif ou de négligé, de manière à arriver, comme pour les réceptions et calculs de matériaux, à concilier les intérêts du fournisseur et ceux du preneur. La surveillance de la construction par les associations peut être utile, mais n'est pas indispensable

lorsque le travail est fait par une maison dont les bonnes traditions d'exécution sont connues. Dans ce dernier cas, ce sera une simple formalité donnant, s'il l'exige, satisfaction au preneur et couvrant la responsabilité du constructeur. L'Association sera, par contre, très utile au preneur, si la commande, pour une raison quelconque, a été donnée à une maison de construction n'inspirant pas toute confiance. Ce qui vient d'être dit de la fourniture proprement dite peut être répété en ce qui concerne le montage : le contrôle de l'Association est inutile si le travail est confié à un entrepreneur sérieux ; il peut devenir nécessaire lorsque les circonstances ne permettent pas de s'adresser à une maison absolument compétente ou obligent d'exécuter le montage avec des ressources ou un personnel quelquefois insuffisants. Dans tous les cas, un cahier des charges et un programme de montage nettement établis facilitent l'exécution, et c'est pour l'établissement de ces conditions, surtout, que l'intervention des associations est de la plus grande utilité.

Leur premier, et, pendant fort longtemps, leur unique rôle concernait les questions d'entretien. Nous voyons, depuis la création des associations jusqu'à nos jours, figurer dans tous les statuts les visites intérieures et extérieures des appareils à vapeur. Or ces visites ne sont que le contrôle de l'entretien. Il est inutile de répéter ici les détails tant de fois donnés sur la manière de procéder ; nous devons rappeler seulement que les méthodes suivies sont les mêmes chez toutes les associations.

Sécurité. — Nous savons également que le premier but des visites est d'assurer la sécurité du fonctionnement des chaudières. Dans cet ordre d'idées, les résultats obtenus par les associations sont trop connus pour donner lieu ici à des développements statistiques que les auteurs, ayant précédemment traité le même sujet, ont établis avec beaucoup de soins ; les derniers, donnés en 1894 par

M. Olry au Congrès des accidents du travail, à Milan, sont de date encore récente. Depuis cette époque, nous constatons encore une légère diminution des accidents dangereux et des explosions. Nous ne devons pas, cependant, quitter le chapitre « Sécurité » sans mentionner la tendance qui s'accroît de plus en plus, de confier aux associations la surveillance des appareils d'utilisation de vapeur, dont beaucoup occasionnent plus de désastres que des explosions de chaudières ou de parties de chaudières. Cette surveillance est devenue obligatoire dans plusieurs États de l'Allemagne, en Prusse et en Bavière notamment, où des formulaires spéciaux sont établis pour les visites et épreuves des récipients de vapeur.

Nous avons à mentionner encore que dans plusieurs régions d'industrie sucrière, les propriétaires d'établissements ont chargé les associations de surveillance de chaudières, dont ils sont membres, de contrôler périodiquement les turbines à sucre, qui, comme beaucoup d'appareils à force centrifuge, donnent lieu à de nombreux accidents. Ces turbines ne reçoivent pas de vapeur sous pression et sortent donc complètement de la catégorie des appareils surveillés par les associations. Il faut que celles qui s'occupent du contrôle des turbines à sucre s'adjoignent un personnel spécial de mécaniciens, faciles à recruter, du reste, dans les pays d'industrie sucrière.

Économie. — Les visites ayant rempli leur premier but, d'assurer la sécurité de marche dans la mesure la plus élevée possible, nous permettent de donner un aperçu de leur utilité au point de vue économique. En faisant abstraction, pour les visites extérieures, du contrôle des appareils de sûreté qui est leur premier but, le premier coup d'œil donné par un agent compétent au fonctionnement d'une chaudière, lui permet de découvrir des défauts apparents dont ne se doute pas le chauffeur, même lorsqu'il est de bonne volonté. Citons, comme exemple, des rentrées d'air par les

fourneaux, les portes et les devantures, souvent localisées et insignifiantes, mais dont l'ensemble arrive à prendre une importance suffisante pour compromettre la marche économique du générateur. La pratique journalière présente souvent quantité de petits défauts qui échappent à l'attention du personnel constamment occupé au même service, et dont la correction, généralement très facile, permet un meilleur fonctionnement.

Le contrôle de la conduite des feux donne le plus d'importance aux visites extérieures. Il suffit de citer les chiffres connus de tous, soit 55 p. 100 d'écart constatés entre le premier lauréat et le dernier concurrent, lors d'un concours de chauffeurs, à Mulhouse, pour que l'on soit fixé immédiatement sur le rôle des aptitudes du chauffeur, au point de vue économique. Citons encore, comme détails d'importance moindre, les pertes de chaleur par des organes insuffisamment protégés contre le refroidissement, les fuites d'eau et de vapeur, et nous aurons une idée de l'importance des visites extérieures au point de vue de l'entretien et du fonctionnement économique.

La visite extérieure peut nous donner un aperçu très satisfaisant de la manière de faire du personnel, et le contrôle, qui doit avoir lieu dans tout établissement bien tenu, accuser des anomalies dans les consommations de combustible. Les causes doivent donc être recherchées ailleurs que dans la conduite des feux et les défauts que constatent les visites extérieures. Des observations sommaires par des relevés de température peuvent mettre sur la trace de défauts cachés, mais, très souvent, elles ne donnent aucun résultat. C'est là que les visites intérieures deviennent utiles. Elles révèlent non seulement les défauts grossiers de nettoyage extérieur et intérieur, mais ceux qui existent après que ces opérations ont été bien faites ; par exemple des fissures et des communications entre parties de carneaux.

Un ramoneur ne s'apercevra pas de la disjonction, sur 5^m de hauteur par exemple, d'une languette de séparation entre deux carneaux, cette solution de continuité peut être bouchée de suie. L'agent de l'association, qui a eu l'occasion de constater des défauts analogues, y portera immédiatement son attention et le signalera s'il existe. Admettons que les deux carneaux séparés par la languette défectueuse aient 6 mètres de longueur, la section de communication serait de $6 \times 0.005 = 0^{\text{m}^2}.03$, représentée par une ouverture rectangulaire de 2 décimètres de hauteur sur 1.5 décimètres de largeur. Des exemples de ce genre sont faciles à citer; des défauts analogues se produisent et se présentent journellement et ne sont découverts que par les visites des agents de l'association, lorsqu'ils n'atteignent pas des dimensions ne pouvant échapper même à l'œil le moins exercé. La visite intérieure fait découvrir aussi les défauts d'installation dus souvent à l'ignorance du maçon, et les vices de construction, desquels résultent si fréquemment des dépenses excessives de combustible. Elles sont donc, abstraction faite de la question de sécurité, le complément obligé de toute exploitation rationnelle au point de vue économique.

Ce que nous venons d'exposer ne concerne que la production de vapeur, mais non son emploi. Nous avons vu quels services rendent les associations comme amélioration de production par le seul remède à des défauts existants; dans un autre ordre d'idées, les meilleurs résultats sont à espérer si le projet d'installation primitif est soumis à l'examen des ingénieurs d'associations et discuté par eux avec les intéressés. Ce ne sont pas les données théoriques connues de tous les spécialistes qui font défaut pour les installations nouvelles; à ce point de vue, le rôle des associations est nul. Elles rendent, par contre, des services signalés par l'application des résultats d'observations collectionnés au cours des visites et qui peu-

vent éviter de nombreux déboires et tâtonnements à ceux qui, pour la première fois, font usage d'un appareil non encore employé dans leur établissement.

La production de vapeur peut être établie selon toutes les règles reconnues les meilleures, et conduite par un personnel de choix, que l'exploitation rationnelle d'une installation ne serait atteinte que si l'emploi de la vapeur est fait dans les mêmes conditions que la production. L'emploi comporte deux catégories bien distinctes : la force motrice et les besoins de la fabrication. Dans beaucoup d'établissements, le premier mode d'emploi est exclusif; dans d'autres, la demande pour force motrice égale ou dépasse encore celle pour fabrication; enfin, dans un grand nombre d'industries, la force motrice n'est que d'un emploi insignifiant et la presque totalité de la vapeur produite est absorbée par la fabrication.

Ce n'est qu'après quelques années d'exercice que la plupart des associations se sont occupées de l'emploi de la vapeur; il en existe encore qui restent étrangères à cette question comme aussi à celle de la production en ce qu'elle sort des conditions de sécurité; cependant, dans la plupart des pays industriels, les associations ont été forcées d'adjoindre au service ordinaire des visites et des consultations concernant les générateurs, le service extraordinaire du contrôle des consommateurs de vapeur. Celui-ci s'exerce en première ligne sur les machines. Des relevés de diagrammes à l'indicateur de Watt permettent de se rendre compte, en tous temps, du fonctionnement des machines et de la puissance qu'elles développent, et lorsque le besoin s'en fait sentir de la consommation de vapeur et de houille des moteurs. Les relevés simples révèlent les défauts de réglage auxquels il est souvent facile de porter remède en marche, et les défauts d'étanchéité des organes, qui sont une des grandes causes de déperdition de vapeur; une puissance trop considé-

rable développée est l'indice d'un dérangement du moteur lui-même, mais plus fréquemment celui d'anomalies se produisant dans les transmissions de mouvement et le matériel de fabrication.

La détermination de la consommation de vapeur est demandée fréquemment pour contrôler les garanties données par le constructeur de la machine, puis pour s'assurer que la production est suffisante pour présenter de bonnes conditions d'utilisation, sans exiger une allure anormale des générateurs.

Les nombreuses demandes de relevés de diagrammes à l'indicateur de Watt ont conduit un certain nombre d'associations à créer des abonnements pour ce service.

Cette organisation paraît présenter de l'avenir, à en juger par l'augmentation annuelle des abonnés chez toutes les associations qui l'ont adoptée.

En dehors du contrôle des moteurs, il est rare que l'on ait recours aux associations pour les autres questions d'emploi de la vapeur. Cela s'explique facilement par le fait que, dans la grande majorité des cas, celle-ci est utilisée dans des appareils spéciaux présentant les dispositions les plus variées et dont la construction et l'exploitation rentrent dans les attributions des chefs de fabrication. Il est aussi tout naturel, que, pour ces usages, l'intervention de techniciens étrangers à l'établissement ne soit pas admissible. Restent les chauffages, qui généralement sont établis par des spécialistes entendus, et pour lesquels l'association peut être appelée uniquement à vérifier si les conditions de garantie sont réalisées. Tous les emplois de vapeur en dehors de la force motrice ne présentent donc pas le même intérêt d'être suivis d'aussi près que les machines à vapeur, et, dans beaucoup de cas, ne le peuvent pas. Du reste, le contrôle des machines présente un champ d'action suffisant aux associations et leur permet de donner assez d'avantages à leurs socié-

taires pour qu'elles cherchent à s'étendre encore sur des parties présentant un intérêt moins général que la surveillance des chaudières et des moteurs.

L'extension prise par les applications de l'électricité a amené beaucoup d'industriels, faisant partie d'associations de propriétaires d'appareils à vapeur, à demander à celles-ci d'adjoindre à leur service le contrôle des installations électriques. Plusieurs associations se sont conformées à ce désir, mais les organisations sont trop récentes pour permettre, dès à présent, de formuler un jugement sur les succès de ces entreprises, dont le caractère diffère, du reste, entièrement de celui de la surveillance des appareils à vapeur, et, par cela même, exige des dispositions et des programmes d'exécution qui n'ont rien de commun avec cette dernière.

En terminant, messieurs, je crains d'avoir abusé de vos moments en vous entretenant d'un sujet qui, à plusieurs reprises, a été traité par des personnes plus compétentes que moi en matière administrative, et qui ont pu donner des détails et des chiffres que ne comportait pas le cadre du travail que j'ai eu l'honneur de vous communiquer et que je vous prie de considérer comme un simple aperçu du rôle des associations de surveillance d'appareils à vapeur. Je crois être votre interprète à tous en vous priant de joindre vos remerciements à ceux que je me fais un plaisir d'adresser aux collègues et autres personnes qui ont bien voulu m'aider de leurs conseils et de leurs renseignements, sans lesquels il m'eût été difficile de mener à bonne fin le travail dont votre Commission m'avait chargé.

3^e Question

DU CONCOURS DES ASSOCIATIONS

DE

PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR

POUR LES ÉPREUVES HYDRAULIQUES

des appareils à vapeur

PAR

M. COMPÈRE

INGÉNIEUR,

Directeur de l'Association parisienne de propriétaires
d'appareils à vapeur.

MM. Michel Lévy et Walckenaer ont présenté à la Commission des Méthodes d'essais de matériaux de construction un rapport sur les épreuves hydrauliques.

Après avoir décrit toutes les opérations que doit comporter une épreuve faite selon les règles, à savoir : la préparation même de l'épreuve, l'inspection intérieure pendant l'épreuve, la visite des parois de l'appareil du côté de l'eau et du côté du feu avant et après l'épreuve, les mesures relatives aux déformations, les auteurs ont fait ressortir la signification de l'épreuve des chaudières neuves et du renouvellement de cette épreuve pour les chaudières ayant déjà servi.

Pour les chaudières neuves, nous avons montré, dans notre rapport sur la fabrication des chaudières, le parti précieux qu'on peut tirer de l'épreuve pour vérifier la mise en œuvre des matériaux employés et la construction même.

Pour les chaudières ayant déjà servi, il me paraît nécessaire d'insister sur les conditions différentes dans lesquelles les épreuves sont faites.

MM. Michel Lévy et Walckenaer écrivent pour ces chaudières : « Parmi les défauts provenant d'altérations locales survenues au cours de l'usage, il en est que l'épreuve hydraulique est susceptible de révéler : telles sont les cassures traversant le métal de part en part. Sur tous les défauts locaux qui ne comportent pas de solution de continuité dans le métal, l'épreuve hydraulique n'a par elle-même aucune prise : ainsi les fissures n'allant pas à fond, les bosses, les dédoublements des tôles, les corrosions mêmes très profondes, n'empêchent pas l'épreuve de réussir, c'est-à-dire la chaudière de rester étanche sous la pression. »

« Il ne faut demander, ajoutent-ils, à l'épreuve hydraulique prise en elle-même que ce qu'elle est susceptible de donner, mais accompagnée d'inspections complètes et attentives, qui en sont le complément indispensable, et dont elle fournit l'occasion, elles constituent un mode de revision dont on remplacerait difficilement les avantages, et qu'il n'est pas à propos de déprécier. »

MM. Michel Lévy et Walckenaer font par là même ressortir le concours précieux que les visites intérieures des appareils peuvent apporter à l'épreuve, ou en d'autres termes, la nécessité de combiner ces deux moyens d'investigation pour s'assurer, à intervalles périodiques, de l'état des appareils.

Et, puisque les associations de propriétaires d'appareils à vapeur ont été créées pour faire ces visites intérieures,

il paraît rationnel d'étudier comment elles interviennent en matière d'épreuve.

Aux termes des circulaires ministérielles des 23 août 1887 et 23 septembre 1895, les ingénieurs des mines sont autorisés à ne pas exiger la démolition complète des maçonneries des générateurs, lors des épreuves officielles, fussent-elles décennales, lorsque ces opérations ont lieu dans des conditions déterminées, avec le concours des Associations.

Ce concours s'exerce d'ailleurs de deux manières :

1° Pendant l'épreuve, l'examen qui doit l'accompagner peut être fait, en partie seulement, par l'ingénieur ou par le contrôleur des mines; pour le surplus, cet examen est effectué par un inspecteur de l'Association, chargé de parcourir les carneaux à toutes fins utiles.

2° Après l'épreuve, l'Association fait procéder à une visite intérieure complète, dont le compte rendu est adressé à l'ingénieur des mines.

La collaboration d'une Association à l'examen pendant l'épreuve dispense, d'après la circulaire de 1895, d'effectuer des démolitions n'ayant pour objet que de rendre l'inspection aisée ou rapide; quant à celles ayant pour objet de rendre l'inspection efficace, elles ne sauraient être évitées. En d'autres termes, il y a simple substitution, pendant l'épreuve, de l'examen par les yeux d'un agent de l'Association à celui par la vue même de l'ingénieur ou du contrôleur des mines.

Cela étant, et puisqu'au point de vue de l'examen, à l'intérieur, il y a, en fait, identité complète entre les épreuves opérées avec ou sans le concours des Associations, on se demande vraiment pourquoi, lorsque ces dernières interviennent, l'Administration impose, par surcroît, une visite intérieure après épreuve.

Cette visite constitue — il ne faut pas s'y tromper — une charge très lourde.

L'épreuve, dit la circulaire de 1895, doit, pour être efficace, être précédée d'un nettoyage complet. Ce nettoyage exige naturellement la vidange préalable de la chaudière ; il faut ensuite la remplir d'eau pour procéder à l'épreuve, puis la vider pour effectuer la visite intérieure. Toutes ces opérations sont longues et coûteuses, et il ne manque pas d'industriels qui, voulant les simplifier, n'hésitent pas à renoncer à la collaboration des associations et préfèrent démolir complètement leurs maçonneries.

Il est évidemment du rôle de l'Administration supérieure de favoriser le développement des associations qui concourent avec elles, à une œuvre de sécurité publique ; pourquoi donc alors manifeste-t-elle des exigences plus grandes à l'égard des chaudières dépendant des associations, ou, pour parler plus exactement, essayées avec la collaboration des associations, qu'à l'égard de celles qui échappent à leur surveillance.

Il semble qu'il y ait là une sorte de contradiction ; les chaudières inscrites aux associations devraient être plus favorisées ; or, c'est presque le contraire qui existe.

Nous demandons instamment que l'égalité soit rétablie, et que les appareils des associations rentrent en quelque sorte dans le droit commun.

Deux moyens peuvent être employés pour cet objet : ou bien dispenser les chaudières essayées en présence d'inspecteurs des associations de la visite intérieure ; ou bien exiger cette visite dans tous les cas.

Nous n'hésitons pas à donner la préférence à cette dernière solution.

L'épreuve légale est en effet impuissante à révéler, non seulement les cassures et fissures ayant leur origine en dedans des générateurs, mais encore certaines corrosions, pailles, amincissements, les avaries des tirants et armatures, etc...

C'est dans cet ordre d'idées que M. Cornut a présenté au 12^e Congrès des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, en 1887, une note très détaillée dans laquelle il concluait que : 1^o les essais à la presse hydraulique, tels qu'ils sont pratiqués conformément aux règlements (c'est-à-dire sans être accompagnés d'une visite intérieure) ne donnent en général aucune indication sérieuse et exacte sur le danger qu'il peut y avoir à se servir d'une chaudière ; 2^o ces essais peuvent augmenter des défauts déjà existants ou en produire de très dangereux et préparer aussi une explosion.

Ces conclusions, pour être quelque peu pessimistes et, à première vue, d'une sévérité excessive, sont cependant bien vraies au fond et il serait facile à tous les Directeurs des associations de citer des exemples nombreux d'épreuves ayant parfaitement réussi, alors que les chaudières essayées présentaient des défauts d'une extrême gravité et de nature à engendrer un péril imminent si on les avait remises en marche.

Depuis l'année 1896, j'ai fait ressortir dans le *Bulletin annuel* de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur les différentes observations que les épreuves effectuées dans notre service nous ont suggérées en ce qui concerne la nécessité de la visite intérieure lors des épreuves.

Ces observations sont reproduites ci-après (Annexe) ; elles montrent en résumé que si, parfois, l'épreuve seule a révélé des défauts, ce sont des fissures d'une seule famille, aux collets forgés des dômes, des communications, etc., et que, bien plus souvent, la visite intérieure a permis de constater des défauts importants devant ou ayant échappé à l'épreuve, soit que cette visite soit faite avant l'épreuve, soit après, soit mieux quelque temps après.

MM. Michel Lévy et Walckenaer proclament qu'une

inspection complète et attentive — inspection qui comporte évidemment une visite intérieure — est le *complément indispensable* d'un renouvellement d'épreuve.

Nous sommes absolument de cet avis; aussi ne demandons-nous pas la suppression de la visite intérieure à laquelle sont astreints les générateurs essayés avec la collaboration des associations, dans les conditions spécifiées par les circulaires ministérielles du 23 août 1887 et 23 septembre 1895; mais insistons-nous seulement pour que cette obligation soit étendue à toutes les épreuves renouvelées, sans exception.

Les associations verront ainsi disparaître une cause d'infériorité qui leur est préjudiciable, et qui leur paraît en bonne justice devoir être supprimée.

Si le règlement français était conçu dans ce sens, il ne ferait que suivre l'exemple donné par l'arrêté royal belge du 28 mai 1884 dont l'article 38 est ainsi conçu :

« Dans tous les cas, chaque épreuve renouvelée devra
« être précédée d'un examen approfondi de la chaudière
« ayant pour but de constater l'état de conservation de
« ses diverses parties. Le paragraphe deuxième de l'art.
« 51 et l'article 52 sont applicables à cet examen appro-
« fondi (1) » .

En résumé, en nous basant sur l'avis parfaitement motivé de MM. Michel Lévy et Walckenaer, et invoquant le précédent de la législation belge, nous soumettons au Congrès le vœu que toutes les épreuves renouvelées soient accompagnées d'une visite intérieure complète opérée par une personne compétente et dont le procès-verbal devra être remis à l'ingénieur des mines.

Si le contrôle du renouvellement de la visite intérieure,

(1) Il (celui qui emploie une chaudière) ne peut charger de ces visites que des agents dont le caractère et l'aptitude à reconnaître les défauts et à en apprécier les effets présentent toutes les garanties désirables.

L'Art. 52 a trait aux procès-verbaux de visite des chaudières.

prescrite par l'article 36 du décret de 1880, présente parfois dans l'application une certaine indécision, il ne saurait en être de même lors de l'épreuve; là, une visite intérieure peut être imposée et un procès-verbal exigé.

Il nous paraît essentiel qu'il en soit ainsi pour que le renouvellement de l'épreuve remplisse son but, qu'il ne soit pas un leurre, et que même il n'exerce pas, dans certains cas, une influence funeste à la sécurité.

Ce faisant, toutes les chaudières seraient placées sur le même pied, et celles dépendant des associations ne seraient traitées différemment des autres que lorsque la présence d'un inspecteur pendant l'épreuve motiverait la dispense de démolition complète des maçonneries dans les conditions relatées aux circulaires de 1887 et 1895.

Tout ce qui précède se rapporte aux chaudières en service, c'est-à-dire à celles dont les renouvellements d'épreuve se font chez les usagers eux-mêmes.

Mais il est des cas où les épreuves se font chez les vendeurs et où les visites intérieures s'imposent d'une façon impérieuse; je veux parler des chaudières d'occasion.

Ces appareils, réparés souvent, d'une provenance complexe et inconnue, sont timbrés et poinçonnés comme des appareils neufs chez les réparateurs, sans aucun autre contrôle.

Cette égalité de traitement entre des appareils qui peuvent être si différents est loin de donner toute sécurité, et des mesures de contrôle devraient être exigées pour les chaudières d'occasion.

Parmi les exemples cités à la suite de cette note, il en est de fort instructifs sur l'insuffisance des épreuves pour constater l'état de telles chaudières.

ANNEXE

EXTRAITS DU BULLETIN ANNUEL DE L'ASSOCIATION PARISIENNE de propriétaires d'appareils à vapeur

REMARQUES SUR LES ÉPREUVES EXÉCUTÉES

EXERCICE 1896

Chaudière Galloway n° 1101. — La visite intérieure réglementaire après l'épreuve nous a permis de constater l'existence de criques sur les bords tombés de la première virole de chaque foyer, à la jonction sur la tôle de devanture ; ces criques étaient déjà anciennes et signalées dans nos précédents rapports.

Toutefois, celles du foyer de droite s'étaient beaucoup développées récemment ; ainsi notre rapport de la dernière visite intérieure du 11 mai 1895 accuse pour les criques des deux foyers un développement sur $\frac{1}{4}$ de circonférence, tandis qu'actuellement elles sont réparties pour le foyer de droite en deux segments de 60 centimètres de longueur environ, soit $1^m,20$ de longueur totale, c'est-à-dire de plus de la moitié de la circonférence, le diamètre des foyers étant de $0^m,70$.

L'importance prise par ces criques nécessitait une réparation immédiate qui a été étendue aux deux foyers, bien que celui de gauche n'inspirât pas de gravité immédiate.

La réparation a consisté dans le remplacement des deux foyers. Les nouveaux foyers sont constitués d'une virole en une seule tôle avec collerette assemblée à l'extérieur de la plaque de devanture.

Si nous avions fait la visite intérieure avant l'épreuve, nous aurions prescrit la réparation avant tout essai hydraulique.

Batteries de 3 chaudières à 2 bouilleurs à 2 communications à l'avant n^{os} 1522, 1523 et 1524. — Date de l'épreuve, 28-3-94. Les fonds emboutis des bouilleurs portaient des corrosions intérieures à la partie supérieure, dans des chambres de vapeur; à l'une de ces chaudières, nous avons demandé le remplacement des fonds qui étaient plus corrodés que ceux des autres chaudières; la partie arrière fut coupée pour créer une rivure fraîche au nouveau fond.

Lors de l'essai hydraulique officiel fait après cette réparation, un suintement se fit jour à la pression réglementaire seulement, suivant une génératrice supérieure du bouilleur de droite à partir de la nouvelle rivure sur 15 centimètres de longueur. Une pièce en cuivre a été rapportée au droit de cette fissure. Une nouvelle épreuve avec poinçonnage a été faite ensuite.

Ces corrosions ont dû se former lentement : elles existaient certainement lors de l'épreuve faite en mars 1894.

Quant à la fente révélée par l'épreuve et provoquée par la réparation elle-même dans un métal aigri, comme nous n'avons été appelés que pour l'essai hydraulique, nous n'avons pu constater si elle existait avant cet essai. Toutefois cela est probable, et dans tous les cas, *ce défaut aurait été révélé aussi bien par la visite intérieure préalable que par l'essai hydraulique lui-même.*

Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs n^o 2941. — Une visite avant l'épreuve relevait aux tôles de coup de feu des deux bouilleurs, des cassures allant du mattage aux rivets des clouures d'une pièce ancienne existant à chacune des tôles. A l'une de ces pièces, celle du bouilleur de gauche, une fente dépassait la rivure et avait été arrêtée par un goujon mis à son extrémité.

Lors de l'épreuve, ces deux pièces s'étaient bien comportées, celle de gauche seulement avait présenté une trace de léger suintement précisément au bord du mattage, en face de la fente précitée. Des réserves avaient été faites par le Service des Mines, non pas tant sur l'état des tôles de coup de feu qu'à cause d'autres fuites qui s'étaient pro-

duites à la partie supérieure des différentes clouures du corps cylindrique ; un nouvel essai a dû être fait avant l'acceptation définitive de la chaudière, en présence de l'Association et après le mâtage de différentes clouures qui avaient fui ; toutefois on a préféré remplacer la pièce du bouilleur de gauche par une autre plus grande. Au nouvel essai, la nouvelle pièce s'est bien comportée ainsi que celle du bouilleur de droite.

Mais, lors de la remise en route, des fuites assez importantes se sont produites à cette dernière pièce qui avait été jusque-là parfaitement étanche, tant à chaud qu'à la pression hydraulique, et devant l'importance des fuites on a procédé au remplacement de cette deuxième pièce.

La visite intérieure, faite immédiatement avant ou immédiatement après l'épreuve, n'aurait pas amené le remplacement de la pièce au bouilleur de droite ; il a fallu pour cela que la chaudière fût mise en pression ; il semble donc préférable, d'après ce cas particulier, que la visite intérieure après l'épreuve ne soit faite qu'après quelque temps de marche.

Chaudière cylindrique semi-tubulaire à 2 bouilleurs et basses communications n° 1379. — Notre visite, faite le 21 octobre, avait pour but l'examen de la partie inférieure de la clouure circulaire du corps cylindrique, qui avait donné lieu en marche à des fuites suffisamment importantes pour nécessiter l'arrêt immédiat de l'appareil. La vérification de cette partie nous a permis de reconnaître la présence des deux cassures partant du mâtage de la pince extérieure arrière de la première virole franchissant la tête de rivet et se reproduisant en pleine tôle sur une longueur de 2 centimètres ; en outre les rivets de cette partie de la clouure étaient en général desserrés et les pinces disjointes ; c'est même à ces deux derniers défauts plutôt qu'à la cassure qu'il faut attribuer les fuites qui se sont produites en marche.

Une première fois, lors du dernier débutage, quatre rivets de cette clouure avaient été remplacés, y compris celui en face duquel était la nouvelle cassure ; la chaudière a été alors retimbrée par l'Administration des Mines le 12 octobre

1895; l'étanchéité, après ce travail, fut rétablie jusqu'à ces temps derniers où la fuite reparaisait, cette fois suffisamment importante pour rendre inévitable une réparation.

Il a été convenu sur place avec la maison chargée de cette réparation, qu'une partie de la clouure sur huit rivets intérieurs consécutifs, soit environ 50 centimètres de développement et 25 centimètres de large, serait découpée et qu'une pièce intérieure à cheval sur la clouure serait rapportée.

A l'issue de cette visite, nous avons cherché à établir quelle pouvait être la cause de ces avaries successives à cette partie du générateur et en étudiant le dispositif actuel du parcours des gaz, d'ailleurs communs à tous ces systèmes de générateurs à basses communications, nous avons constaté que par suite de la faible section du passage du gaz sur les côtés des bouilleurs, les flammes, en sortant du foyer, appelées par les tubes, se trouvaient projetées suivant l'axe du corps cylindrique, en un seul jet sur la clouure avariée qui se trouve être placée précisément juste au-dessus de l'autel; il est donc certain que la dislocation de cette clouure s'est produite par une surchauffe locale.

De plus, le corps cylindrique, à sa partie inférieure, n'est jamais nettoyé durant la période de marche, qui est d'environ six mois; il peut s'accumuler alors à la partie inférieure des viroles et principalement vers l'avant des dépôts boueux et même quelque peu écaillés, qui ont aidé à la surchauffe de cette partie déjà en très mauvaise position comme nous le constatons plus haut, et qui ont activé l'avarie actuelle.

Nous avons conseillé de rapprocher les nettoyages; on a profité, de plus, de la réparation pour augmenter l'écartement entre les parois latérales de la maçonnerie et les bouilleurs, afin de créer ainsi trois dégagements de flamme au-dessus du foyer; de plus, une dalle en terre réfractaire reposant sur les bouilleurs a été mise au droit de la pièce du corps cylindrique pour la soustraire ainsi à l'action du feu.

Le découpage des tôles a démontré que les deux cassures que nous avons signalées lors de notre visite en face de deux rivets sur la tôle de la première virole affectaient toute l'épaisseur de la tôle. De plus, après enlèvement de la partie

antérieure de la deuxième virole, on a reconnu une cassure entre cinq rivets consécutifs, mais elle ne traversait pas la tôle et elle n'existait que dans la première virole ; il en était résulté un desserrage de la clouure qui avait contribué à l'importance des fuites.

Ce compte rendu montre que les causes qui avaient nécessité une première réparation avant l'épreuve ont continué ensuite en exigeant, un an après l'épreuve, une nouvelle réparation ; *la visite intérieure faite quelque temps après l'épreuve aurait donc, dans ce cas, également donné de meilleures indications que celle faite immédiatement après.*

Chaudière semi-tubulaire à 2 bouilleurs et tubes démontables n° 1903. — Dans une visite intérieure faite avant l'épreuve, les tubes étant enlevés pour les nettoyer et les vérifier, nous avons constaté au corps cylindrique des corrosions par piqûres, dont quelques-unes de 4^{mm}, à la partie inférieure de la deuxième virole ; dans les bouilleurs, il existait des corrosions de 5 à 6^{mm}, à l'arrière des tôles de coup de feu le long du chanfrein.

L'épreuve a été faite ensuite sans tolérance avec démolition complète de la maçonnerie qui était en mauvais état ; *la visite intérieure après l'épreuve n'était plus alors obligatoire ; faite avant ou après, elle aurait révélé pourtant des corrosions importantes.*

Chaudière à deux bouilleurs n° 563. — A la pression hydraulique réglementaire d'épreuve, un léger suintement s'est produit à la collerette du dôme par une petite fissure de 15^{mm} de longueur et allant d'un rivet au chanfrein. Une couture de goujons a été posée dans cette fissure.

Chaudière à 2 bouilleurs semi-tubulaires n° 540. — Un rivet de la clouure du dôme à l'arrière avait fui au moment de l'épreuve ; il a été enlevé et nous avons alors constaté qu'il existait une fente partant du recouvrement de la clouure et s'étendant entre cinq rivets. Une pièce a été posée sur la collerette.

Chaudière cylindrique à deux bouilleurs n° 553. — Sous la pression hydraulique, une fissure de 15^{mm} de longueur partant de l'un des rivets de la clouure de la collerette du dôme a donné lieu à un léger suintement.

Chaudière cylindrique à deux bouilleurs n° 170. — Sous la pression hydraulique, une légère fuite s'est produite à la clouure d'une pièce ancienne de la collerette du dôme.

Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs n° 2868. — Lors du renouvellement décennal de l'épreuve, le timbre a été porté de 5 à 6 kilogrammes. A la pression réglementaire de 12 kilogrammes, de très légers suintements se sont produits à la tôle du coup de feu du bouilleur de gauche dans la partie pailleuse ; une pièce a été posée.

Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs n° 2768. — A une première épreuve, faite sans notre concours, la maçonnerie étant complètement démolie, des suintements se sont produits par une cassure entre huit rivets consécutifs de la clouure de la collerette du dôme, à la partie postérieure ; cette collerette portait déjà à sa partie antérieure une pièce qui a fui également à l'épreuve.

La partie inférieure du dôme a été remplacée par une collerette indépendante. Des corrosions intérieures de 5 à 6^{mm} existaient à la partie supérieure des deuxième, troisième et quatrième viroles du corps cylindrique portant et avoisinant le dôme ; ces corrosions provenaient des fuites à la collerette du dôme, sous la maçonnerie ; les plus profondes ont été aveuglées par des rivets en cuivre rouge.

L'épreuve a été faite ensuite avec succès. *Les faits ayant accompagné cette épreuve montrent qu'un essai hydraulique et une visite intérieure préalables étaient nécessaires pour s'assurer de l'état de l'appareil.*

Chaudière multitubulaire n° 1226. — Timbre 12 kilogs. — Dès sa mise en feu, la chaudière étant à 9^k,50, nous avons constaté des fuites à presque tous les rivets de la double

clouure longitudinale antérieure du corps transversal supérieur.

Un essai hydraulique à la pression réglementaire de 18 kilogs a été fait le lendemain de notre visite ; les fuites de la veille se sont reproduites avec plus d'intensité.

Ces fuites ont été mattées intérieurement et extérieurement. *Il a donc fallu une mise en feu après l'épreuve pour révéler les parties faibles de l'appareil.*

EXERCICE 1897

Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs n° 1097. — Timbre : 6 kilogr. — Cette chaudière avait subi une réparation consistant dans la pose de deux pièces de petites dimensions :

1° A l'avant de la clouure longitudinale externe du bouilleur de droite, à 70 centimètres environ de la tête en fonte, sur la virole supérieure, pour remplacer une cassure longitudinale que nous avons relevée dans la clouure ;

2° A la partie inférieure de la tôle de coup de feu, à la suite d'une crique en pleine tôle.

Cette chaudière avait eu ses bouilleurs remplacés en 1890, et elle avait été alors éprouvée chez le chaudronnier réparateur. Les tôles employées pour ces bouilleurs étaient de qualité inférieure.

Après la réparation faite en 1897, elle fut éprouvée et poinçonnée.

Un suintement insignifiant à la pince de la réparation de la clouure longitudinale avait laissé croire simplement à la nécessité d'un léger mattage.

La chaudière avait été laissée pleine d'eau pour ce mattage.

Un nouvel essai à la pression réglementaire de 12 kilogrammes fut fait par nos soins, pour s'assurer de l'étanchéité de la réparation.

C'est alors qu'un suintement presque imperceptible s'est manifesté à l'avant de la première virole supérieure du bouilleur réparé, à 10 centimètres environ au-dessus de la pièce que l'on venait de poser à la clouure longitudinale.

Nous avons alors, la chaudière étant toujours sous pression hydraulique, martelé les tôles, et l'examen à la loupe du métal faisait voir très difficilement une crique de 1 centimètre environ de longueur.

La chaudière a été vidée en notre présence, afin de pouvoir examiner la tôle du côté intérieur; aucune trace de cassure apparente n'existait, même à la loupe.

C'est alors qu'un martelage intérieur plus accentué a été opéré, et la fente, après quelques coups de marteau, s'est ouverte et est devenue visible à l'intérieur sur 3 à 4 centimètres.

A chaque nouveau coup de marteau, elle s'allongeait visiblement de haut en bas, c'est-à-dire en se rapprochant de la rivure de la pièce mise.

Ce rapprochement gradué de la fente apparente alors sur 8 centimètres de longueur, vers la rivure, rendait vraisemblable l'hypothèse d'une cassure amorcée dans la demi-épaisseur de la tôle par le travail de rivetage que l'on venait de faire, et il était bien supposable que cette cassure, bien qu'elle soit invisible, même à la loupe, devait partir d'un rivet de la pièce rapportée.

Quoi qu'il en soit, la présence même de cette crique, en pleine tôle, dénoterait un métal de qualité inférieure, ainsi du reste que pouvait le faire préjuger l'aspect du morceau de tôle précédemment découpé à la clouure longitudinale, et la crique au coup de feu qui s'était présentée sans déformation.

De plus, la rivure de la clouure longitudinale externe pouvait être suspectée comme défectueuse, si l'on s'en rapporte aux rivets fortement desaxés de la partie qui venait d'être réparée.

Nous avons alors conseillé de remplacer toute la partie fatiguée de ce bouilleur, c'est-à-dire l'avant en entier jusqu'au delà de l'autel, de façon à faire disparaître toute appréhension et avoir ainsi, pour la surface de chauffe directe exposée à l'action du foyer, des tôles parfaitement saines, qui ont été choisies en acier extra-doux de première qualité.

Dans ce cas, sans notre intervention après l'épreuve, une fuite se serait fait jour par la fissure transversale au-dessus de la partie réparée, et cette fuite n'aurait été mise en évidence qu'après la mise en feu de la chaudière.

Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs n° 242. — Timbre : 6 kilogr. — Lors d'une visite intérieure avant l'épreuve, nous avons constaté dans les carneaux qu'il existait sur la collerette supérieure de la dernière communication de gauche une assez forte épaisseur de tartre qui, d'après le chauffeur de l'usine, devait provenir d'une fuite importante à deux robinets placés à l'aplomb de cette communication; néanmoins, nous avons demandé que cette partie soit bien dégagée de toute maçonnerie et qu'elle soit nettoyée très soigneusement, le tartre pouvant, à notre avis, aussi bien provenir d'une fuite à la collerette que de suintement à travers la maçonnerie.

Lors de l'épreuve, à la pression de 8 kilogrammes, une cassure s'est manifestée à la collerette supérieure de la dernière communication du bouilleur de gauche; cette cassure s'étendait sur un parcours de 40 centimètres. Une pièce en cuivre a été posée.

Il a été facile de constater, à l'examen de la partie avariée, que la fissure était ancienne.

Dans l'espèce, la visite intérieure faite avant l'épreuve a permis à notre inspecteur de reconnaître le point sur lequel son attention devait plus particulièrement être appelée lors de l'épreuve. Cette visite concourant dans ces conditions avec l'essai hydraulique officiel, a permis de reconnaître le défaut existant.

Chaudière Artige à 5 corps : 3 vaporisateurs et 2 réchauffeurs inférieurs n° 178. — Cette chaudière avait été éprouvée et poinçonnée le 3 juillet 1896, après une réparation notable ayant consisté dans le remplacement de la première virole supérieure et de la tôle de coup de feu du vaporisateur milieu.

Quelque temps après, en mars 1897, le fond arrière du réchauffeur de gauche, constitué par un fond plat en fonte,

relié à la tôle par une cornière, a présenté des commencements de fissures qui se sont fait jour dans le congé de la cornière. Ce fond a été remplacé par un fond en tôle.

Dans ce cas, il a fallu quelque temps de marche pour que le défaut fût mis en évidence par l'apparition d'une fuite à la fissure de la cornière. L'examen de cette fissure a montré également qu'elle était ancienne et qu'elle devait exister lors de l'épreuve faite quelques mois auparavant.

Chaudière verticale Field n° 3171. — Cette chaudière avait été poinçonnée en mars 1896 lors de sa réinstallation dans une nouvelle usine.

En décembre 1897, une fuite ayant été constatée à la partie inférieure du corps cylindrique, au-dessous du gueulard, l'enveloppe calorifuge qui le recouvrait et descendait jusqu'à la base, en y comprenant la partie située sous le gueulard, avait été démontée.

Une fente horizontale de 50^{mm} apparut alors en pleine tôle, après l'enlèvement de la forte couche d'oxyde qui adhérerait au métal.

Cette chaudière fut inscrite à ce moment à notre Association et visitée de suite. Lors de notre arrivée, deux trous venaient d'être percés près de la partie fissurée, dans le but d'aveugler la fuite par un joint extérieur.

Une telle réparation était inacceptable ; d'ailleurs, de l'examen que nous avons fait de la partie inférieure du corps cylindrique, il résulte qu'aucune réparation autre que le remplacement complet de la partie inférieure n'était possible.

En effet, des corrosions très profondes avaient fortement attaqué le métal du corps cylindrique sur tout le pourtour de sa base, depuis la clouure inférieure de jonction avec le cadre du foyer jusqu'à hauteur des petits autoclaves de nettoyage. Quoique assez profondes (4 à 5^{mm}) en de certains joints, ces corrosions n'avaient pas l'accentuation qu'accusait celle très étendue de la partie avant.

Le métal n'avait plus, en effet, au point de vue de la fissure et dans un développement de 50 centimètres sur 12 à

15 centimètres de hauteur, qu'une épaisseur de 5 à 15^{mm}. Aux points où ont été percés les trous, le métal avait une épaisseur de 1,5 à 2^{mm}; nous avons percé la tôle en un point situé à environ 12 centimètres de la fente; l'épaisseur était à ce point de 3^{mm} à peine.

La fissure ayant donné lieu à la fuite pouvait très bien être la naissance d'une déchirure très grave.

La détérioration de cette partie du générateur est due à l'état permanent d'humidité dans lequel elle s'est trouvée entretenue.

Cette chaudière ne comportant pas de maçonnerie, notre intervention à l'épreuve pouvait ne pas être utile; toutefois, l'affaiblissement du métal devait déjà exister lors de l'épreuve exécutée 20 mois avant notre visite. Une inspection faite alors aurait prescrit la réparation si elle avait été jugée nécessaire.

Fissures à des collerettes de dôme, relevées par l'épreuve.
4 cas : Chaudières n^{os} 63, 1086, 1087, 3011.

Chaudière cylindrique à deux bouilleurs n^o 2942. — Timbre : 5 kilogr. — Cette chaudière avait été éprouvée le 2 mai 1895. Lors de notre première visite à cette chaudière, après son inscription, le 3 mars 1897, nous avons relevé tout d'abord, du côté des carneaux, un amas de tartre à la partie supérieure arrière du bouilleur de gauche; le nettoyage intérieur n'avait porté que sur les tôles de coup de feu; toutes les autres viroles n'avaient pour ainsi dire reçu qu'un commencement de piquage; d'ailleurs, les tôles supérieures n'ont jamais été piquées; aussi étaient-elles recouvertes d'une couche très épaisse d'un tartre ancien, dur et très adhérent, qui atteignait sur les viroles arrière 5 centimètres d'épaisseur; après piquage en un point, nous avons constaté que ce tartre masquait une corrosion dans le bouilleur de gauche, s'étendant sur toute la longueur de la dernière virole supérieure et sur un développement variant entre 10 et 15 centimètres. Nous avons alors pensé que cette corrosion, qui devait remonter à plusieurs années, s'était développée et au point de mettre le métal à jour vers le milieu

de la virole. Notre attention ayant été appelée sur ce point, nous avons demandé l'enlèvement des dalles qui bloquaient cette partie, en même temps qu'un piquage intérieur complet, afin de pouvoir déterminer exactement la nature du défaut et la réparation à faire. Le lendemain, nous avons constaté effectivement que la tôle était percée.

La corrosion de la tôle devait remonter à plusieurs années ; elle ne pouvait s'expliquer par un ciel de vapeur, quoiqu'elle fut à l'arrière du bouilleur, où elle portait sur une virole intérieure. Toutefois le piquage vers le fond du bouilleur, lequel avait 8^m,50 de long, avait été très négligé ; de plus, le tartre prélevé dans les différents endroits corrodés, accusait très nettement la présence, dans les corrosions, de chlorure de fer. Il est probable que l'eau d'alimentation qui provenait d'un puits contenait des chlorures décomposables.

Cette corrosion existait certainement déjà en 1895 au moment de l'épreuve ; une visite intérieure faite alors, mais avant l'épreuve, aurait permis de demander le piquage complet des bouilleurs et de reconnaître ensuite l'état de corrosion du métal.

EXERCICE 1898

Chaudière semi-tubulaire à 1 bouilleur à tubes démontables n° 1587. — Timbre : 6 kilogr. — Date d'épreuve, 19-1-89. — Visite du 16 novembre, avant renouvellement décennal de l'épreuve.

Au cours de cette visite, deux tubes, un à la partie supérieure et un à la partie inférieure du faisceau furent trouvés corrodés ; en certains endroits le métal n'avait plus qu'une épaisseur de 2^{mm}. Les deux tubes ayant été sortis, il en fut trouvé d'autres également corrodés, et l'on fut amené à détuber entièrement : 14 tubes furent mis hors service ; en certains endroits un coup de marteau suffisait à les ajourer. On profita de ce détubage pour piquer le corps cylindrique. L'épreuve de la chaudière a été faite ensuite.

Malgré leurs corrosions, les tubes seraient restés probablement étanches sous la pression hydraulique d'épreuve ; la visite inté-

rière de l'appareil, soit avant soit après l'épreuve, était donc nécessaire pour reconnaître l'état de la chaudière.

Chaudière Bobcock et Wilcox n° 3026. — Timbre : 10 kilogr. — Date d'épreuve : 19-2-89. — Visite avant épreuve.

Les tubes des communications arrière, entre le corps supérieur et les collecteurs, étaient très affaiblis à leur partie supérieure, par suite des corrosions dues au contact de la maçonnerie humide.

Ces tubes furent remplacés et la maçonnerie faite ensuite.

Chaudière Babcock et Wilcox type de 2^e catégorie, à corps supérieur transversal à l'arrière, avec tubes de communication horizontaux entre ce corps et les boîtes de connexion avant n° 1408. — Timbre : 10 kilogr. — Date d'épreuve : 3-6-88. — Visite intérieure avant renouvellement décennal de l'épreuve.

Les 10 tubes supérieurs horizontaux et 5 tubes bouilleurs du premier rang supérieur, affaiblis par la corrosion, ont dû être remplacés. La corrosion provenait de fuites au tuyautage situé au-dessus du blocage supérieur.

Une réparation exactement semblable a dû être faite à la chaudière voisine n° 1409.

Ces trois exemples conduisent à la même conclusion comme pour la chaudière 1587.

Fissures à des collerettes de dômes révélées par l'épreuve.
5 cas : chaudières n^{os} 251, 581, 1255, 1402, 2952.

Fissures analogues dans une chaudière demi-fixe à foyer cylindrique vertical et corps tubulaire horizontal dans l'angle de la collerette de jonction de la tôle enveloppe du foyer et du corps horizontal.

Cette crique, comme celles aux collerettes de dômes rappelées ci-dessus, n'avait pas fui en marche.

Chaudière demi-fixe à foyer vertical et corps tubulaire horizontal n° 775. — Timbre : 6 kilogr. — Date d'épreuve : 4-8-88. — Nous avons signalé depuis quelque temps déjà l'entartrement du faisceau tubulaire. On profita alors de

l'épreuve pour enlever tous les tubes et les remplacer.

La chaudière est soutenue à l'arrière par un support boulonné relié au corps horizontal par 4 boulons serrés extérieurement.

L'enlèvement des tubes nous a permis de visiter la chaudière en détail.

Nous avons relevé sur les flancs du corps horizontal quelques corrosions par pustules peu importantes. En outre, à la partie inférieure du même corps, à 33^{mm} environ de la plaque tubulaire arrière et autour des deux têtes de boulons de serrage du support, nous avons découvert une corrosion par surface, dont une des cavités ayant 20^{mm} de diamètre et 10^{mm} de profondeur a nécessité la pose d'une petite pièce pour remplacer toute la partie avariée.

Le faisceau tubulaire a été remonté et l'épreuve faite ensuite.

Comme la corrosion était très locale, la chaudière serait restée certainement étanche sous la pression hydraulique d'épreuve.

La visite intérieure, faite dans l'espèce avant l'épreuve, a eu l'avantage de provoquer le remplacement du faisceau tubulaire trop entartré et d'assurer la réparation des parties corrodées mises ainsi à nu, et qu'on n'aurait pas pu voir sans démonter le faisceau.

Il y a lieu de noter de plus que cet appareil étant demi-fixe, notre présence à l'épreuve n'était pas réglementairement nécessaire, et que pourtant notre intervention a été très utile pour la mise en état du générateur.

Chaudière Galloway n° 1255. — Timbre : 6 kilogr. — Date d'épreuve : 27-12-87. — Cette chaudière avait été visitée le 27 décembre 1897, avant le renouvellement décennal de l'épreuve.

Une corrosion en sillon fut relevée dans l'angle intérieur du bord tombé du foyer de droite à sa jonction avec la tôle de devanture. Cette corrosion s'étendait sur 70^{mm} de longueur.

Cette crique ne nécessitait pas encore de réparation, mais elle exigeait une surveillance régulière pour en suivre le développement.

L'épreuve fut tentée ensuite le 16 janvier, mais une fuite se produisit par une cassure entre deux rivets consécutifs à la clouure d'une pièce de petites dimensions, rapportée sur le congé avant de la collerette du dôme. Aucun suintement ne se manifesta dans la corrosion en sillon du foyer.

La pièce du dôme fut remplacée.

De plus, sur notre avis, on profita de l'arrêt occasionné par ce remplacement pour réparer également, sans plus attendre, la collerette du foyer. La partie corrodée fut enlevée et remplacée par une collerette circulaire rivée extérieurement.

Dans ce cas encore, malgré la corrosion du foyer, la première épreuve a laissé la chaudière étanche dans cette partie.

La visite intérieure était donc encore nécessaire pour reconnaître l'état de cet appareil. Cette visite était d'ailleurs plus fructueuse avant l'épreuve, car elle avait permis de relever les points faibles de la chaudière sur lesquels l'attention devait être plus spécialement appelée.

Chaudière tubulaire n° 1052. — Timbre : 4 kilogr. — Date d'épreuve : 21-11-96. — Le faisceau tubulaire corrodé avait été remplacé en entier. La chaudière était remplie d'eau en vue d'un essai hydraulique après réparation.

Lors d'un essai préliminaire à 8 kilogrammes, une fuite assez importante s'est déclarée, qui paraissait provenir du desserrage de la clouure longitudinale de gauche de la première virole du corps cylindrique, en deux endroits distants de la plaque tubulaire avant : le premier de 60 centimètres, le second de 80 centimètres environ et d'une longueur chacun de 10 à 15 centimètres.

Cette fuite ne s'était pas produite en marche.

Dans l'espèce, l'épreuve seule a révélé le défaut d'étanchéité de cette clouure.

Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs n° 3348. — Timbre : 5^k,500. — Date d'épreuve : 4-3-98. — Cette chaudière d'occasion avait été timbrée le 4 mars 1898 chez le chaudronnier réparateur. Quelques semaines après sa mise en marche, une

fuite importante se produisit en pleine tôle de coup de feu du bouilleur de gauche. Ce défaut provenait d'une partie dédoublée. La tôle ayant été reconnue pailleuse, elle a dû être remplacée.

L'épreuve fut faite à nouveau le 20 septembre 1898.

Il y a lieu de noter, dans ce cas, l'avarie importante survenue à cette chaudière presque immédiatement après l'épreuve. La paille ayant entraîné la fuite était d'ailleurs très visible à l'intérieur du bouilleur, et elle aurait été relevée si une visite avait accompagné l'épreuve.

Chaudière Galloway n° 249. — Timbre : 6 kilogr. — Date de la dernière épreuve : 42-1-98. — Une réparation a dû être faite au foyer de droite par suite d'une cassure entre 10 rivets de la clouure d'assemblage des deux premières viroles du foyer.

Cette chaudière a été repoinçonnée après réparation, le 23 novembre 1898.

Il est à relever également que cette avarie est survenue quelques mois après le retimbrage de la chaudière.

EXERCICE 1899

Chaudière n° 3685. — Timbre : 7 kilogr. — Dernière date d'épreuve : 3-7-99.

Cette chaudière, qui était d'occasion, avait été éprouvée chez le vendeur le 28-2-99 avant d'être livrée à l'industriel.

Après sa mise en fonctionnement, elle fut inscrite à l'Association.

Lors d'une visite que nous avons faite le 19 juin, les bouilleurs et le corps cylindrique étaient détamponnés, mais aucun nettoyage n'était fait ni à l'intérieur, ni à l'extérieur.

Notre visite nous a cependant permis de constater à la partie inférieure arrière du bouilleur de droite, près du débouché de l'alimentation, un amincissement très important de la tôle. Ayant fait, en effet, piquer celle-ci, à l'en-

droit de la corrosion, nous avons relevé que l'épaisseur restante n'était que de 1^{mm}.

Devant cette constatation, nous avons pensé que la partie correspondante du bouilleur de gauche pouvait se trouver dans un état analogue.

Nous avons, en conséquence, demandé le piquage intérieur de ce bouilleur, où à l'arrière nous avons effectivement constaté le même défaut qu'au bouilleur de droite, tout en étant moins important.

La pose d'une pièce a été décidée à chaque bouilleur : sa clouure arrière fut commencée avec celle du fond embouti.

Il est important de relever dans ce compte rendu que la chaudière avait été éprouvée et timbrée alors qu'une de ses parties n'avait plus que 1^{mm} d'épaisseur et qu'il a fallu la visite intérieure pour révéler un tel état.

Ces faits montrent combien il serait nécessaire que des garanties spéciales fussent imposées, outre l'épreuve, aux chaudières d'occasion.

Chaudière multitubulaire Roser n^{os} 1556 et 1557. —
Timbre : 12 kilogr. — Date d'épreuve ancienne : 25-6-89.

Lors d'un essai préalable, nous avons constaté à la collette de jonction des deux corps supérieurs, côté droit de la chaudière 1556, une crique sur l'emplacement de laquelle nous avons demandé la pose d'une pièce.

Sur la chaudière 1557, et dans une situation analogue, existait une pièce-applique en cuivre recouvrant une ancienne crique semblable à celle de la chaudière 1556.

Cette pièce ayant fui à l'essai préalable, nous en avons demandé le remplacement par une nouvelle.

C'est à la suite de la pose de ces deux pièces que l'épreuve définitive eut lieu.

Dans l'espèce, et ce cas se produit fréquemment dans les collettes, qu'il s'agisse de collettes du genre de celles précitées ou, d'une façon plus générale, de collettes de communication ou de dôme, l'essai hydraulique seul a révélé la crique de la collette.

Chaudière multitubulaire n° 1033. — Timbre : 10 kilogr. — Date d'épreuve : 22-11-89.

Cette chaudière est du type multitubulaire ; elle comprend de plus un réchauffeur d'eau composé de tubes verticaux et un faisceau de tubes sécheurs de vapeur.

Nous avons été appelés le 5 novembre 1899 pour visiter la chaudière avant le renouvellement décennal de l'épreuve et pour indiquer les dispositions à prendre en vue de cette épreuve.

Au cours de cette visite, notre attention s'était portée tout spécialement sur le réchauffeur dont les tubes n'étaient qu'imparfaitement nettoyés à la base et où nous avons remarqué une oxydation prononcée.

Pour nous fixer complètement sur l'état réel des tubes, nous avons demandé un complément de nettoyage après lequel nous avons procédé à une nouvelle visite.

Au cours de cette dernière, faite le lendemain 6, qui était précisément le jour de l'épreuve, nous avons constaté qu'un tube était perforé et que deux cédaient sous le marteau. Les autres présentaient une usure très accentuée.

Devant l'état général des tubes du réchauffeur, il a été décidé que celui-ci serait mis hors d'usage. Il n'a donc pas été présenté à l'épreuve de la chaudière, qui a eu lieu ce 6 novembre avec succès.

Ces faits mettent en relief le concours utile apporté à l'épreuve par la visite intérieure qui l'a accompagnée.

Mise hors d'usage d'une chaudière d'occasion cylindrique à 2 bouilleurs, corrodée dans les parties habituellement bloquées. — Timbre : 4 kilogr. — Date d'épreuve : 28-11-93.

Cette chaudière, en chômage depuis longtemps, se trouvait dans un blocage très humide ; la maçonnerie avait été démolie en vue de l'épreuve que devait subir le générateur avant sa remise en service.

Au cours de cette épreuve, qui eut lieu le 15 mars 1899, et à laquelle nous avons assisté, il s'est produit à une pièce-applique boulonnée sur le côté gauche de la collerette du

trou d'homme monté sur le corps cylindrique une fente devant laquelle le contrôleur des mines refusa de poinçonner la chaudière.

Celle-ci ne pouvait donc être présentée à une nouvelle épreuve qu'après la réparation nécessaire, mais pour justifier cette réparation, par suite des doutes que le propriétaire avait sur l'état du reste de la chaudière, il fut décidé que nous procéderions à la visite complète de l'appareil.

Au cours de cette visite, qui eut lieu le 20 mars, nous avons constaté que toutes les tôles, tant du corps cylindrique que des bouilleurs, étaient fortement corrodées à l'intérieur et qu'il en était de même dans les parties habituellement bloquées.

Dans ces conditions, nous avons estimé qu'aucune réparation n'était pratiquement acceptable et l'appareil a été mis hors d'usage.

Si la réparation au trou d'homme rendue nécessaire par le résultat infructueux de l'épreuve avait été faite, la chaudière aurait probablement pu subir avec succès une nouvelle épreuve, malgré les corrosions importantes reconnues dans notre visite postérieure.

Dans le cas particulier, si l'on avait pu procéder avant l'épreuve de la chaudière à la visite intérieure, il est probable que nous aurions conseillé de suite de mettre le générateur hors d'usage, par suite de son état de vétusté.

4^e Question

ÉPREUVES

DES

CHAUDIÈRES EXPORTÉES

PAR

M. SAUVAGE

Ingénieur en chef des mines, ingénieur en chef adjoint
au matériel et à la traction
de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

Lorsque les dispositions des appareils sont telles que l'épreuve réglementaire à la presse hydraulique se fait commodément après la mise en place définitive, les conditions restent les mêmes quand ces appareils sont construits dans le pays où on les emploie et quand ils viennent d'un autre pays. Mais il n'en est plus de même pour les générateurs qui sont éprouvés à la presse chez le constructeur, puis recouverts d'enveloppes, tels que ceux des grues, des locomobiles, des locomotives : lorsqu'un de ces générateurs est exporté, il devient nécessaire de le

soumettre à l'épreuve suivant les règlements du pays où il est employé ; il faut alors démonter les enveloppes et parfois même diverses pièces fixées sur les chaudières ; il en résulte des dépenses et des pertes de temps.

Or, les épreuves officielles à la presse sont obligatoires dans la plupart des pays industriels, et, d'une façon générale, rien ne fait supposer qu'elles ne soient pas faites partout avec le même soin. Il semble donc bien naturel qu'un générateur neuf, officiellement éprouvé dans un pays, soit accepté dans un autre sans nouvelle épreuve. On n'aurait dans chaque pays qu'à modifier, s'il y a lieu, la pression de marche, en la calculant d'après la surcharge d'épreuve à laquelle le générateur a été soumis, ces surcharges n'étant pas partout les mêmes. Chaque générateur serait accompagné du certificat d'épreuve et porterait les marques officielles d'épreuve d'après les règlements du pays d'origine ; dans le pays d'emploi on ajouterait les marques légales, en modifiant le timbre si cela était nécessaire. Il est d'ailleurs bien entendu que le service compétent serait toujours libre d'exiger une nouvelle épreuve, s'il la reconnaissait utile.

Une méthode inverse consisterait à prévoir des dispenses d'épreuve sur demandes spéciales, faites dans chaque cas particulier. Mais cette méthode, qui, au point de vue de la sécurité, n'aurait aucun avantage réel, imposerait des pertes de temps et des démarches qu'il importe d'éviter. On se fait difficilement une idée de la dissipation d'énergie qui résulte de formalités administratives trop nombreuses, et de l'influence néfaste de ces formalités sur la production d'un pays : il est plus important qu'on ne le croit généralement de les réduire à celles qui ont réellement quelque intérêt.

Le Congrès ferait une œuvre utile s'il émettait un vœu en faveur de cette simplification des formalités d'épreuve ; ce vœu pourrait être ainsi rédigé :

Lorsqu'une chaudière enveloppée, dont l'épreuve à la presse se fait habituellement chez le constructeur, sera transportée neuve d'un pays dans un autre, on acceptera comme valable (sauf motifs spéciaux) l'épreuve officielle faite dans le pays d'origine; le fonctionnement de la chaudière sera autorisé sans nouvelle épreuve, avec modification du timbre, s'il y a lieu, faite en tenant compte de la surcharge d'épreuve. Les marques réglementaires seront apposées à côté des marques placées dans le pays d'origine.

5° Question

ÉTUDE SUR LES ACCIDENTS

DE

RÉCIPIENTS DE VAPEUR

PAR

M. HÉBERT

Ingénieur adjoint de l'Association parisienne des propriétaires
d'appareils à vapeur.

AVANT-PROPOS

Dans son rapport sur les Machines et Appareils de la Mécanique Générale, publié lors de l'Exposition universelle de 1889, M. Hirsch, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, s'exprimait ainsi en ce qui concerne les accidents de chaudières :

« Une première et importante constatation à faire, c'est que ces accidents deviennent, d'année en année, moins fréquents. Le fait est d'autant plus digne de remarque, qu'un grand nombre de causes semblent con-

courir pour augmenter le nombre des accidents : service plus difficile par suite des sujétions des installations, systèmes nouveaux de générateurs, pression plus élevée, enfin statistique plus complète. Mais, d'autre part, nos connaissances des phénomènes qui se passent dans les chaudières se précisent de jour en jour. En particulier, pour ce qui concerne les explosions, les enquêtes sont faites, en général, avec assez de soin et de compétence pour permettre d'en préciser avec sécurité les causes ; la catégorie des explosions dues à des causes inconnues se fait chaque année plus rare. Et, tout d'abord, ces phénomènes mystérieux, auxquels on a eu quelquefois recours pour expliquer les explosions de chaudières, ont à peu près disparu de nos enquêtes ; il n'est plus question de mélanges détonants, de décharges électriques, d'eau surchauffée, etc.

Des recherches décisives ont fait justice de ces hypothèses.

D'autre part, la surveillance exercée sur les appareils à vapeur est plus active et plus efficace ; à cet égard, les chefs d'industrie comprennent mieux leurs devoirs et leur responsabilité ; les chauffeurs se forment et s'instruisent ; le personnel si distingué des Mines compense son insuffisance numérique par son activité et ses connaissances ; enfin, les associations de propriétaires d'appareils à vapeur procurent une sécurité réelle aux générateurs qui rentrent dans leur ressort. »

M. Hirsch donnait à l'appui de ce qui précède le tableau suivant qui montre nettement la diminution dans le nombre d'accidents et de victimes par rapport aux chaudières en service depuis 1865, année où l'on a commencé à établir une statistique officielle régulière des explosions de chaudières jusqu'en 1889, époque à laquelle le rapport de M. Hirsch a été établi.

PÉRIODES	NOMBRE MOYEN		POUR 10.000 CHAUDIÈRES					NOMBRE de victimes (tués et blessés)
	ANNUEL		NOMBRE D'ACCIDENTS				TOTAL	
	de chaudières	d'explo-sions	pour conditions défectueuses de construction	pour conditions défectueuses d'entretien	pour mauvais emploi des appareils	pour causes indéterminées		
1865-1869	33.741	14.6	0.89	1.25	2.13	0.53	4.33	13.57
1870-1874	41.618	18.8	1.58	1.73	1.73	0.48	4.52	12.25
1875-1879	54.825	24.4	1.20	1.93	1.64	0.18	4.45	10.87
1880-1884	70.019	25.0	0.91	1.54	1.68	0.20	3.57	8.57
1885-1889	80.250	25.0	0.72	1.34	1.57	0.17	3.12	5.28

Il est très encourageant d'ajouter que cette diminution dans le pourcentage des accidents n'a fait que s'accroître depuis 1889.

Cette diminution est encore plus nette en ce qui concerne les victimes des explosions, ainsi que le montre la planche I annexée à la présente note.

Sur cette planche sont consignés un certain nombre de graphiques que j'ai été amené à tracer pour justifier mon étude sur les accidents de récipients.

A ce sujet, je ferai remarquer tout d'abord que je n'ai considéré, au point de vue des générateurs, que ceux employés dans l'industrie, à l'exclusion des chaudières des bateaux ou des locomotives de chemins de fer.

Comme d'une part, dans ces deux dernières classes, le nombre d'accidents annuel est très faible eu égard au nombre correspondant de chaudières et comme d'autre part, dans son rapport, M. Hirsch a envisagé les accidents survenus à toutes les chaudières, à l'exception seulement de celles des bateaux de la marine de l'État que j'ai exclues également en outre de celles spécifiées plus haut, il en résulte que les pourcentages d'explosions et de victimes don-

nés par M. Hirsch sont inférieurs à ceux que j'ai obtenus.

Dans tous les cas, ces derniers montrent nettement que, pour une augmentation régulière, mais accentuée, du nombre annuel de chaudières en service :

1° la courbe moyenne des accidents s'écarte peu de l'horizontale ;

2° le nombre des victimes (tués ou blessés) va en diminuant constamment ; de plus, depuis 1883, on ne retrouve plus sur les graphiques correspondants de points hauts, dus à des catastrophes effroyables.

Pour condenser encore les indications de ces graphiques, j'ai pris de ces derniers les points extrêmes qui m'ont donné les comparaisons suivantes :

ANNÉES	NOMBRE		POUR 10.000 CHAUDIÈRES			
	de chaudières	d'explosions	NOMBRE D'ACCIDENTS	NOMBRE DE VICTIMES		
				Tués	Blessés	Total
1873	38.440	26	6.76	6.76	7.02	13.78
1898	87.445	34	3.88	1.82	1.94	3.76

On ne peut que souhaiter que cette proportion d'accidents, et surtout de victimes, aille encore en diminuant.

ÉTUDE SUR LES ACCIDENTS

DE RÉCIPIENTS DE VAPEUR

Jusqu'à présent, il n'a été question que des générateurs de vapeur. Or, à côté de ces derniers, il existe des appareils, formant par leur nombre et les explosions qu'ils ont occasionnées, une catégorie très importante.

J'ai nommé les récipients.

Comme pour les chaudières, j'ai tracé, sur la planche I précitée, des graphiques relatifs au nombre de récipients en service chaque année, ainsi qu'aux accidents ou victimes résultant des explosions de récipients.

De plus, pour mettre mieux en relief l'intérêt qu'il y a à s'occuper de ces appareils, j'ai tracé sur la planche II, annexée également à la présente note, des graphiques comparatifs pour le tracé desquels le nombre de récipients en service chaque année a été supposé égal au nombre de chaudières fonctionnant dans la même année.

L'examen de cette planche montre que la courbe correspondant au nombre d'accidents de récipients se rapproche beaucoup de celle du nombre d'accidents de chaudières et que, pour certaines années, les deux courbes se coupent, ce qui implique alors une proportion plus grande du nombre d'accidents de récipients que de chaudières.

On conçoit, en conséquence, que s'il a toujours paru intéressant de s'attacher aux générateurs de vapeur par suite de la force vive emmagasinée dans ces appareils, il soit tout aussi intéressant de s'attacher aux appareils dans lesquels cette puissance vive est utilisée ou transformée.

Or il n'en a pas toujours été ainsi et le rappel des divers décrets ou ordonnances publiés au sujet de la réglementation en matière d'emploi des appareils à vapeur le montre nettement.

La première réglementation date des ordonnances des 7 mai 1828 et 23 septembre 1829 qui étendent l'obligation des épreuves hydrauliques aux cylindres et aux enveloppes de cylindres des machines.

Quant à l'ordonnance du 22 mai 1843, ainsi que le dit M. Delaunay-Belleville dans son ouvrage sur les *lois et règlements concernant les chaudières à vapeur*, elle ne prévoyait pas d'une manière expresse l'application des règlements aux récipients contenant de la vapeur sous pression, autres que les réservoirs de vapeur attenants aux

chaudières et les cylindres et enveloppes en fonte des machines.

Quelques accidents, survenus à des réservoirs isolés, peu après la mise en vigueur de cette ordonnance, appelèrent l'attention de l'administration sur cette nature d'appareils.

En conséquence, une circulaire du 30 janvier 1845 règle la question dans les termes suivants : « Tous ces appareils, tous les récipients de vapeur, clos ou susceptibles d'être fermés, et mis, soit à demeure, soit temporairement, en communication avec les chaudières, doivent, comme ces chaudières mêmes, être assujettis à la surveillance administrative et au régime des permissions prescrit par l'ordonnance du 22 mai 1843, laquelle comprend les divers appareils à vapeur en général. Il appartient aux préfets, par application de l'article 67 de l'ordonnance, d'imposer dans l'arrêté d'autorisation, après avoir consulté les ingénieurs, les conditions de sûreté qui seront reconnues nécessaires dans chaque espèce. »

La mise à exécution de la circulaire du 30 janvier 1845 donna lieu à quelques incertitudes et d'autres circulaires, en date des 6 janvier et 5 mars 1852, fixèrent avec plus de précision les conditions d'épreuve et les diamètres des soupapes des récipients. L'épreuve ne pouvait qu'exceptionnellement être fixée au double de la pression en marche ; elle devait être en règle générale fixée au triple de la pression maximum, comme pour les chaudières elles-mêmes. Quant au diamètre des soupapes, il devait être habituellement réglé au même chiffre que pour le générateur lui-même, à moins qu'il ne fût bien démontré qu'une partie seulement de la vapeur du générateur pouvait se rendre au récipient, auquel cas le préfet devait décider d'après l'appréciation des ingénieurs.

Ces interprétations de l'ordonnance du 22 mai 1843 furent appliquées jusqu'à ce que le décret du 25 janvier

1865 vint supprimer l'épreuve de tous les récipients et autres pièces analogues et ne la maintenir que pour la chaudière proprement dite.

Plus tard, le décret du 30 avril 1880, actuellement en vigueur, est revenu sur cette modification, en ce qui concerne les récipients, et a réglementé leur emploi en fixant le taux de l'épreuve et en déterminant les appareils de sûreté à leur appliquer.

Nous avons au début de cette étude classé d'une façon générale comme récipients les appareils dans lesquels la force vive de la vapeur était utilisée, ou directement au point de vue de la pression, ou indirectement au point de vue de la transformation de cette pression en chaleur.

Devant la réglementation en vigueur, introduite par le décret du 30 avril 1880, je crois intéressant de préciser les appareils visés par ce décret et dans ce but, de reproduire les articles établissant ce point.

ART. 30. — Sont soumis aux dispositions suivantes les récipients de formes diverses, d'une capacité de plus de 100 litres, au moyen desquels les matières à élaborer sont chauffées, non directement à feu nu, mais par de la vapeur empruntée à un générateur distinct, lorsque leur communication avec l'atmosphère n'est point établie par des moyens excluant toute pression effective nettement appréciable.

Ainsi donc, aux termes de l'article précité, pour qu'un appareil à vapeur soit considéré comme récipient, il faut :

- 1° que sa capacité soit supérieure à 100 litres ;
- 2° qu'il serve à élaborer des matières ;
- 3° qu'il existe normalement à l'intérieur une pression effective nettement appréciable ou que cette pression puisse exister à un moment donné, la libre communication des appareils avec l'atmosphère n'étant point établie pour exclure forcément cette pression effective nettement appréciable.

Les deux premières conditions ne donnent lieu à aucun commentaire.

Toutefois, relativement à la deuxième, je crois intéressant, ainsi que M. Compère, Ingénieur en chef de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, l'a fait ressortir dans ses Instructions sur le décret du 30 avril 1880, de faire remarquer que l'expression *au moyen desquels* et non à *l'intérieur desquels* signifie que les matières à élaborer ne sont pas forcément à l'intérieur des récipients contenant de la vapeur sous une pression appréciable, pour que ces appareils soient soumis aux prescriptions du décret et c'est ainsi que les cylindres sécheurs et les chaudières à double fond sont considérés comme des récipients; toutefois les serpentins, qui rentrent dans cette catégorie d'appareils élaborant extérieurement, ne sont pas considérés comme récipients, à cause de la solidité qui résulte de leur faible diamètre et à un autre point de vue à cause de la faible ouverture possible en cas d'explosion, toujours par suite de ce faible diamètre.

Quant à la troisième condition, si elle peut paraître vague au point de vue du chiffre délimitant la pression appréciable, chiffre que l'administration semble admettre de 1/4 de kilogramme, elle est très nette dans le cas où la communication avec l'atmosphère peut être interceptée d'une façon quelconque, volontairement ou non, ce qui peut entraîner par suite une pression correspondante à celle des chaudières auxquelles les récipients visés empruntent leur vapeur.

A ce sujet, je rappellerai la circulaire ministérielle du 13 novembre 1888 ainsi conçue :

« Monsieur le Préfet, la question s'est posée de savoir si
« les formalités et mesures prescrites par le titre V du décret
« du 30 avril 1880 sont applicables aux récipients destinés
« à chauffer les matières à élaborer au moyen de la
« vapeur, lorsque la communication avec l'atmosphère

« peut être interceptée d'une façon quelconque, notamment
« par le jeu d'un robinet, d'une valve ou d'un tiroir.

« La Commission centrale des machines à vapeur a émis
« l'avis que cette question devait être résolue affirmativement.

« En conséquence, et conformément à cet avis, vous
« voudrez bien inviter MM. les Ingénieurs à veiller, en pareil
« cas, à l'explication des formalités et des mesures prescrites
« par le titre V susvisé. Il conviendra, d'ailleurs, que les
« présentes instructions soient communiquées, par leurs
« soins, aux industriels ainsi qu'aux Associations de proprié-
« taires d'appareils à vapeur.

« Je vous prie d'assurer l'exécution de la présente circu-
« laire, etc. ».

Il y a lieu d'étendre ces prescriptions aux appareils dans lesquels la communication avec l'atmosphère ne peut être interceptée mécaniquement, mais dans lesquels la vapeur emmagasinée peut atteindre une pression notable du fait même des conditions de diamètre, de longueur, de forme, etc., dans lesquelles sont établis les tuyaux d'échappement faisant déboucher ces appareils à l'air libre.

C'est pourquoi l'application du terme « *pression appréciable* » peut donner lieu à de fausses appréciations, si l'appareil n'est pas examiné dans les conditions de fonctionnement pour lesquelles la pression normale existant à l'intérieur peut atteindre un maximum supérieur à la pression au delà de laquelle cet appareil est considéré comme récipent.

(Exemple : Appareils pouvant communiquer à l'air libre au moyen de tuyaux munis de robinets ou de tuyaux libres, mais d'une longueur et d'un diamètre tels que la pression à l'intérieur des appareils soit supérieure à celle d'appareils similaires communiquant avec l'atmosphère au moyen de tuyaux non munis de robinets, de faible longueur et de gros diamètre, excluant toute pression effective, nettement appréciable.)

L'article 30 du décret actuel est complété par l'article 33 ainsi conçu :

ART. 33. — Les dispositions des articles 30, 31 et 32 s'appliquent également aux réservoirs dans lesquels l'eau à haute température est emmagasinée, pour fournir ensuite un dégagement de vapeur ou de chaleur, quel qu'en soit l'usage.

Suivant les commentaires précédemment cités de M. Compère, il ressort que l'article 33 vise principalement les locomotives sans foyer et qu'il vise aussi les réservoirs où l'eau est emmagasinée à haute température et peut fournir un dégagement de vapeur ou de chaleur, même sans le faire effectivement, comme dans le cas des bouteilles alimentaires, des monte-jus, des calorifères à eau chaude.

M. Compère ajoute que les ballons nourriciers, les régulateurs de pression, ne contenant que de la vapeur, ont été considérés comme récipients, mais à tort, car ils ne renferment pas d'eau à haute température, ne servent à élaborer aucune matière et ne rentrent pas par suite dans la catégorie des récipients visés par le titre V.

Toutefois, je crois intéressant d'insister sur cette interprétation et sur celle qui a été parfois donnée et a fait rentrer dans la catégorie des récipients les appareils précédents, eu égard à l'eau qu'ils pouvaient renfermer.

Or, tout d'abord cette eau n'est qu'un inconvénient inévitable de la condensation forcée de la vapeur dans des conduites plus ou moins exposées à l'action refroidissante de l'air ambiant.

Elle ne peut donc être considérée comme destinée à fournir un dégagement prévu de vapeur ou de chaleur, aux termes propres de l'article 33.

De plus, cette eau ne se trouve en général qu'en très faible proportion et peut même ne pas exister lorsque les

conduites ou ballons de vapeur sont munis de purges efficaces.

Dans ce dernier cas, une conduite de grandes dimensions, mais bien purgée, échapperait donc au décret, alors qu'en revanche une conduite de dimensions restreintes, mais contenant un peu d'eau, serait soumise au règlement, bien que moins dangereuse que la première, en cas de rupture.

Il ressort donc que, l'intérêt étant d'avoir dans les conduites le moins d'eau possible et que, même au cas où ces conduites renfermeraient un peu d'eau, leur danger augmentant avec leur section, il y aurait intérêt à classer les conduites comme récipients ou non, non pas suivant qu'elles peuvent renfermer de l'eau ou non, mais suivant le danger pouvant résulter de leurs dimensions et principalement de leur diamètre.

Cette question pourrait toutefois être réservée pour les bouteilles de purge qui, par leur destination même, peuvent renfermer de l'eau de condensation si la purge n'est pas bien assurée.

La conclusion de ce qui précède serait donc la suivante (et conforme à l'esprit même du décret qui ne considère pas les serpentins comme des récipients) : ne considérer comme récipients, en fait de conduites ou de ballons de vapeur, que celles de ces conduites ou ceux de ces ballons dont le diamètre excéderait un certain chiffre.

Enfin, il y a lieu de compléter l'étude précédente en rappelant que la circulaire ministérielle du 21 juillet 1880 précise que les cylindres de machines à vapeur et leurs enveloppes de vapeur ne sont pas considérés comme des récipients.

Comme conclusion de ces préliminaires, il résulte que le décret du 30 avril 1880 a visé, par les articles 30 et 33, une catégorie très complexe et importante d'appareils

donnant lieu chaque année à un nombre d'accidents important; ce qui justifie l'étude présente en ce qui concerne les causes des avaries des récipients, et surtout les moyens d'en éviter le retour ou d'en atténuer les conséquences.

Pour cette étude, j'ai recherché dans le *Journal officiel* les accidents déclarés survenus aux récipients depuis 1873, et j'ai classé ces accidents suivant leur nature même en vue d'établir des catégories distinctes d'avaries et suivant les parties des récipients qui avaient donné naissance aux accidents.

C'est ainsi que j'ai divisé les accidents, suivant qu'ils étaient arrivés ou aux corps mêmes des récipients, ou aux fonds de ces derniers, ou enfin aux attaches fixes ou mobiles des fonds sur les corps.

C'est par ce classement que j'ai pu établir certaines lois qui pourront permettre d'éviter des accidents analogues.

Accidents aux corps de récipients.

J'ai divisé ces accidents suivant la nature du métal composant le corps; les résultats ont été les suivants :

Pour les appareils en cuivre, 28 accidents.

Pour les appareils en fer, 24 accidents.

Pour les appareils en fonte, 8 accidents.

Divers, 2 accidents.

Il aurait été nécessaire, pour faire ressortir l'importance relative de ces chiffres, de mettre en parallèle le nombre total d'appareils en cuivre, en fer et en fonte ayant fonctionné depuis 1873. Ne possédant pas ces chiffres, dont la longue récapitulation n'aurait d'ailleurs pas été en rapport avec l'esprit même de la présente étude, je me suis contenté de prendre les résultats précédents au point de vue de leur valeur absolue et d'en

tirer des conséquences, non dans le but de critiquer la nature même d'un métal, mais pour rechercher si, pour un même métal, il n'existait pas des lois d'accidents dus précisément à des défauts de fabrication ou d'utilisation.

Ces conséquences sont les suivantes :

Appareils en cuivre. — Sur 28 accidents de corps de récipients en cuivre, soit 45 p. 100 du nombre total d'accidents de corps, 19, soit 30 p. 100 de ce même total, sont survenus à des corps soudés par déchirure de la soudure.

Ces accidents sont toujours très graves, car, dans ce cas, la rupture se produit soit sur toute la soudure, soit sur une partie seulement de celle-ci, mais avec prolongement en pleine tôle atteignant les attaches des fonds qui cèdent à leur tour.

D'ailleurs, dans tous les accidents relatés, les soudures laissaient en général à désirer, comme application même ou comme entretien, et c'est ainsi que plusieurs accidents se sont produits ou après des fuites répétées qui auraient dû avertir du danger pouvant résulter de la continuation de l'emploi de l'appareil, ou après des réparations, plus ou moins bien faites, motivées par ces fuites.

Je dois ajouter que ces réparations étaient toujours d'une efficacité incertaine, car on en retrouve plusieurs qui ont été faites après que l'on avait cependant constaté une usure importante du métal, et c'est ainsi que pour obvier à cette diminution d'épaisseur, on retrouve des réparations qui ont consisté soit dans la pose de pièces appliques soudées, soit dans de nouvelles soudures plus épaisses, soit dans des placages intérieurs d'étain pour raidir la feuille de cuivre à l'endroit affaibli de la soudure.

Il ressort donc que l'emploi de la soudure est à restreindre le plus possible dans les récipients, cet assem-

blage étant plutôt chimique et sa solidité dépendant essentiellement de l'ouvrier qui le pratique.

De plus, le défaut de solidité qui en résulte se trouve encore accentué par la faible épaisseur du métal pour lequel la soudure est pratiquement employée, en sorte qu'en cas d'usure de ce métal, il se produit à l'endroit de la soudure une zone de faible résistance entraînant la déchirure de l'assemblage.

Cette usure peut d'ailleurs atteindre un caractère dangereux et celui-ci échapper cependant à l'examen que l'on aurait pu faire des parties ayant été l'origine des accidents; c'est ainsi que plusieurs ruptures d'appareils en cuivre, le long de la soudure, se sont produites peu de temps après l'épreuve hydraulique officielle faite de ces appareils, soit décennalement, soit après une réparation ayant entraîné le renouvellement de l'épreuve.

Il semble donc intéressant de réduire le plus possible l'emploi de la soudure, surtout quand les appareils sont de grand diamètre, de vérifier fréquemment l'état de cette soudure et d'y porter surtout la plus grande attention lorsque des fuites se manifestent.

Enfin, il serait bon d'en réduire la fatigue en mettant des cercles intérieurs de renfort ou des reniflards, de façon à combattre le vide qui pourrait se former à l'intérieur à un arrêt, et atténuer ou supprimer ainsi l'action d'efforts venant alternativement de l'intérieur ou de l'extérieur.

Toutefois, dans l'emploi de ces cercles de renfort, il y a lieu d'en assurer le portage parfait, de façon qu'au cas où les récipients, à l'intérieur desquels ils sont montés, sont rotatifs, il ne se produise des chocs pouvant amener la détérioration de la soudure plus rapidement que s'ils n'existaient pas, ainsi que cela s'est produit pour un des accidents relatés dans le *Journal officiel*.

Au sujet des accidents survenus pour les récipients en

cuivre, autres que des avaries par suite de défauts de soudure, je rappellerai une construction critiquable par le fait même qu'elle a entraîné un certain nombre d'accidents.

Cette construction consiste à fermer le récipient en cuivre au moyen d'un fond en fer ou en fonte, sur lequel les extrémités de la virole cylindrique sont rabattues pour former l'assemblage, lequel est renforcé au moyen d'un anneau intérieur en fer.

Ce rabattement du cuivre crée un angle vif dans lequel les cassures, causes des accidents, ont pris naissance.

La présence des tirants réunissant les fonds n'a d'ailleurs pas exclu ce genre d'accidents.

C'est peut-être pour éviter cet inconvénient que l'on retrouve une construction dans laquelle les fonds sont intérieurs à la virole à laquelle ils sont assemblés soit par des goujons, soit par des frettes extérieures.

Cependant cette construction a également donné lieu à un certain nombre d'accidents, et nous aurons occasion d'y revenir au sujet des accidents de fonds de récipients.

Quant aux autres accidents survenus en pleine tôle à des appareils en cuivre, il sont dus ou à un défaut initial d'épaisseur, ou à un amincissement par suite de corrosions intérieures ou extérieures, dont l'influence est d'autant plus considérable que l'épaisseur du cuivre composant le corps de l'appareil est toujours relativement faible.

L'action de ce défaut initial d'épaisseur ou de cette usure peut se trouver augmentée également par des excès de pression.

Appareils en fer. — De même que sur les 28 accidents survenus aux appareils en cuivre, un certain nombre peuvent rentrer dans une même catégorie, de même, sur les 24 accidents de corps de récipients en fer, un certain nombre peuvent être classés dans un même groupe pour

lequel les déchirures ont pris leur origine dans des cassures préexistantes, suivant les angles des cadres des portes de chargements ménagées sur ces appareils, soit par suite de défaut d'épaisseur de ces cadres, soit par suite du mouvement répété des portes.

Dans le cas de portes de chargement, en effet, l'action de la pression intérieure sur les portes se transmet aux corps des récipients par l'intermédiaire des cadres et des attaches qui ont ainsi à supporter un effort d'autant plus considérable que la section des portes est plus grande.

Par suite de cet effort généralement très élevé, du mouvement répété des portes et surtout des angles vifs des cadres pour lesquels les accidents précités ont été groupés, on conçoit qu'il y ait tendance à se former dans ces angles des cassures qui peuvent être amorcées lors de la fabrication, surtout quand les cadres sont en fonte et que des criques peuvent se former par le retrait même du métal.

Ces cassures, qui ne peuvent aller qu'en augmentant, entraînent une diminution de résistance des cadres qui deviennent ainsi des armatures moins robustes pour les corps mêmes de récipients; ceux-ci peuvent alors se déchirer par défaut de solidité.

Cette déchirure se produit d'ailleurs brusquement, car on peut remarquer que dans ce genre d'accidents, les cassures dans les corps mêmes des récipients sont fraîches, alors que celles ayant pris naissance dans les angles des cadres des portes de chargement ont un aspect ancien.

Il y a donc lieu d'attirer l'attention sur les avaries ayant leur origine dans ces cadres, soit en donnant à ces derniers une section largement suffisante pour les efforts répétés qu'ils auront à supporter, soit en supprimant les angles vifs, soit enfin en s'assurant par des visites répétées qu'il n'existe pas dans les angles vifs ou arrondis des cadres des amorces ou commencements de cassures pou-

vant être vus directement ou ayant donné lieu à de légères fuites.

Quant aux autres accidents survenus aux corps de récipients en fer, ils sont dus ou au métal même ou à des usures que l'on aurait pu éviter ou reconnaître par un meilleur entretien ou une surveillance plus active, ou enfin par des excès de pression qui sont venus s'ajouter aux défauts du métal ou à l'usure.

Appareils en fonte. — Pour les accidents de corps de récipients en fonte, il en est de même que pour les appareils en fer ou en cuivre, et c'est ainsi que, sur 8 accidents, 4 rentrent dans une même catégorie concernant les récipients dans lesquels la paroi cylindrique porte à chaque extrémité une nervure circulaire venue de fonte et servant à la fixation des fonds.

Par suite du retrait, lors de la fabrication, il peut se produire, dans l'angle formé par ces nervures avec la paroi cylindrique, des cassures qui ne peuvent aller qu'en s'augmentant par suite des arrêts et des remises en route des appareils, et surtout par l'inégalité de température résultant de ce qu'une partie seulement des appareils peut être refroidie par les matières élaborées à l'extérieur, ces matières ne recouvrant pas l'appareil sur toute sa longueur.

D'ailleurs, devant ces accidents répétés, l'Administration s'est émue, et je rappelle à cet effet la circulaire ministérielle du 1^{er} septembre 1896, ainsi conçue :

« Monsieur le Préfet, 3 grands cylindres sécheurs en fonte
« de 2^m50 de diamètre, provenant de chez le même cons-
« tructeur et présentant des dispositions similaires, ont fait
« explosion dans des fabriques de papier le 28 septembre 1893,
« à Bousbecque (Nord), le 16 janvier 1895, à Cugaud (Vendée)
« et le 7 avril 1896 à Conty (Somme). Ces accidents paraissent
« devoir être principalement rapportés à la construction

« défectueuse des appareils, eu égard à leurs conditions de
« service. D'autre part, la forme des cylindres à leurs extré-
« mités n'avait pas été établie de manière à prévenir les
« inconvénients du retrait de la fonte lors de la coulée des
« pièces. Enfin, en raison des dimensions considérables des
« appareils, les dilatations inégales des différentes parties et
« les efforts de flexion tendaient à faire céder la paroi cylin-
« drique suivant un cercle immédiatement en arrière de
« chacune des brides d'attache des fonds. Ce sont des rup-
« tures circulaires, ainsi placées, qui ont caractérisé chacun
« des accidents dont il s'agit.

« Je vous prie de vouloir bien inviter monsieur l'Ingénieur
« en chef des Mines chargé de la surveillance des appareils
« à vapeur de votre département à appeler sur ce fait
« l'attention des fabricants de papier qui feraient usage de
« tambours sécheurs analogues. »

J'adresse directement ampliation de la présente circulaire
à MM. les Ingénieurs des Mines.

Recevez, etc.

Devant cette circulaire, il y a donc lieu de porter une
grande attention sur le mode de construction dont il
vient d'être question.

Quant aux autres accidents survenus aux corps des
récipients en fonte, ils sont dus, comme pour les appareils
en cuivre et en fer, à des défauts de métal ou à des usures
intérieures ou extérieures.

Accidents aux fonds de récipients.

L'étude de ces accidents est très intéressante, puisque
ces derniers représentent 63 p. 100 du nombre total
d'accidents survenus aux récipients et relatés dans le
Journal officiel.

Quant à leur classification, elle est plus complexe que
pour les corps, étant donné qu'il peut s'agir de fonds fixés

à demeure sur les récipients ou de fonds à fermeture amovible remplissant l'office de portes de chargement et sujets, par suite, à être fréquemment ouverts et fermés.

De plus, les accidents relatifs aux fonds peuvent, dans les deux cas, se produire, ou sur les fonds mêmes, ou par rupture de leurs attaches, ou enfin par séparation des fonds des corps, les attaches restant en place. Enfin, il existe une dernière catégorie d'accidents qui est relative aux projections de portes de chargement et que, par suite de la destination même, j'ai classée avec les fonds.

C'est dans cet ordre d'idées que j'ai divisé les accidents relatifs aux fonds de récipients.

Projection de fonds fixes	{	par rupture même des fonds.....	21)	} 63
		en échappant (Attaches par rivures..	14)	
		aux attaches. (Attaches par cornières.	5)	
		par rupture (Ruptures de cornières.	7)	} 23
		des attaches. (Ruptures d'attaches diverses (boulons, vis).	16)	
Projection de fonds mobiles	{	par rupture même de fonds.....	9)	} 30
		en échappant aux attaches.....	16)	
		par rupture d'attaches (boulons, serre-joints, etc.).	5)	

DIVERS

Projection de portes	{	par rupture même des portes.....	2)	} 14
		par serrage défectueux.....	6)	
		par rupture d'attaches.....	6)	

Ruptures des fonds. — Les ruptures mêmes des fonds, qu'ils soient fixes ou mobiles, peuvent être attribuées, ou à des défauts de métal, comme dans les fonds en fonte, ou à des défauts de résistance par suite de l'épaisseur et de la forme, ou enfin, et les accidents rentrant dans cette catégorie sont très répandus, à des criques prenant naissance dans certaines parties des fonds.

C'est ainsi que pour les fonds fixes, ces criques se

manifestent dans les congés des emboutis par suite des mouvements de soufflets répétés des fonds.

Ces criques vont en augmentant d'importance et un examen régulier des fonds permettrait certainement de reconnaître ces criques, dues généralement à un rayon trop faible du congé de raccordement entre les fonds et leurs bords rabattus ou à l'emboutissage même.

Dans les fonds mobiles, armaturés à leur périphérie, la cassure se produit souvent à la jonction de la partie bombée et du renforcement du bord plat, et cette rupture peut être très brusque. Pour diminuer les chances de rupture, je ne crois pouvoir mieux faire que de reproduire ici un extrait de l'importante étude de MM. Polonceau et Walckenaer relative à l'emploi des boulons à charnière pour maintenir les obturateurs amovibles de certains récipients de vapeur.

Il est dit dans cette étude que pour éviter la rupture des fonds « il convient d'abord de proscrire l'emploi de la fonte. Si l'on a à cercler un couvercle à sa périphérie, ou à l'armaturer d'une façon quelconque, il faut que le cercle ou les armatures soient en fer ou en acier, avec les formes et les dispositions nécessaires pour ne pas imposer au métal d'efforts anormaux, même sous l'action des serrages les plus énergiques des attaches. La tôle du couvercle, de son côté, doit être une tôle en fer ou en acier doux, d'une qualité supérieure, ductile en même temps que résistante.

« La solidité du couvercle doit être telle que, non seulement on n'ait pas à craindre sa rupture, mais qu'il ne se déforme pas. Cette expression, naturellement, ne peut pas être rigoureuse. Il y aura nécessairement, sous l'action des serrages du joint et des variations de la pression intérieure des déformations élastiques ; mais il faut que la pièce ait toute la rigidité pratiquement réalisable, non seulement pour éviter la fatigue du métal qui résulterait

directement des mouvements de soufflet ou autres flexions, mais parce que des déformations un tant soit peu notables amèneraient des fuites au joint et les ouvriers seraient inévitablement conduits à des serrages exagérés exposant les pièces à des fissurations et à des ruptures.

« Il faut donc que le couvercle soit extrêmement rigide et, à cet effet, il doit être formé d'une tôle épaisse, emboutie suivant un profil méridien qui lui assure une forme très stable, quelles que soient les variations de pression à prévoir et les actions exercées sur le contour. Si cette stabilité n'était pas suffisante par elle-même, il faudrait la compléter par l'addition d'armatures judicieusement disposées.

« Mais la question des armatures est toujours très délicate et le mieux est de se passer de leur secours ou, tout au moins, de n'y chercher qu'un supplément surabondant de garantie. C'est pourquoi il convient décidément de renoncer à la forme de couvercle dont la tôle, bombée dans la partie centrale, reste plane à son pourtour. Cette forme n'est pas stable par elle-même ; elle ne peut aller sans une armature périphérique et cette armature travaille dans de mauvaises conditions, subissant des efforts de flexion et tendant à se déverser sous l'action des serrages d'écrou et de la pression de la vapeur. La tôle elle-même présente, à la jonction de la partie bombée et du bord plat, une inflexion qui crée une zone de fatigue.

« D'une manière générale, tout profil méridien qui vient rencontrer sous un angle les génératrices de la cuve cylindrique ne donne pas une forme aussi stable qu'il convient, parce que les accroissements de la pression tendent à ouvrir cet angle.

« La tôle qui constitue le couvercle doit, par conséquent, être emboutie suivant un profil fortement bombé dans son ensemble, à courbure, sinon uniforme, du moins très progressive, et venant se terminer à sa périphérie suivant un

cylindre dont les génératrices soient parallèles à l'axe du récipient.

« Cette amorce de cylindre, qui devra être de hauteur suffisante pour assurer complètement la rigidité du pourtour, formera le prolongement du cylindre même de la cuve, à une minime différence près. »

MM. Polonceau et Walckenaer insistent de plus sur la nécessité de donner de grands rayons de courbures aux raccordements de la partie centrale avec l'amorce de la partie cylindrique pour éviter les chances de criques lors de l'embouissage ou par des mouvements de soufflet pouvant produire de fines amorces de cassures.

Cette étude, tout en visant spécialement les fonds amovibles de récipients, n'en reste pas moins très intéressante en ce qui concerne les fonds fixes, tant au point de vue du métal dont sont composés ces fonds que de la forme que doivent affecter ces derniers, en assurant leur solidité par eux-mêmes ou par des renforcements.

Dans tous les cas, on peut affirmer que si des règles précises de construction n'assurent pas toujours aux fonds fixes ou mobiles de récipients la résistance voulue, ce défaut de résistance, au cas où ces règles ne seraient pas appliquées, se manifesterait sûrement par des criques ou des amorces de cassures que des examens sérieux et réguliers des appareils révéleraient.

Projections de fonds fixes. — Ayant ainsi parlé des accidents inhérents aux ruptures mêmes des fonds, représentant la proportion importante de 27 p. 100 du nombre d'accidents survenus de façons diverses aux fonds de récipients, il me reste à revenir, suivant le tableau présenté précédemment, sur les accidents causés par les projections de fonds, suivant que ceux-ci échappent à leurs attaches ou suivant que ces dernières ont donné lieu à des ruptures ayant occasionné le départ des fonds.

En ce qui concerne les fonds fixes, ceux-ci peuvent

être attachés aux corps cylindriques, ou directement par rivures, ou par l'intermédiaire de cornières rivées sur les fonds et sur les corps.

Ils peuvent également être fixés au moyen d'attaches diverses (boulons, vis, etc.), mais dans ce cas, en ce qui concerne les accidents, ce sont presque toujours les attaches mêmes qui cèdent, soit par défaut naturel de résistance, soit par excès de tension causé par l'imprudence souvent excusable des ouvriers chargés de conduire les appareils.

Le premier cas représente les fixations ordinaires de fonds dans les chaudières et les accidents résultant de cette fixation ne peuvent être attribués qu'à un défaut de construction.

Le deuxième cas est plus complexe, étant donné que l'assemblage des fonds se fait sur les corps au moyen d'une pièce annexe dont une des rivures peut être plus ou moins assurée.

Les accidents résultants sont toutefois dus souvent aussi à un défaut de construction.

Relativement à la rupture des attaches dans les fonds fixes, il y a lieu de faire ressortir une catégorie d'accidents très nette due aux ruptures mêmes des cornières dont nous avons parlé plus haut et servant à fixer les fonds sur les corps de récipients.

Cette catégorie est caractérisée par la rupture des cornières d'attache dans leur angle intérieur par suite de l'influence des mouvements de soufflet que nous avons fait ressortir pour les fonds mêmes et qui peut s'appliquer précisément ici pour les cornières sur lesquelles on compte pour assurer la fixation et quelquefois l'élasticité des fonds.

De plus, il est important également de critiquer un mode d'attache spécial consistant à maintenir l'enveloppe cylindrique sur les fonds au moyen de deux frettes posées à chaud.

Ce mode de fixation souvent complété par l'emploi de vis ou par des rainures pratiquées dans la bride du fond et sur la frette extérieure s'applique surtout pour les corps de récipients en cuivre à l'extrémité desquels on pratique un rebattement ou un matage, mais tous ces procédés ne sont que des moyens termes qui ne peuvent assurer d'une façon irréprochable la fixation des fonds, très critiquable et à proscrire d'une façon absolue.

Quant aux autres ruptures d'attaches, elles consistent dans l'arrachement des organes de fixation (boulons, vis, etc.) et ne peuvent être évitées qu'en assurant à ces organes une action effective par leurs dimensions, leur nombre, etc., eu égard à la fatigue exagérée qu'ils peuvent avoir à subir de la part des ouvriers conduisant les récipients ou en en suivant l'usure possible résultant de cette fatigue.

Projections de fonds mobiles. — En ce qui concerne les fonds mobiles, nous avons parlé, relativement aux fonds fixes, des projections pouvant résulter de la rupture même des fonds.

Comme pour les fonds fixes, nous distinguerons, en outre, les projections résultant de la séparation des fonds des attaches et de la rupture même de ces attaches.

Pour la première classe d'accidents, ma tâche est très facile, car la question a été traitée complètement dans l'étude précédemment citée de MM. Polonceau et Walckenaer.

Cette étude qui caractérise la catégorie d'accidents dont je veux parler est relative à l'emploi des boulons à charnières pour maintenir les obturateurs amovibles des récipients de vapeur.

Ces accidents sont toujours dus au glissement des écrous des boulons à charnières dont le rôle est d'assurer l'étanchéité du couvercle mobile sur le récipient même. Par suite de ce glissement, le couvercle peut échapper en partie

à l'action du serrage et si sa résistance n'est pas suffisante, il se déforme en échappant complètement aux boulons.

Le but de l'étude de MM. Polonceau et Walckenaer a été non seulement de remédier à cette déformation des couvercles en indiquant comme règles recommandables de construction celles que nous avons eu l'avantage de citer plus haut, relativement à la rupture même des fonds, mais surtout d'empêcher l'échappement des boulons d'attache, en conseillant de loger les écrous de ces boulons dans des encoches ménagées dans le couvercle même, de façon que ces boulons ne puissent tourner autour de leurs charnières qu'après un desserrage tel de leur écrou que ce desserrage se manifeste certainement par des fuites qui attireraient l'attention de l'ouvrier chargé de la conduite de l'appareil.

Cette étude est également complétée par le conseil donné aux constructeurs de disposer les oreilles de telle façon que les conducteurs des récipients n'aient pas la tendance, ni la possibilité, pour assurer l'étanchéité des joints, d'agir sur les oreilles de chaque écrou de serrage, soit au moyen de tubes coiffant les oreilles, soit au moyen de barres passées entre ces oreilles, ces tubes ou ces barres permettant de disposer d'un bras de levier dépendant de leur longueur.

Je ne puis d'ailleurs, à ce sujet, que conseiller la lecture complète de l'étude dont je viens de parler.

En ce qui concerne les ruptures d'attaches, elles sont relatives, comme pour les fonds fixes, à leur usure ou à leur arrachement (boulons, vis, serre-joints, etc.), par suite de leur insuffisance, de leur section, etc.

Il s'agit donc, dans les deux cas, d'un défaut de conception ou d'entretien, se manifestant généralement par des fuites répétées que l'on ne peut étancher difficilement que par des serrages anormaux précipitant les

accidents que les défauts d'attache devaient forcément entraîner.

Projections de portes. — Il me reste à parler des projections de portes.

Ces accidents ne représentent que 12 0/0 du total des accidents relatifs aux fonds mobiles ; mais si cette proportion paraît faible, c'est qu'elle tient principalement à ce que les portes de chargement ménagées sur les corps des récipients ont des dimensions beaucoup plus restreintes que les fonds destinés à ce même office.

Toutefois, malgré cette faible proportion d'accidents, il y a lieu de faire ressortir que la moitié de ces accidents sont dus à des négligences d'ouvriers ayant insuffisamment serré les attaches des portes, ou à des négligences, pour des besoins de service, ayant à tort primé la sécurité des conducteurs des récipients.

Quant aux autres accidents causés par les portes, ils sont relatifs aux ruptures d'attaches et restent peu nombreux par suite de la dimension de ces portes et de l'effort, généralement faible, que ces attaches ont à supporter.

Comme toute étude n'est intéressante que par les améliorations auxquelles elle peut conduire, je me résumerai en disant que la classification ci-dessus permet de formuler des règles pour la construction générale des récipients, non au point de vue de la construction proprement dite, qui dépend essentiellement de l'ouvrier qui en est chargé, mais au point de vue de la conception des appareils en tant que forme, modes d'assemblages, etc.

L'observation de ces règles a pu être négligée, parce qu'il s'agissait d'appareils marchant généralement à basse pression, alors qu'il y a lieu de tenir compte :

1° Que ces appareils sont soumis à des efforts inverses très répétés par suite de la destination même des réci-

pients qui se refroidissent plus ou moins brusquement lors de leur ouverture à la fin d'une opération, et sont soumis à l'action de la vapeur, lors du commencement de celle-ci ;

2° Que l'on peut traiter dans ces appareils des matières plus ou moins corrosives attaquant le métal qui les compose.

De plus, en dehors de ces actions inhérentes au fonctionnement même des appareils ou à la nature des matières à élaborer, il y a lieu de tenir compte de l'effort pouvant résulter de la charge contenue dans ces appareils et quand les matières à élaborer sont à l'extérieur, des contractions nuisibles provenant du passage sur ces appareils des matières froides à traiter.

Dans ces conditions, j'estime qu'il est nécessaire d'exiger pour les récipients de vapeur, quelle que soit leur destination, celle-ci pouvant d'ailleurs être changée, d'une façon très notable suivant les besoins des industriels, une construction conforme aux règles de l'art et de la mécanique, en tenant compte des dangers résultant des divers assemblages ayant occasionné les accidents que nous avons classés précédemment.

Réglementation des récipients.

En dehors de la construction, il y a lieu d'examiner si la stricte observation des règlements aurait permis d'éviter les accidents.

A ce point de vue, je dois rappeler que les récipients sont, conformément au décret du 30 avril 1880, soumis aux articles suivants :

ART. 31. — Les récipients sont assujettis à la déclaration prescrite par les articles 12 et 13.

Ils sont soumis à l'épreuve, conformément aux articles 2, 3, 4 et 5. Toutefois, la surcharge d'épreuve sera, dans tous les cas, égale à la moitié de la pression maximum, à laquelle l'appareil doit fonctionner, sans que cette surcharge puisse excéder 4 kilogrammes par centimètre carré.

A ce sujet, l'examen du *Journal officiel* montre que 23 des appareils sur 177 ayant donné lieu à des accidents, soit 13 0/0, n'étaient pas éprouvés ou avaient été employés sans nouvelle épreuve pour fonctionner à une pression supérieure, à celle à laquelle ils étaient destinés à marcher.

De plus, nous avons relevé 8 appareils non déclarés et 3 non réévalués.

Mais il convient de faire remarquer que nos relevés ont été faits depuis 1873, époque à laquelle les récipients n'étaient pas réglementés et que, de ce fait, la proportion des récipients ne répondant pas à l'article 31 du décret mis postérieurement en vigueur, s'est trouvée ainsi très notablement augmentée.

Dans tous les cas, il s'agit d'une question administrative très importante sur laquelle nous ne saurions trop appeler l'attention des industriels et relative non seulement à l'épreuve lors de la construction, mais encore aux renouvellements de cette épreuve, soit à l'expiration de la période décennale, soit par suite de réparation notable, de chômage prolongé ou de suspicion de l'appareil par le Service des Mines.

Je crois intéressant, à ce sujet, de rappeler que, comme les chaudières, les récipients de vapeur participent aux avantages que les règlements accordent à ceux de ces récipients qui sont soumis au contrôle des Associations d'appareils à vapeur.

ART. 32. — Les récipients sont munis d'une soupape de sûreté réglée pour la pression indiquée par le timbre, à moins

que cette pression ne soit égale ou supérieure à celle fixée pour la chaudière alimentaire.

L'orifice de cette soupape, convenablement déchargée ou soulevée au besoin, doit suffire à maintenir, pour tous les cas, la vapeur dans le récipient à un degré de pression qui n'excède pas la limite du timbre.

Elle peut être placée, soit sur le récipient lui-même, soit sur le tuyau d'arrivée de vapeur, entre le robinet et le récipient.

En considérant les accidents survenus par excès manifeste de pression, on remarque que ces accidents sont au nombre de 41, soit une proportion de 23 0/0, ces accidents étant dus, ou à l'absence de soupapes, ou à la surcharge, à l'obstruction, à l'isolement de ces dernières.

Étant donné que les récipients sont souvent conduits par des ouvriers ignorant les dangers résultant de l'emploi de la vapeur, et pouvant inconsciemment surcharger la soupape des appareils, étant donné de plus que le fonctionnement de ces soupapes peut être paralysé par la projection des matières traitées, nous ne saurions trop attirer l'attention des industriels sur l'augmentation de sécurité due au bon fonctionnement des soupapes.

Étant donné enfin la paralysie possible de ces dernières, il me semble qu'il y aurait intérêt, non seulement à satisfaire à l'article 32 du décret du 30 avril 1880, en mettant sur chaque récipient une soupape convenablement disposée, mais en en mettant deux, de façon que l'une d'elles puisse non seulement fonctionner efficacement, mais encore accuser le non fonctionnement possible de l'autre.

L'emploi de la soupape réglementaire est en effet souvent subordonné à celui de détendeurs dont le fonctionnement peut laisser à désirer et sur lesquels se base l'ouvrier chargé de la conduite du récipient.

Il est quelquefois subordonné également à l'emploi de manomètres pour lesquels la prise de vapeur est sujette à s'obstruer rapidement par suite de la nature des produits traités.

Devant ces indications multiples, relâchant l'attention des ouvriers conducteurs des appareils, tout en donnant comme contre-partie, aux industriels, une sécurité souvent illusoire, les ouvriers en question peuvent avoir tendance à caler la soupape des appareils qu'ils conduisent pour éviter d'attirer l'attention; ils peuvent, de plus, avoir naturellement cette tendance pour éviter des fuites dues au fonctionnement défectueux de la soupape des appareils, par suite des projections des matières traitées.

Nous nous demandons alors s'il n'y aurait pas un intérêt majeur à augmenter la garantie offerte par la soupape de sûreté en plaçant deux soupapes par récipient, tout en conservant les appareils annexes considérés, trop à tort, par les industriels, comme appareils de sécurité.

Je signale à ce sujet les extraits suivants faits dans les règlements étrangers.

A Barcelone, les récipients sont munis, comme les chaudières, de deux soupapes de sûreté, chargées chacune d'un poids faisant équilibre à la tension maximum de la vapeur.

De plus, à Barcelone, l'une des soupapes de chaque récipient est, comme dans le cas des générateurs, enfermée de manière qu'elle ne puisse être surchargée, la partie supérieure de l'enveloppe devant être formée d'une toile métallique résistante capable de donner facilement issue à la vapeur.

A titre complémentaire, je signalerai que dans le canton de Bâle-Ville, un manomètre est obligatoire sur chaque récipient de plus de deux mètres cubes de capacité.

Un manomètre est également exigé, en Belgique, quand il s'agit d'un récipient réglementé, timbré à une pression

inférieure à celle de la chaudière qui leur fournit la vapeur.

En dehors de ces divers articles s'appliquant spécialement aux récipients, il en existe un autre très important, applicable aussi bien aux récipients qu'aux générateurs.

Cet article est relatif aux visites des appareils à vapeur et aux réparations notables apportées à ces derniers.

Il convient de dire de suite que certains récipients, par suite de leur forme et surtout de leur destination, ne se prêtent pas fructueusement à la visite intérieure; c'est ce qui peut expliquer en partie le faible nombre de récipients inscrits sur les contrôles des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur. Mais la principale raison du défaut de visites doit être attribuée à la négligence apportée, à tort, dans l'emploi des récipients.

Dans tous les cas, l'absence de visites intérieures régulières des récipients constitue une infraction à l'article dont je parlais plus haut et qui est l'article 36 ainsi conçu :

ART. 36. — Ceux qui font usage de générateurs ou de récipients de vapeur veilleront à ce que ces appareils soient entretenus constamment en bon état de service.

A cet effet, ils tiendront la main à ce que des visites complètes, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, soient faites à des intervalles rapprochés pour constater l'état des appareils et assurer l'exécution, en temps utile, des réparations ou remplacements nécessaires.

Ils devront informer les Ingénieurs des réparations notables faites aux chaudières et aux récipients en vue de l'exécution des articles 3 (1°, 2°, 3°) et 31, § 2.

Au sujet de cet article, il est très intéressant de faire ressortir le nombre d'accidents qui auraient pu être évités par des visites régulières des récipients ayant donné lieu à des accidents.

C'est ainsi que sur 177 accidents officiels survenus depuis 1873 aux récipients, 58 (soit 33 p. 100) sont dus à

des causes que des visites auraient révélées ; ils se répartissent d'ailleurs ainsi :

20 par anciennes cassures ;
20 par corrosions ;
18 par usure.

De ces chiffres ressort donc l'intérêt de la visite intérieure, en ayant comme objectif, dans cette visite, soit les corrosions ou usures possibles des récipients par l'action corrosive et le mouvement des matières traitées, soit les fuites et les cassures à craindre dans les parties de récipients signalées au cours de cette étude.

Si l'on ajoute aux résultats donnés par ces visites ceux qui seraient dus à une construction rationnelle des appareils, on voit que l'on pourrait réduire dans une très forte proportion les accidents de récipients que l'on a malheureusement à déplorer tous les ans.

Enfin, en dehors des conséquences directes résultant des accidents de récipients, nous avons recherché si ces accidents n'avaient pas eu des conséquences indirectes en entraînant des projections à distance des parties de l'appareil rompu et occasionnant par cela même ou pouvant occasionner des accidents graves dans des endroits éloignés des points où l'accident même s'était produit.

Il ressort des recherches que nous avons faites que sur 177 accidents :

18 ont produit des dégâts matériels considérables ;
16 — des dégâts matériels importants ;
30 — des dégâts matériels peu importants.

La proportion d'accidents ayant entraîné des dégâts importants ou considérables représente donc 20 p. 100 du nombre total d'accidents.

Cette proportion est élevée, surtout si l'on considère que dans ce cas rentrent des accidents accompagnés

de projections d'appareils en tout ou en partie à des distances atteignant jusqu'à 100 mètres.

De plus, nous avons classé les accidents ayant entraîné des débris de toiture ou des avaries dans les étages supérieurs et nous avons relevé dans ce cas 26 accidents soit une proportion de 15 p. 100 du nombre total d'accidents.

Il ressort donc de ces chiffres que les dégâts produits par les explosions de récipients sont souvent considérables ; cependant ces récipients ou ne contiennent pas d'eau ou en contiennent beaucoup moins que les générateurs de vapeur.

Or, les explosions relatives à ces derniers ont des conséquences d'autant moins graves qu'elles résultent de manque d'eau.

Comme les explosions de récipients sont assimilables aux avaries de chaudières par manque d'eau général ou partiel, puisque ces récipients ne renferment souvent pas d'eau ou en renferment relativement peu, il en résulte qu'il faut rechercher la violence des explosions de récipients et leurs conséquences souvent très graves dans la grande section d'ouverture occasionnant l'accident.

En effet, il y a lieu de remarquer que les explosions les plus graves sont dues à des ruptures de fonds et comme ces fonds sont presque toujours d'un diamètre très grand, il en résulte que l'arrachement ou la projection de ces fonds entraîne une section de rupture importante et par suite le reste de l'appareil se trouve soumis à un recul considérable, qui augmente encore quand la pression de marche est élevée et que l'appareil contient de l'eau.

Devant la fréquence des dégâts matériels importants causés par les récipients et inhérents à ces appareils par suite de la très grande section d'ouverture qu'occasionnent généralement les explosions, on peut se demander s'il n'y aurait pas lieu de chercher à réduire ces conséquences graves en prenant pour les récipients des mesures analo-

gues à celles indiquées pour les générateurs à vapeur en ce qui concerne les catégories et les conditions d'emplacement prévues par les articles 14, 15, 16, 17 et 18 du décret du 30 avril 1880.

Bien entendu, les produits caractéristiques délimitant les catégories pourraient, pour les récipients, être différents de ceux relatifs aux chaudières et il y aurait même lieu qu'il en fût ainsi.

En effet, les plus grands produits caractéristiques que nous avons pu relever pour les récipients ayant donné lieu à des explosions sont en général de très peu supérieurs au chiffre limite 200 et sont par conséquent beaucoup plus faibles que les produits caractéristiques des chaudières, même de dimensions restreintes, exception faite bien entendu pour les chaudières multitubulaires.

Beaucoup de récipients ayant donné lieu à des explosions dont les conséquences ont été graves, au point de vue des dégâts matériels et des projections à distance, auraient donc été classés en deuxième catégorie seulement, en adoptant pour les catégories celles des chaudières, et auraient pu être par suite placés dans tout atelier surmonté d'étages, et à un mètre seulement des maisons d'habitation.

L'idée même de réglementer les récipients, en tant que conditions d'emplacement, ne serait donc logique qu'en prenant pour bases des catégories des produits caractéristiques limites plus faibles que pour les chaudières.

Relativement à l'intérêt qu'il pourrait y avoir à prendre des mesures en ce qui concerne l'emplacement des récipients, il y a lieu de faire ressortir, de plus, que ces récipients sont, contrairement à ce qui se produit pour les chaudières, généralement placés dans des ateliers où sont réunies beaucoup de personnes, ce qui favorise l'augmentation du nombre des victimes.

Au sujet des conditions d'emplacement, je rappellerai

que les récipients sont réglementés dans le canton de Bâle-Ville par le paragraphe 22 du règlement du 20 mars 1880 :

« Tous les récipients visés par ce règlement doivent être installés de telle manière qu'il soit facile de circuler tout autour pour en rendre la surveillance plus active.

« Les récipients, de plus de 5 mètres cubes de capacité et de plus de 5 atmosphères de pression, et même les récipients plus petits et qui fonctionnent à une pression plus élevée que cette dernière, ne peuvent être installés à l'intérieur ou au-dessous de locaux dans lesquels des personnes séjournent habituellement, ou qui sont pourvus de toitures résistantes. Les récipients qui viennent d'être désignés doivent être éloignés d'au moins 3 mètres des propriétés ou des rues voisines. »

En résumé, le nombre d'accidents de récipients que l'on a à déplorer chaque année est très important et, pour le diminuer dans la mesure du possible, il y a lieu de tenir compte dans leur construction de considérations diverses déterminant la forme, les assemblages convenant le mieux, eu égard à la destination spéciale de chaque appareil.

De plus, il y a lieu de rappeler la nécessité d'observer les règlements de la façon la plus stricte, principalement dans l'emploi des appareils de sûreté.

Comme en dehors des accidents inhérents à la construction même, une grande partie sont dus à des détériorations forcées, s'augmentant par l'usage, nous croyons devoir insister sur l'importance des visites intérieures faites régulièrement aux récipients.

Enfin, nous nous demandons s'il n'y aurait pas lieu : 1° pour diminuer les chances d'accidents, de mettre deux soupapes par appareil; 2° pour atténuer les conséquences de ces accidents, de réglementer les conditions d'emplacement des récipients de grande section.

6^e Question

DISPOSITIONS A ADOPTER

POUR ÉVITER LES

AVARIES DES TUYAUTAGES

des appareils à vapeur modernes

PAR

M. MORITZ

Ancien ingénieur de la marine.

Au début de l'adoption des hautes pressions pour les appareils à vapeur de grandes dimensions à bord des navires et dans les installations à terre — il y a de cela six à huit années — l'on eut à constater de nombreuses avaries, quelquefois graves, dans les tuyautages de vapeur reliant les chaudières aux machines. Ces avaries n'étaient le fait ni de la trop grande charge du métal des tuyaux sous l'influence seule de la pression statique de la vapeur, ni de la diminution de résistance du métal, provoquée par une élévation de température.

Vers la même époque, mais pour des causes à peu près indépendantes de l'élévation des pressions de régime, des avaries se manifestèrent dans certains tuyautages d'alimentation de chaudières à bord des navires.

Par la présente note, nous nous proposons d'indiquer, d'une part, la nature et la cause des diverses sortes d'avaries constatées et, d'autre part, les moyens à employer pour les éviter.

Faisons remarquer d'abord que les tuyautages de vapeur et d'alimentation que nous venons d'envisager comprennent, à eux seuls, à peu près tous les tuyaux qui, figurant dans l'installation d'un ensemble chaudières et machines, subissent des fatigues sérieuses et dont les avaries présentent un certain caractère de gravité ; il convient toutefois de leur adjoindre les tuyautages d'extraction ou de vidange pour lesquels il importe également, comme nous le verrons, de prendre certaines précautions de disposition. Les autres tuyautages d'un appareil à vapeur ne sont pas soumis aux avaries de la nature que nous indiquerons.

Parmi les avaries qui se produisent dans les tuyautages de vapeur, il en est qui dérivent de causes analogues à celles qui provoquent des désordres dans les tuyautages d'alimentation. C'est donc des tuyautages d'alimentation, que nous nous occuperons en premier lieu, leur étude venant en aide à celle des tuyautages de vapeur.

I

Avaries dans les tuyautages d'alimentation des chaudières.

Les avaries dans les tuyautages d'alimentation se sont manifestées pour la première fois — à notre connaissance, du moins — sitôt après l'application à bord de certains

navires de la marine militaire française (croiseur *Davout*, cuirassé *Magenta*, etc.) des prescriptions d'une circulaire du ministre de la marine, du 7 juillet 1891 — d'après lesquelles les pipes d'alimentation situées à l'intérieur des chaudières devaient aboutir, non plus dans l'eau des générateurs comme précédemment, mais directement dans la vapeur (1).

Ces avaries consistaient en déformations et ruptures de portions de tuyaux d'alimentation intérieure aux chaudières. Elles ne pouvaient être, il est vrai, constatées que lors de visites faites dans les chaudières ; mais en cours de fonctionnement des générateurs, elles étaient accompagnées de chocs très violents, même inquiétants, et parfois de soulèvements des couvercles des régulateurs alimentaires, occasionnant une pluie d'eau assez impressionnante pour le personnel-chauffeur.

La diversité des effets produits à bord des navires n'a pas permis d'en trouver, à première vue, la cause déterminante. Aussi en 1893, le ministre de la marine a-t-il prescrit aux services techniques de la marine, de la rechercher par des essais méthodiques.

Nous trouvant alors en service à l'établissement

(1) Cette circulaire avait été émise à la suite de constatations de nombreuses corrosions des tôles d'enveloppes et tubes de chaudières, remarquées surtout dans le voisinage de l'arrivée d'eau d'alimentation, et attribuées partiellement aux graisses, parcelles de bronze détachées, et à un peu d'eau chlorurée, amenées par l'eau d'alimentation.

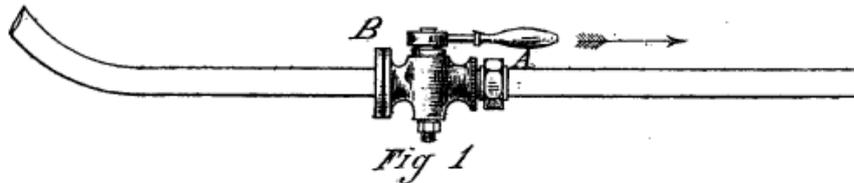
Les corrosions devaient être moins à craindre, en faisant aboutir la pipe d'alimentation dans la vapeur. L'avantage résultant de cette manière de faire, ne se justifie réellement à ce point de vue, que pour les appareils à vapeur comportant des condenseurs à surface, dont toute l'eau condensée, est réemployée à l'alimentation. Pour les appareils à terre munis de condenseur à mélange ou sans condenseur, le tuyautage d'alimentation débouche presque toujours dans l'eau de la chaudière, et les manifestations dont nous nous occupons dans ce paragraphe ne se produisent par conséquent pas ; mais leur étude n'en est pas moins intéressante, car elle donne, comme nous l'avons déjà dit, l'explication de certaines avaries signalées dans les tuyautages de vapeur ou de vidange.

national d'Indret, nous avons été chargé de faire les essais en cette usine, pendant qu'à Toulon, M. Raymond, ingénieur de la marine, devait étudier la question de son côté.

Les conclusions auxquelles nous sommes arrivés tous deux, par des voies différentes, sont à très peu près identiques.

Voici comment se comprend le mécanisme des chocs et des avaries :

Considérons d'abord une conduite d'eau simple et rectiligne (fig. 1) à la température ambiante, aboutissant



dans l'atmosphère ordinaire, et supposons sur cette conduite un robinet. Celui-ci étant ouvert, l'eau circule avec une certaine vitesse. Si l'on ferme brusquement le robinet, l'on entend un choc.

(Nous avons fait l'expérience sur un tuyau de 15^{mm} de diamètre intérieur, où l'eau avait une vitesse de 2 mètres par seconde) (1).

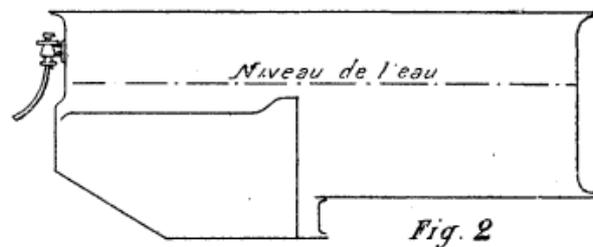
Ce choc se produit en aval et non en amont du robinet, ainsi que nous l'avons constaté, soit en faisant disparaître le choc par la section du tuyau d'aval, bien *au ras du tournant du robinet*, soit en l'atténuant considérablement par l'interposition d'un réservoir d'air en A, alors que l'interposition du réservoir en B ne change en rien le choc.

Le phénomène doit se produire de la manière suivante :

(1) Ces expériences sont relatées dans les *Annales des Mines* de 1897, 9^e série, t. XII.

Au moment de la fermeture brusque du robinet, l'eau, en vertu de sa vitesse acquise, continue son mouvement au delà de celui-ci ; mais alors le vide se forme derrière elle, et la pression atmosphérique communique à cette eau un mouvement uniformément retardé qui la fait revenir sur le tournant avec une vitesse à peu près égale à celle qu'elle avait avant la fermeture. Comme il n'y a pas interposition d'un corps élastique, il y a choc.

Passons maintenant au cas d'une chaudière munie d'un régulateur alimentaire, placé au-dessus du niveau de l'eau, mais non munie d'une pipe intérieure, c'est-à-dire ne présentant qu'une courte portion de tuyautage



entre le clapet du régulateur et la bride de déversement (fig. 2).

Nous avons constaté que, avec cette disposition, on a un choc unique à la fin de chaque période d'alimentation.

Il y a ainsi une grande analogie avec le phénomène précédent. On est donc conduit à penser que le choc est dû à un retour brusque de l'eau d'aval du clapet dans la boîte du régulateur, à la fin de l'alimentation. Mais ici ce retour ne peut plus être provoqué par un vide créé dans le régulateur en vertu de la vitesse acquise par l'eau, attendu qu'au moment où l'alimentation va cesser, la vitesse de l'eau en amont et en aval du clapet régulateur se ralentit petit à petit jusqu'à devenir nulle, le clapet

régulateur ne faisant qu'obéir au mouvement même de cette eau et ne commandant pas ce mouvement de l'extérieur vers l'intérieur de la chaudière. Le retour dans la boîte du régulateur tient à ce que, au moment où l'eau cesse de tomber dans la chaudière à gueule-bée, la vapeur pénètre dans la boîte alimentaire et y rencontre les parois froides ainsi que les surfaces froides de l'eau : elle s'y condense et crée de ce fait un courant de vapeur vers la boîte ; ce courant entraîne l'eau d'aval non encore tombée, comme cela se passe pour un injecteur ou éjecteur, et c'est ce courant d'eau qui, frappant les parois du régulateur, donne lieu à un choc.

Cette explication permet de se rendre compte des diversités de chocs et avaries observées dans les divers cas d'installation. Et d'abord, elle fait comprendre qu'il ne doit pas y avoir de choc, lorsque l'on alimente une chaudière au-dessous du niveau de l'eau ; la vapeur ne pouvant pénétrer dans la boîte du régulateur alimentaire, ne peut s'y condenser et rappeler l'eau en arrière.

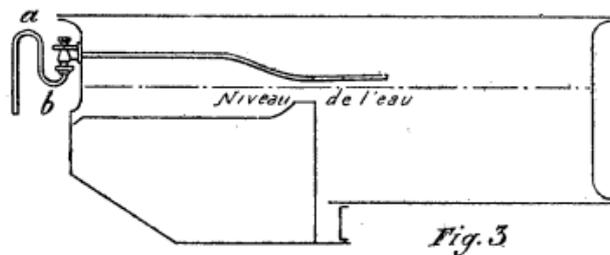
Elle montre ensuite que les manifestations doivent varier avec les dispositions du tuyautage intérieur sur lesquelles nous reviendrons après avoir parlé de chocs constatés dans certains cas, à l'intérieur de la portion des tuyautages alimentaires, située à l'extérieur de la chaudière, et que l'on distingue des chocs en aval du clapet régulateur, par l'examen d'un manomètre situé en amont, et tout près du clapet.

Ces chocs dans le tuyautage extérieur ne s'observent, contrairement à ce qui se passe pour les chocs à l'intérieur, qu'au commencement d'une alimentation, et que si le tuyautage extérieur passe au-dessus du clapet régulateur alimentaire.

Voici comment ils se produisent : l'alimentation étant terminée, l'eau du tuyautage extérieur peut, si le clapet régulateur n'est pas parfaitement étanche, être remplacée

petit à petit par de la vapeur, en vertu de la différence de densité des deux fluides, jusqu'à son point le plus élevé en *a* (fig. 3).

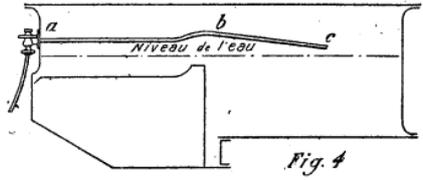
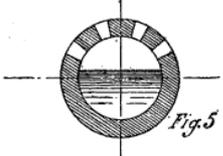
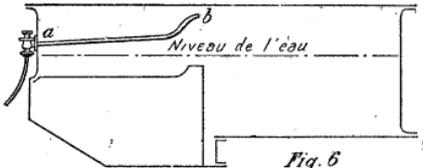
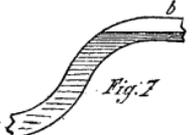
Quand on réalimente, l'eau froide tombant dans la partie *ab* y condense la vapeur et crée le vide ; il se

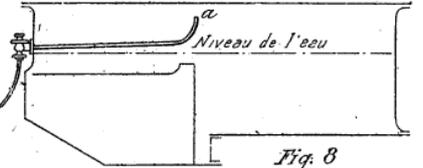
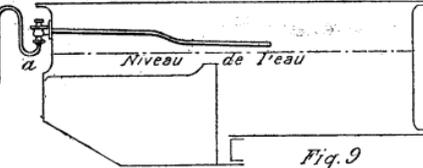
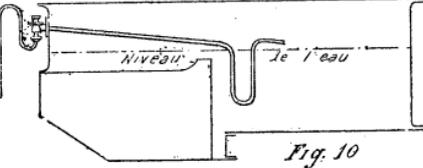


produit donc, en vertu de la pression qui règne dans le réservoir de la pompe alimentaire, un courant d'eau rapide de la pompe vers le clapet chargé de la pression de la chaudière contre lequel elle bute ; par suite il y a choc.

La force vive de l'eau peut être suffisante pour soulager momentanément le clapet, et alors une certaine portion de cette eau passe dans la chaudière, d'où naissance d'un choc dans le tuyautage intérieur, au commencement de l'alimentation, puisqu'il y a interruption d'alimentation.

Revenons maintenant à l'examen de diverses manifestations que nous avons constatées dans les portions intérieures des tuyautages alimentaires.

DISPOSITIONS DU TUYAUTAGE INTÉRIEUR	PHÉNOMÈNES OBSERVÉS	EXPLICATIONS
<p>CAS N° 1. — Le tuyautage extérieur ne monte pas au-dessus du régulateur alimentaire. Le tuyautage intérieur est disposé comme l'indique le tracé (fig. 4) : la pente de la partie <i>b c</i> est très faible, la portion <i>a b</i> n'est pas crépinée, la portion <i>b c</i> l'est à partir d'une certaine distance de <i>b</i>; le tuyautage intérieur est bouché en <i>c</i>.</p>  <p style="text-align: right;"><i>Fig. 4</i></p>	<p>On a un ou deux chocs dans le tuyautage intérieur à la chaudière au début de l'alimentation, et de nombreux chocs à la fin, cela quel que soit le mode de crépinage. Lorsque celui-ci est dirigé vers le bas, les chocs sont moins violents que lorsqu'il est dirigé vers le haut. Le crépinage du tuyau est détérioré et tend à se reformer.</p>	<p>Il n'y a pas de choc dans le tuyautage extérieur, car celui-ci reste toujours plein jusqu'au clapet régulateur. Quant aux chocs intérieurs, voici comment ils se produisent : A l'origine de l'alimentation, de <i>b</i> à <i>c</i>, l'eau ne peut s'écouler en remplissant complètement le tuyau, elle n'occupe que la partie basse de celui-ci; la vapeur qui occupe la partie haute se condense donc et est remplacée par de la vapeur qui arrive de la chaudière, en ramenant brusquement l'eau vers l'arrière; donc choc qui peut se renouveler. Les chocs multiples de la fin de l'alimentation sont dus à ce que, lorsque l'eau cesse de débiter, à guenle-bée, il y a condensation dans le tuyau, donc retour d'eau et choc; l'eau reprend ensuite son écoulement, causant une nouvelle condensation et un nouveau choc; ces chocs sont analogues au glouglou d'une bouteille que l'on vide. L'influence du sens du crépinage, s'explique par la plus grande surface de condensation dans le cas du crépinage dirigé vers le haut (fig. 3). On voit aussi que ce crépinage doit se reformer, car l'eau rentrant violemment entraîne les parois du crépinage.</p>  <p style="text-align: right;"><i>Fig. 5</i></p>
<p>CAS N° 2. — Le tuyautage extérieur est disposé comme dans le cas N° 1. Le tuyautage intérieur est interrompu aussitôt après l'inflexion en <i>b</i> (fig. 6), il déverse à la chaudière sans crépinage.</p>  <p style="text-align: right;"><i>Fig. 6</i></p>	<p>Après une alimentation ordinaire, il y a léger choc. Après une alimentation très lente, l'on n'a pas de choc. Il n'y a pas de choc au début.</p>	<p>Comme dans le cas précédent, il ne peut y avoir choc extérieur. Le choc final s'explique de même, mais ici la surface condensante et la masse d'eau de retour étant faibles, il ne peut y avoir qu'un choc faible. Si l'alimentation est très lente, dans le petit bout du tuyau <i>b</i> (fig. 7) il n'y a que peu d'eau, et la condensation ne peut être rapide; il n'y a donc pas choc.</p>  <p style="text-align: right;"><i>Fig. 7</i></p>

<p>CAS N° 3. — Le tuyautage extérieur restant toujours le même, le tuyautage intérieur monte constamment et rapidement vers son extrémité (fig. 8). Il n'y a pas de crépinage.</p>  <p style="text-align: right;"><i>Fig. 8</i></p>	<p>Il ne se produit aucun choc.</p>	<p>Il n'y a évidemment pas de choc possible dans le tuyautage extérieur; il n'y en a pas non plus dans le tuyautage intérieur, parce qu'après cessation de l'alimentation, le tuyautage reste entièrement plein; il n'y a donc pas condensation.</p>
<p>CAS N° 4. — Le tuyautage extérieur monte au-dessus du régulateur, à partir duquel le tuyautage intérieur va constamment en baissant, et assez rapidement (fig. 9). Le coude <i>a</i> est très court.</p>  <p style="text-align: right;"><i>Fig. 9</i></p>	<p>On observe un choc dans le tuyautage extérieur, au commencement de l'alimentation, et plusieurs chocs à la fin.</p>	<p>Nous trouvons ici le choc dans le tuyautage extérieur, puisqu'il peut se vider d'eau jusqu'en <i>a</i>; les chocs intérieurs s'expliquent comme dans le cas N° 1; mais le tuyau ayant plus de pente, les glouglous sont plus violents.</p>
<p>CAS N° 5. — Il ne diffère du précédent que par l'addition du siphon renversé au tuyautage intérieur (fig. 10).</p>  <p style="text-align: right;"><i>Fig. 10</i></p>	<p>Le choc initial ne se produit que si l'on est resté pendant fort longtemps sans alimenter. L'on a des chocs multiples à la fin de l'alimentation; ils sont très faibles</p>	<p>L'U ne permet plus au tuyautage extérieur de se vider; il ne peut donc y avoir choc extérieur, que si l'eau du tuyautage intérieur a été évaporée, ce qui peut demander longtemps. Les chocs multiples de la fin qui se produisent pour les mêmes motifs que précédemment, sont moins forts à cause des coudes du tuyautage, qui absorbent une bonne part de la force vive de l'eau rentrant dans le tuyau.</p>

La suppression du clapet régulateur alimentaire ne modifie en rien les phénomènes relatés ci-dessus, si ce n'est que les chocs se produisent en même temps dans les tuyautages extérieur et intérieur, qui, ici, ne sont plus distincts.

On conçoit aussi que le régime de la pompe alimentaire puisse avoir de l'influence, car il suffit d'un arrêt momentané du débit pour provoquer des chocs.

Lorsque le tuyau intérieur crépiné est voisin du niveau de l'eau, on constate une sorte de crépitement, ce qui est tout naturel, le niveau n'étant pas très uniforme, lorsque la chaudière est en activité.

On voit donc que les manifestations de chocs sont très diverses, suivant les dispositions, et les faits sont assez dissemblables pour que l'on n'ait pu en déduire l'explication générale, sans faire d'essais méthodiques.

Quels sont les moyens à employer lorsque, déversant l'eau d'alimentation dans la vapeur, l'on veut éviter ces chocs et par conséquent les avaries qui les accompagnent ?

Pour annuler les chocs dans les portions extérieures des tuyautages alimentaires, il suffit de s'arranger de manière à empêcher l'eau de pouvoir y être remplacée par de la vapeur ; on disposera donc ces portions entièrement au-dessous du régulateur alimentaire, et les clapets de la pompe alimentaire devront être en bon état d'étanchéité.

Pour éviter les chocs dans les tuyautages intérieurs, il faut empêcher qu'à la fin de l'alimentation, la vapeur, en se condensant dans le tuyautage, puisse faire revenir l'eau en arrière.

On pourrait arriver à ce résultat en employant la disposition du cas n° 3 précédemment signalé (fig. 8), mais elle ne permet pas de répartir l'eau d'alimentation sur une grande partie de la surface d'évaporation, et il en

peut résulter des entraînements d'eau de la chaudière, et une fatigue locale de pièces de sa construction.

On pourrait aussi faire disparaître ces chocs intérieurs en reproduisant sur le tuyau d'alimentation intérieure, une disposition analogue à celle qui, sur une conduite d'eau, consiste à couper le tuyau d'aval au ras du tournant.

Elle revient à placer un clapet s'ouvrant de l'extérieur de la chaudière vers l'intérieur de celle-ci, et à faire déverser l'eau immédiatement après (le clapet est retenu

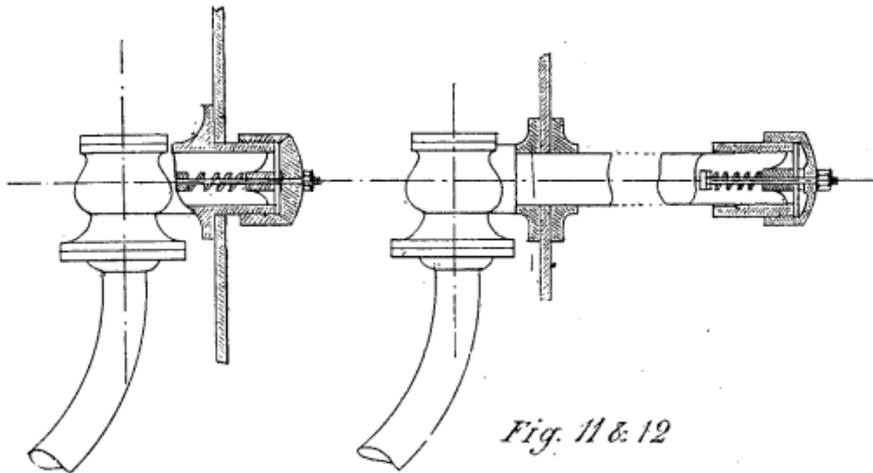


Fig. 11 & 12

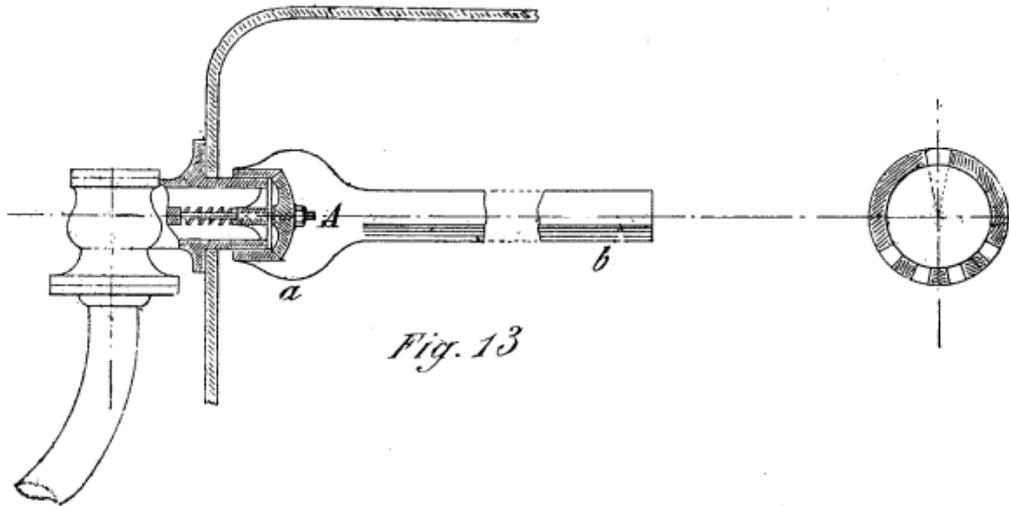
sur son siège par un ressort), (fig. 11 et 12). C'est là une disposition que nous avons eu occasion d'employer, et nous n'avons eu ni choc, ni avarie.

Cette solution présente le même défaut que la précédente, mais il est facile de la modifier, de manière à distribuer l'eau comme on le désire. Il suffit d'établir, immédiatement après le clapet, un canal ouvert par le haut et crépiné par le bas, de manière à éviter toute formation de piston d'eau.

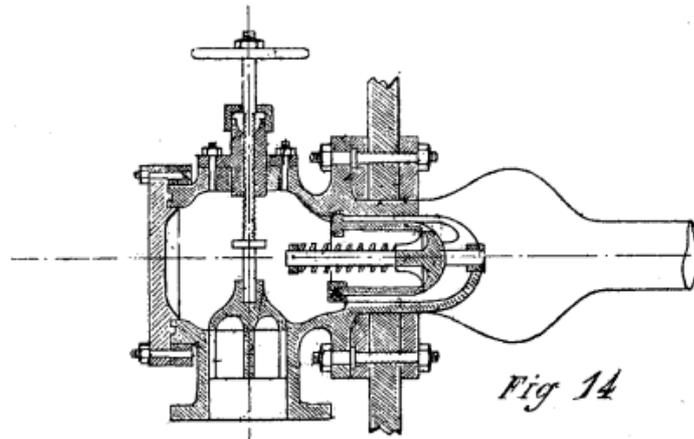
C'est là une disposition que nous avons fait installer

sur les 5 chaudières à double façade, du croiseur le d' "Entrecasteaux".

Le régulateur d'alimentation a été tracé comme ci-dessous de manière à pouvoir en permettre la visite



complète et le démontage du clapet supplémentaire, sans que l'on ait à pénétrer dans les chaudières, ou à démonter le joint du régulateur sur la chaudière.



Depuis trois ans que ce croiseur marche, nous n'avons pas eu connaissance de constatation de chocs ou d'avaries.

II

Avaries dans les tuyaux d'extraction.

Aux divers phénomènes dont nous venons de donner l'explication se rattachent aussi les chocs que l'on constate dans les tuyaux d'extraction des chaudières, lorsque cette extraction se fait dans l'eau froide. Ce phénomène est connu depuis longtemps par les mécaniciens qui l'expriment en disant que de l'eau chaude qui s'écoule dans l'eau froide donne lieu à des chocs.

Voici comment les choses se passent dans ces tuyaux.

L'eau chaude d'extraction étant à une température supérieure à celle qui correspond à la pression extérieure à la chaudière (pression atmosphérique augmentée de la pression due à la hauteur d'eau) se vaporise en partie ; il se forme des bulles de vapeur qui tendent à s'échapper avec l'eau d'extraction.

Ces bulles de vapeur, venant à rencontrer l'eau froide extérieure, se condensent, et il y a précipitation de l'eau froide vers l'intérieur du tuyau où elle rencontre l'eau qui se précipite vers l'extérieur ; il y a donc choc.

Ce mode de production de choc d'eau sur eau, identique d'ailleurs à celui réalisé dans le tuyautage extérieur de refoulement d'eau à une chaudière, est mis en lumière par l'expérience suivante, que nous avons faite.

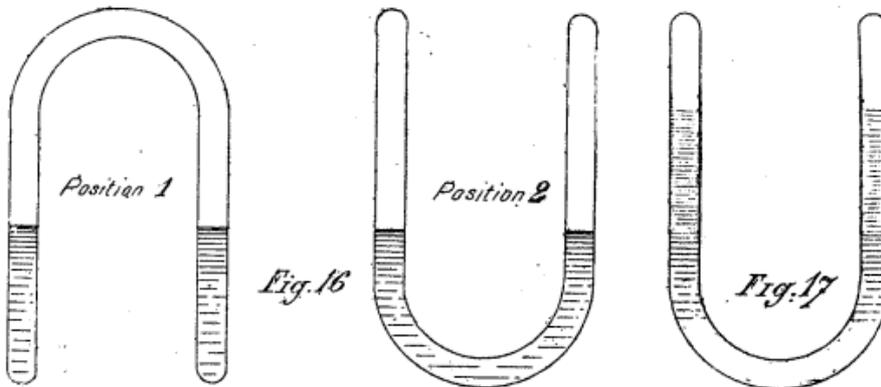
Si l'on prend un appareil différant de celui que, dans les cours de physique, l'on appelle « marteau d'eau » par la courbure du tube, et que l'on s'arrange de manière à produire une bulle dans la masse d'eau, en *a* (fig. 15), par exemple, ce à quoi l'on arrive aisément, en variant convenablement l'inclinaison du tube, cette bulle disparaît rapidement en donnant lieu à un choc. De même, en plaçant le tube d'abord dans la position 1, puis dans la

position 2 (fig. 16), il y a production de choc au moment où les deux masses qui étaient séparées en (1) se



Fig. 15

rencontrent en (2). Les chocs de cette deuxième expérience sont faibles, parce que l'eau ne tombe pas en



masse complète, mais file le long des parois, on peut rendre les chocs plus sensibles en abaissant rapidement le tube dans la position 2, de manière à séparer le liquide en deux colonnes qui se rejoignent avec choc (fig. 17). On peut aussi provoquer la séparation en deux colonnes, par des inclinaisons convenables.

Comme pour les chocs à l'intérieur des tuyaux d'alimen-

tation, le moyen à employer pour éviter ceux à l'intérieur de tuyautages d'extraction, consiste à empêcher l'eau froide de venir dans ce tuyautage ; il y a donc à mettre un clapet de retenue à l'endroit où ce tuyau débouche dans l'eau froide. C'est précisément l'habitude que l'on a prise à bord des navires quand l'extraction se fait au-dessous de la flottaison.

III

Avaries dans les tuyautages de vapeur.

Les avaries dans les tuyautages de vapeur convenablement calculés au point de vue de leur résistance aux efforts de la pression statique du fluide qu'ils renferment se sont déjà manifestées quelquefois, alors que les pressions de régime n'étaient encore que relativement faibles, inférieures à 6 kilogrammes par exemple. Mais elles sont devenues bien plus fréquentes depuis l'adoption des pressions élevées.

Parmi les accidents arrivés à des tuyautages à 6 kilogrammes de pression au plus, on a encore [présent à la mémoire la rupture de vannes de vapeur sur les cuirassés *Hoche* et *Amiral-Baudin*, une déchirure de tuyau en cuivre sur le croiseur *Aréthuse*, ayant causé mort d'hommes.

Nous avons été témoin de déchirures de tuyaux survenues brusquement dans des installations à terre où les chaudières n'étaient timbrées qu'à 6 kilogrammes. Pour les tuyautages à haute pression de vapeur, nous pourrions citer des commencements de déchirures de tuyautages sur presque tous les premiers navires de guerre et de commerce, de grandes dimensions, construits à l'époque où l'on ne s'était pas encore assez

défié des causes accessoires d'avaries. Les commencements de fissures ne se sont déclarés qu'au bout d'un temps plus ou moins long de service, quelquefois 3 à 4 ans.

Les causes de ces diverses manifestations sont de deux ordres.

Les unes se rattachent aux phénomènes étudiés dans les deux chapitres précédents, et les autres se rapportent à la dilatation des tuyautages.

A. *Avaries dues aux mouvements d'eau.*

Lorsque par sa disposition un tuyautage peut, à froid, conserver certaines quantités d'eau, si l'on vient, par l'ouverture d'une valve, à admettre de la vapeur dans ce tuyautage, il s'établit des condensations et des mouvements d'eau qui peuvent, comme nous l'avons dit, être très rapides et donner lieu à des chocs, là où l'air a disparu et où la vapeur s'est condensée.

Parmi diverses expériences faites aux ateliers de constructions de la marine allemande à Wilhemshaven et signalées par M. Raymond dans sa note sur les chocs dans les tuyaux d'alimentation (insérée entre autres dans les *Annales des Mines*, 9^e série, t. XII), la suivante montre l'intensité du phénomène des chocs :

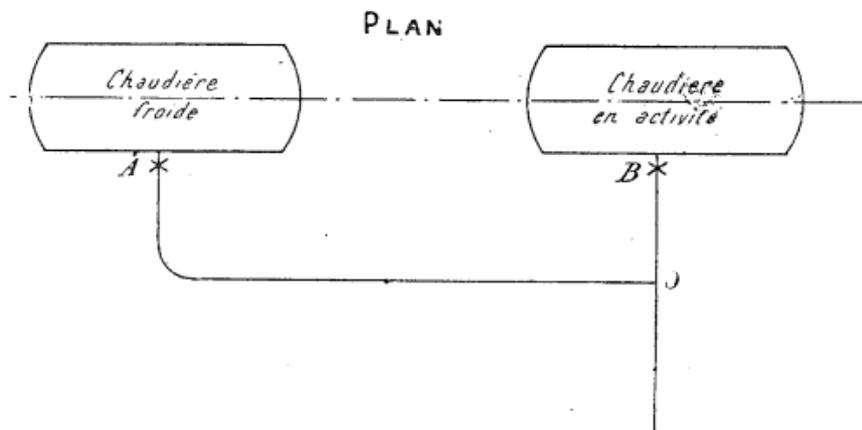
Un tube de 31 centimètres de diamètre et 6^m,88 de longueur, en cuivre de 6^{mm} d'épaisseur, fermé à ses deux bouts, et légèrement incliné sur l'horizontale, contient une certaine quantité d'eau. Cette eau n'occupe nulle part la section entière du tube ; là où elle est le plus abondante, c'est-à-dire à l'extrémité basse, le plan d'eau se trouve à 0^m,23 au-dessus de la génératrice inférieure à l'autre extrémité, cette génératrice n'est couverte que de 2 centimètres d'eau, la différence de niveau entre les

deux bouts du tube étant de 0^m,21. A l'extrémité la plus basse, au-dessous du niveau de l'eau, on fait arriver de la vapeur ; celle-ci est amenée de la conduite générale de l'atelier, qu'alimentent des chaudières dont la pression de fonctionnement est de 5 kilogrammes par centimètre carré, par un branchement de 8 centimètres de diamètre que termine une soupape à main de 50^{mm}. A l'autre extrémité du tube, se trouvent 2 robinets d'évacuation, l'un près de la génératrice inférieure, l'autre près de la génératrice supérieure ; ces robinets sont laissés ouverts. Au début, il se faisait une évacuation régulière d'eau et d'air respectivement par ces deux robinets, puis au bout d'un temps d'autant moins long que la soupape d'arrivée de vapeur était plus largement ouverte, survenaient des secousses et des réactions violentes ; les robinets d'évacuation de l'extrémité haute du tube crachaient par à-coup, et quatre manomètres à maxima dont 3 placés le long de la génératrice supérieure, et le 4^e greffé sur l'obturateur de l'extrémité haute du tube, accusaient des efforts parfois considérables. Lors d'un essai où la soupape d'arrivée de vapeur était ouverte aux 3/5, les 3 premiers manomètres marquèrent respectivement 34, 27, 65 kilogrammes par centimètre carré, celui du bout fut brisé, l'obturateur portant le manomètre fut bombé, et le tube lui-même gonflé à son extrémité. Lors d'un autre essai avec même ouverture de la soupape d'introduction de vapeur, les manomètres de la génératrice supérieure, indiquèrent 22, 13 et 60 kilogrammes par centimètre carré ; celui du bout, gradué jusqu'à 150 kilogrammes par centimètre carré, dépassa la limite de sa graduation, et le tube se déchira au voisinage de son extrémité sur une longueur de 21 centimètres.

C'est à des phénomènes de cet ordre que la marine a attribué les ruptures des vannes de vapeur du *Hoche* et de l'*Amiral-Baudin* dont nous avons parlé. C'est également

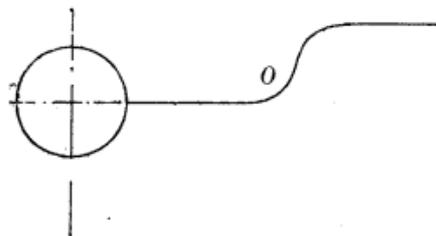
aux mêmes causes, que doivent être rattachées les ruptures de vannes signalées par M. Walckenaer, ingénieur en chef des mines (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1^{er} trimestre 1899), et parmi lesquelles nous citerons :

1^o Rupture d'une vanne terminant un tuyautage, dont ci-dessous le tracé schématique :



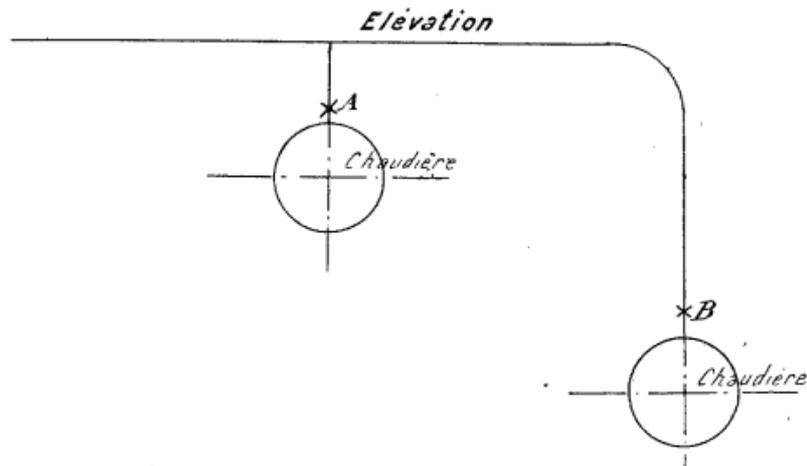
L'accident s'est produit au moment où la vanne A étant fermée depuis fort longtemps sur la chaudière

Élévation.



froide, l'on a ouvert la vanne B de la chaudière en activité; c'est la vanne A qui s'était rompue.

2° Rupture d'une vanne de prise de vapeur et fente du tuyau qui y aboutissait dans un tuyautage disposé comme ci-dessous :

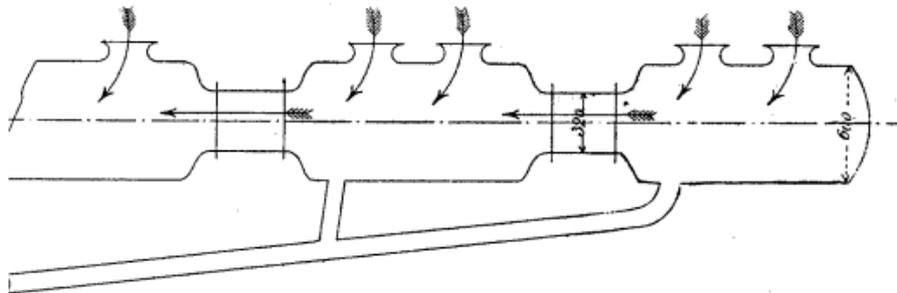


L'avarie est survenue au moment où la vanne A était ouverte depuis longtemps ; on a ouvert B ; c'est B qui s'est rompue. L'explication de l'une et l'autre de ces avaries découle de ce qui a été dit.

M. Schmidt, ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, l'Aisne et l'Oise a, dès 1892, signalé des avaries de même nature. (Compte rendu des séances du XVI^e Congrès des Ingénieurs en chefs des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur.)

Il est donc essentiel, lorsqu'on installe un tuyautage de vapeur, de veiller à éviter des dispositions permettant des accumulations d'eau qui se produisent par suite de condensation de la vapeur. Il est bien entendu que l'absence complète de points d'accumulation est souvent irréalisable ; dans ce cas, il y a lieu d'installer des purges efficaces fonctionnant toujours sûrement et sans que l'on ait à s'en préoccuper. Nous indiquons, à titre d'exemple, la

disposition que nous avons adoptée, dans cet ordre d'idées, sur le cuirassé *Jauréguiberry* et étendue à d'autres installations. Les collecteurs principaux de vapeur étaient formés, sur la demande de l'inventeur du type des chaudières (M. d'Allest, administrateur délégué des ateliers et chantiers de Provence), d'une série de gros coffres en acier de 600^{mm} de diamètre, réunis par le tuyautage ordinaire, ayant 320^{mm} de diamètre : les chaudières venaient déverser leur vapeur dans ces coffres.



Comme l'on voit, chacun de ces gros coffres pouvait permettre une accumulation d'eau. Nous avons alors fait partir, du point bas de chacun d'eux, un petit tuyau venant se greffer sur un petit collecteur en pente régulière, le petit collecteur aboutissant à une bouteille résistante d'assez grande capacité, munie d'un tube de niveau.

La bouteille était purgée à la main par la manœuvre d'une soupape, à la demande de l'indication d'un tube de niveau. Sur ce bâtiment de guerre, nous avons fait purger à la main, parce que, grâce au personnel nombreux et exercé qui est à bord, cette opération nous a paru sûre. Pour un paquebot où le personnel est plus réduit, nous aurions adopté un purgeur automatique. C'est ce qu'il conviendrait de faire aussi pour une installation à terre.

B. Avaries résultant de la dilatation.

Si l'on considère 2 points rigoureusement fixes A et B,



à réunir par un tuyau, et représentant par exemple, le premier, le point de départ de ce tuyau d'une chaudière, et l'autre son point d'arrivée sur une machine, on conçoit que l'on ne puisse les relier par un tuyau droit ou une série de tuyaux droits à joints fixes, car la dilatation tendrait, d'une part, à écarter l'un de l'autre les points A et B qui sont fixés d'une manière rigide soit, à terre, par des massifs en maçonnerie, soit, à bord, par des carlingages indéformables, et fatiguerait d'autre part, d'une façon excessive, la matière du tuyau.

Si E est le coefficient d'élasticité du métal du tuyau, α son coefficient de dilatation, t l'élévation de température, la charge P par millimètre carré de la matière du tuyau sera :

$$P = E\alpha t$$

et la charge sur les extrémités

$$\sigma P.$$

si σ est la section du métal du tuyau supposé coupé perpendiculairement à son axe.

Pour des pressions de vapeur de 15 kilogrammes, en

usage depuis plusieurs années et couramment dépassées aujourd'hui, on peut prendre : $t = 200^\circ$, et comme pour du cuivre $\alpha = 0,000018$ et $E = 5\,600$, ainsi que nous le verrons plus tard, il en suit une valeur de P de 20 kilogrammes environ.

Pour de l'acier à la même température, α étant égal à 0,000010 et E à 22 000, la valeur de P est de 44 kilog.

Ces charges sont inacceptables : dès la mise en service, les tuyaux seraient avariés.

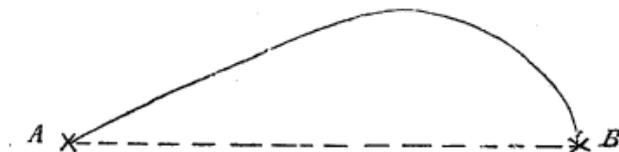
Les efforts sur les extrémités sont également tout à fait exagérés et peuvent provoquer le déplacement des points d'appui.

Il résulte de ce qui précède que si l'on veut avoir recours à un tuyautage rectiligne pour relier deux points, il est indispensable de placer sur le parcours de ce tuyautage un joint glissant dont la nécessité est d'autant plus impérieuse que la température est plus élevée.

Nous reparlerons un peu plus loin des précautions à prendre pour l'installation de tels joints.

Si l'on ne veut pas avoir recours au joint glissant, il convient d'employer un tuyau coudé, qui jusqu'à un certain point est déformable ; mais il doit être bien entendu, que son tracé devra être tel qu'aucun de ses points ne soit soumis, du fait de la déformation, à une charge incompatible avec la résistance du métal.

Considérons donc un tuyau coudé reliant A à B.



Par l'élévation de température, le tuyau AB se dilate ; et s'il est libre, le point B s'écarte du point A d'une

quantité égale à la dilatation d'un tuyau allant de A en B en ligne droite; de sorte que l'on peut dire que les charges de ses divers points, lorsque A et B sont fixes, sont les mêmes que celles qui résulteraient d'un rapprochement de A et B, égal à la dilatation d'un tuyau droit allant de A à B, les brides restant, bien entendu, parallèles à leurs directions primitives.

L'étude de ces charges a été faite, au moins partiellement, à froid pour les tuyaux de cuivre et d'acier, et ce que l'on en sait donne déjà des indications précieuses dans l'étude d'un tracé de tuyautage.

Dès l'année 1890, des recherches dans ce sens ont été faites à l'établissement d'Indret, par MM. les ingénieurs Garnier et Godard, à la suite d'avaries survenues dans la tuyauterie d'un croiseur, dont l'appareil à vapeur avait été installé par les soins de cette usine.

Elles ont porté principalement sur des tuyautages en cuivre identiques à des tuyaux qui s'étaient mal comportés en service.

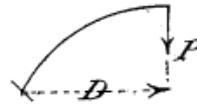
Pour divers motifs, ces ingénieurs n'ont pu poursuivre la généralisation de leur étude, et ils n'ont point formulé de règle absolue concernant l'établissement de tuyautages.

M. l'ingénieur de la marine Maugas a repris l'étude des tuyaux de cuivre au port de Brest, en 1897, et est arrivé aux conclusions intéressantes suivantes :

Pour des tuyaux en cuivre, cintrés, à un seul coude dans un plan, dont l'une des extrémités est encastree dans une bride fixe et dont l'autre est chargée normalement à la direction de la dernière portion de tuyau, on peut appliquer pour l'évaluation de la charge r de l'élément le plus fatigué du tuyau, c'est-à-dire du point le plus éloigné de la direction de l'effort, et pour la flèche f de l'extrémité sur laquelle agit cet effort, les formules ordinaires de résistances de matériaux relatives aux

pièces droites, en tenant compte de certaines observations.

Si D représente la distance de la force P à l'encastrement, $\frac{d}{2}$ la distance du point le plus chargé à la fibre neutre, c'est-à-dire le rayon du tuyau, I le moment



d'inertie à la flexion de la section droite du tuyau, ces formules sont :

$$r = \frac{PDd}{2I},$$

$$f = \frac{Pl^3}{4EI}.$$

Les observations à faire sur le mode d'emploi de ces formules, sont les suivantes :

1° La valeur de l doit être prise égale au développement du tuyau, à partir du cintre ;

2° La valeur de E doit être prise égale à 5 500 environ, Cette quantité représente le coefficient d'élasticité ;

3° Ces formules ne sont applicables que jusqu'à une certaine valeur maxima de r au delà de laquelle la déformation n'est plus élastique. Cette valeur de r est donc une limite d'élasticité. Elle est variable avec l'état du métal. Avec du cuivre froid recuit, elle est d'environ 2^k,250. Avec du cuivre porté à une température de 200° correspondant à une pression de 15 kilogrammes de vapeur, elle doit être réduite de $\frac{1}{4}$, suivant les expériences

de M. l'ingénieur de marine Lechatelier, relatives à l'influence de la température sur la résistance du cuivre. On est donc conduit à prendre environ 1^k,700 pour limite.

Si le cuivre était écroui, la limite serait sensiblement plus élevée; or nous avons cru remarquer qu'au bout d'un certain temps de service, un tuyau recuit prend les propriétés du tuyau écroui, de sorte qu'il ne paraît pas imprudent de dépasser un peu le chiffre de 1^k,700.

Mais il est à remarquer que, comme la fibre la plus chargée se trouve à la jonction du tuyau avec la bride, c'est l'état du métal en ce point qui importe. Si la bride est brasée, il faut s'en tenir au chiffre ci-dessus, car on peut y considérer, à coup sûr, le cuivre comme recuit. C'est d'ailleurs ce que M. Maugas a démontré expérimentalement. L'adoption de ce chiffre suppose même que le brasage est complet et réussi.

Si les brides sont rivées, la limite de r doit être évidemment réduite proportionnellement à la réduction de section due au rivetage, par conséquent variable avec les usages des constructeurs, mais toujours bien supérieure à la moitié.

M. Maugas a démontré expérimentalement que les formules ci-dessus s'appliquent aux mêmes conditions pour un tuyau en S.

Il a recherché enfin l'influence d'un effort dirigé suivant une direction non située dans le plan du tuyau, dans le cas d'un tuyau coudé en quart de cercle.

Il a trouvé que là encore, l'on peut appliquer les formules de résistances composée, flexion et torsion, qui sont :

$$r = \frac{3}{8} \frac{PDd}{2I} + \sqrt{\left(\frac{5}{8} \frac{PDd}{2I}\right)^2 + \left(\frac{5}{4} \frac{PD'd}{2I}\right)^2},$$

PD étant le moment de l'effort agissant à la flexion et PD' celui de cet effort produisant la torsion.

La limite élastique doit être prise égale à celle précédemment vue.

Quant à la flèche, elle peut être mise sous la forme :

$$f = \frac{Pl^3}{3EI} \quad \text{où} \quad E = 4740,$$

soit les $\frac{4}{5}$ de E relatif à la flexion simple.

Les formules précédentes permettent donc de se rendre compte assez exactement de la fatigue que subit le métal d'un tuyau du fait de sa dilatation.

Mais les tuyaux dans les installations subissent en outre la pression de la vapeur. Les charges qui en résultent pour les tuyaux droits de la marine militaire, supposés renfermant de la vapeur à 15 kilogrammes, sont, d'après les règlements en vigueur, les suivantes :

Diamètre des tuyaux en mm.	Charge par ^{mm} ², suivant un diamètre perpendiculaire aux génératrices.	Charge suivant les génératrices.
60	4,30	0,65
90	4,60	0,80
160	2,70	1,35
240	3,60	1,80
280	3,70	1,85
320	3,90	1,95
360	4,10	2,05
400	4,20	2,10

De plus, M. l'ingénieur de la marine Alheilg a démontré par le calcul (*Bulletin de l'Association technique maritime*, année 1891, page 181) que la charge est sensiblement plus élevée pour les fibres d'un tuyau coudé.

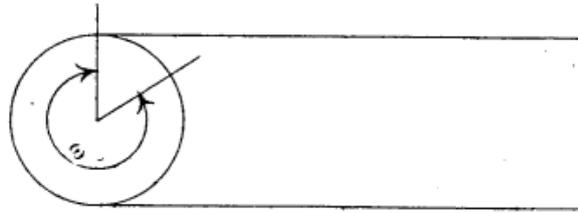
Il a établi que si on désigne par :

tm la charge suivant une perpendiculaire aux génératrices ;

tp la charge suivant ces génératrices ;

e l'épaisseur du tuyau ;

p la pression intérieure ;
 R le rayon de courbure du tuyau ;
 r le rayon du tuyau ;
 ω l'angle indiqué sur la figure, les valeurs $tm + tp$
sont données par :



$$tm = \frac{pr}{2\varepsilon} \left(1 + \frac{R}{R + r \sin \omega} \right) \quad (1)$$

$$tp = \frac{pr}{2\varepsilon} \quad (2).$$

Pour le point le plus chargé

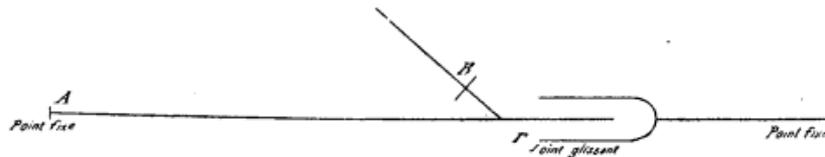
$$\sin \omega = -1 \quad \text{et} \quad tm = \frac{pr}{2\varepsilon} \left(1 + \frac{R}{R - r} \right).$$

Il convient donc de composer ces efforts dus à la pression, avec celui de flexion précédemment étudié, pour en déduire la charge totale.

On voit que la totalisation de ces charges peut amener le métal pour une très faible flexion du tuyau, à travailler au delà de sa limite élastique, principalement pour les tuyaux de gros diamètres, c'est ce qui explique les très nombreuses avaries aux brides, constatées depuis l'adoption des hautes pressions.

Il est absolument prudent de renoncer aux coudes dès que le diamètre est un peu élevé, par exemple 200^{mm} où la charge dans le sens des génératrices est déjà de 1^k,600 pour 15 kilogrammes de pression et où une faible flèche correspond à des efforts à la flexion considérable.

Il est des cas où l'on ne peut éviter d'avoir recours à des tuyaux destinés à se déformer. Un exemple fréquent est celui où deux tuyaux se greffant l'un sur l'autre sous un certain angle, le point de jonction se déplace sous l'influence de la dilatation, soit par exemple le cas ci-dessous :



quand r se déplace, le tuyau B doit fléchir.

Dans ce cas, on doit choisir le diamètre et le tracé de manière à ne point dépasser la limite élastique.

Souvent les avaries ne se produisent pas immédiatement. Le cuivre, étant un métal très ductile, se déforme lorsqu'il a dépassé sa limite d'élasticité et résiste parfaitement ; il revient facilement à sa position primitive après refroidissement. Une nouvelle chauffe produit les mêmes déformations qu'un nouvel arrêt des chaudières annule, et ainsi de suite ; mais par ces déformations successives, le métal s'aigrit et finit par casser.

Ces avaries se produisent donc d'autant plus rapidement que les chauffes et arrêts sont plus fréquents.

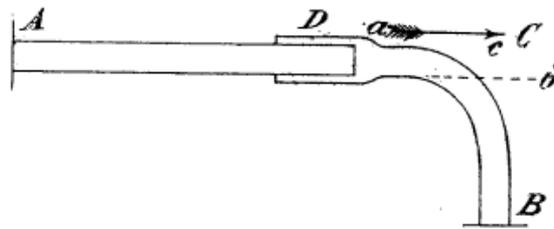
D'après ce qui précède, l'on voit l'importance qu'il convient d'attacher à ce que le métal du tuyau ait un coefficient d'élasticité élevé dans toutes ses parties, et au mode de fixation de la bride sur le tuyau. Le brasage de cette bride amène un recuit abaissant la limite élastique ; quelquefois, il n'est même pas complet, l'opération du brasage étant un peu délicate. Le rivetage réduit la section de résistance. Le mandrinage a été appliqué avec succès dans bien des cas. En indiquant les diverses tentatives

faites dans cet ordre d'idées, nous sortirions un peu du cadre de notre étude.

Quoi qu'il en soit, il résulte de ce qui vient d'être dit que l'emploi des tuyaux coudés ne permet pas toujours de résoudre convenablement tous les problèmes de la jonction de deux points fixes.

Par ailleurs, il arrive fréquemment que des dispositions locales nécessitent l'emploi de coudes ; l'on est donc obligé alors d'avoir recours à des joints glissants pour lesquels certaines précautions indispensables sont à prendre.

Considérons en effet, nos deux points A et B à réunir par un tuyau coudé tel que celui ci-dessous :



La dilatation de la portion droite A C sera absorbée si l'on met un joint glissant sur le parcours du tuyau A C en D par exemple, mais il importe alors de remarquer que la pression qui s'exerce sur la portion *ab* du coude, c'est-à-dire sur la portion délimitée par l'intersection de la portion cylindrique A C avec la surface du coude, n'étant plus équilibrée à l'opposé, la portion C B est sollicitée dans la direction de la flèche, en C, par un effort égal à $\frac{\pi d^2}{4} p$.

Cet effort peut être assez considérable et donner lieu à une charge inadmissible des fibres du métal en B ; la portion C B se déforme donc alors, et cette déformation peut amener le déboîtement, s'il n'existe pas des dispositifs de sûreté qui l'empêchent.

Nous avons été témoin d'un tel déboîtement sur un navire, au moment où nous procédions à une épreuve sous pression d'eau du tuyautage, avant d'y envoyer la vapeur. Nous croyons savoir aussi qu'un accident de même nature, mais avec de la vapeur, est survenu sur un cuirassé allemand, causant la mort d'une quarantaine d'hommes.

A supposer même que le déboîtement n'ait pas lieu entièrement, le métal peut travailler au delà de sa limite élastique en B. Il est donc de toute nécessité de brider très solidement la portion C.

A titre de prudence, le joint devra présenter, par son tracé même, un dispositif de sûreté évitant le déboîtement dans le cas où, par une fausse manœuvre, on aurait oublié de monter l'arc-boutant de C. C'est ce que font beaucoup de constructeurs.

Pour permettre alors à la portion C B de se dilater sans fatigue, on est obligé, soit de mettre également un joint glissant sur cette partie et de s'opposer à ce que C puisse se mouvoir dans la direction C B, ou de laisser C B se mouvoir dans cette direction, en ne plaçant pas de joint glissant entre C et B. C'est ce que l'on peut faire lorsque C B est très court.

Dans presque tous les cas, on peut ramener la réunion de deux points A et B aux cas précédents. L'étude des autres cas ne présente aucune difficulté et le lecteur pourra la faire aisément.

Nous dirons donc que lorsque l'on a à tracer un tuyautage de vapeur, et qu'on l'étudie au point de vue des fatigues qu'il subit par la dilatation, on cherchera par les calculs élémentaires ci-dessus à se rendre compte des charges dues à ces dilatations. Si, sans l'emploi de joints glissants, on arrive à des chiffres acceptables, c'est-à-dire à des valeurs qui, ajoutées aux charges dues à la pression ne dépassent pas $1^k,800$, on se dispensera de ces joints

glissants qui présentent l'inconvénient de demander un entretien sérieux pour ne pas fuir tout en remplissant leur rôle. Si le calcul indique des charges trop fortes, on prévoira des joints glissants, et l'on calculera les efforts sur les arcs-boutants de manière à rendre ceux-ci assez robustes.

Si pour certains tuyaux on a des doutes, on pourra, au cours de la construction du tuyautage, vérifier, par des expériences directes, que la limite d'élasticité ne sera point atteinte sous l'influence de déformations au moins égales à celles qu'on peut prévoir pour ces tuyaux après dilatation.

Lorsque le tuyautage sera monté, il sera de la plus grande utilité, si l'on a des joints glissants, de procéder à un essai à l'eau sous pression qui permettra de vérifier la bonne tenue des arcs-boutants. Cet essai est réglementaire dans la marine militaire. La pression d'épreuve que l'on y adopte, est celle d'épreuves à froid des chaudières, soit le double du timbre pour des pressions n'excédant pas 6 kilogrammes, soit la pression du timbre augmentée de 6 kilogrammes, si le régime excède 6 kilogrammes.

Il conviendra enfin, dès la première chauffe, de vérifier que les joints glissants fonctionnent bien comme on l'a prévu; on le constatera par des repères pris sur les deux parties du joint. Il sera bon de le vérifier de temps à autre, lorsque le tuyautage passera du régime de repos à celui du travail ou inversement.

Enfin il conviendra de ne pas perdre de vue, au moment de l'installation, que les supports de tuyautage devront être disposés de manière à en permettre la libre dilatation.

Nous avons eu occasion de constater des avaries dues précisément à la disposition des supports de tuyaux ou à des obstacles n'ayant aucune relation avec le tuyautage, mais qui en gênaient la dilatation.

Une étude partielle a également été faite tout récemment pour les tuyautages en acier, par M. l'ingénieur Godard.

Il semble en résulter que tout ce qui a été dit du cuivre s'applique à l'acier, en admettant pour E , coefficient d'élasticité, une valeur double de celle du cuivre, et pour limite élastique, environ 8 kilogrammes.

Sans attacher trop d'importance à ces chiffres, nous dirons que la confection de tuyautages coudés en acier sans soudure, est une opération difficile, pour les gros diamètres du moins, en raison du peu de ductilité de l'acier, de sorte que, en l'état actuel de la science de construction de tuyaux, l'exécution de tuyautages en acier coudés, sans joints glissants, n'est guère applicable et présente moins d'intérêt que pour le cuivre (1). Au contraire, elle devient très intéressante si l'on adopte des joints glissants. Ce que nous avons dit plus haut s'applique, bien entendu, au cas des tuyautages en acier.

(1) M. Martin, directeur de la Compagnie des ateliers et chantiers de l'Escaut, à Flessingue, fait construire cependant des gros tuyaux d'acier tirés de blooms à brides venues de forge avec les tuyaux et cintrés à froid.

7° Question

HYGIÈNE

ET

SÉCURITÉ DES CHAUFFERIES

PAR

M. HERSCHER

Ingénieur des mines.

En matière de chaufferies, hygiène et sécurité sont directement liées. Une chambre de chauffe ne peut guère être réellement sûre, c'est-à-dire disposée de façon à permettre au personnel qui est occupé de s'échapper sans être atteint en cas d'accident survenant à une des chaudières qui s'y trouvent, sans être en temps normal bien ventilée et d'un séjour confortable. La première condition suppose en effet que la chaufferie est spacieuse, pourvue de sorties faciles et multiples, et que la vapeur que peut y dégager une explosion, trouve une issue directe,

au besoin par des cheminées ou courettes convenablement disposées, sans pouvoir atteindre le personnel. Sorties et courettes d'aérage sont de nature à assurer convenablement en temps normal la ventilation de la chaufferie et à en rendre le séjour suffisamment confortable. En revanche, les chaufferies trop nombreuses où les chaudières sont profondément enterrées dans une cave dans laquelle on n'accède que par des passages étroits et difficiles et qui se rapprochent plus ou moins des installations existant sur les bateaux sont celles où en même temps que les conséquences d'un accident, même minime en lui-même, peuvent être redoutables, l'existence quotidienne du chauffeur privé d'air et quelquefois de lumière est la plus pénible. On peut donc dire d'une façon générale qu'une chaufferie mal ventilée et mal disposée au point de vue de l'hygiène ne peut être satisfaisante au point de vue de la sécurité. En revanche, il est possible de trouver des chaufferies convenablement aérées et qui cependant n'offrent que des dégagements insuffisants. C'est le cas, par exemple, de nombreuses installations où les chaudières, situées un peu en contre-bas d'une cour, sont placées dans un bâtiment largement ouvert sur celle-ci sans cependant que le chauffeur y ait des accès suffisamment aisés et nombreux. Cette disposition, commode au point de vue du service du combustible, donne des chaufferies qui peuvent être à la fois convenablement ventilées et peu sûres. Il est vrai de dire que le plus souvent l'insuffisance des issues peut être facilement corrigée dans le cas de semblables installations.

Quoi qu'il en soit, on peut considérer, avec la restriction qui vient d'être indiquée, la question de sécurité et celle d'hygiène comme liées ensemble et nous les examinerons simultanément. C'est d'ailleurs surtout sur la première qu'il semble qu'il faille insister, la recherche de tous les moyens propres à accroître la sécurité dans l'usage des chaudières étant le premier objet et le plus important

qu'aient à se proposer ceux à qui incombe à un titre quelconque le devoir d'en surveiller l'emploi.

Deux sortes de précautions sont à prendre pour diminuer les dangers auxquels est exposé le personnel chargé de la conduite des appareils à vapeur. Les unes consistent à prévenir et à éviter les avaries qui peuvent atteindre ceux-ci, les autres à en rendre les conséquences inoffensives. Ce sont ces dernières seules dont nous avons à nous préoccuper ici. Leur importance et leur efficacité varient avec la nature des chaudières et par suite avec la diversité des accidents auxquelles elles donnent lieu. Elle est relativement peu marquée en cas d'explosion foudroyante où une chaudière à grand volume se rompt en débris projetés à grande distance et renverse tout autour d'elle. Il importe assez peu dans ce cas que la chaufferie ait des issues commodes si le chauffeur est écrasé avant de pouvoir y parvenir. Elle est au contraire extrêmement considérable quand on a affaire à des générateurs à petits éléments donnant lieu à des ruptures fréquentes, mais qui ne produisent le plus souvent que des effets dynamiques très limités et sont seulement accompagnées d'un écoulement de vapeur et d'eau bouillante, mélangés quelquefois de gaz du foyer, chassant devant eux le charbon enflammé de la grille. Ce flux brûlant pénètre dans la chaufferie par les issues qui lui sont offertes, c'est-à-dire, à moins qu'elles ne soient solidement fermées et assujetties, par les portes des boîtes à tubes, du foyer, du cendrier. Le temps qu'il met à s'écouler est en général assez court et la quantité de fluide déversée est limitée. Suivant que le chauffeur se trouvera directement exposé au jet brûlant ou sera amené à le traverser, ou bien au contraire pourra gagner une sortie en l'évitant, les conséquences de l'accident pourront être, en ce qui le concerne, ou très graves ou nulles. Il en est encore ainsi avec les générateurs à grande capacité à foyer extérieur eux-mêmes en cas d'explosion par manque

d'eau. Dans ce cas, en effet, en général, les effets dynamiques sont insignifiants et l'accident se borne à l'ouverture d'une tôle de coup de feu et au déversement de vapeur et d'eau bouillante dans la chaufferie. Il en est de même encore pour les ruptures de tubes à fumée des générateurs tubulaires, etc.

En résumé, on peut dire que, pour la grande majorité des accidents auxquels donnent lieu les chaudières à petits éléments, et, d'une façon générale, avec tous les types de chaudières, pour certaines catégories d'accidents, la gravité des conséquences qui en résultent pour le personnel est déterminée pour une grande part par les conditions d'installation des chaudières dans leurs chambres de chauffe. Le programme que l'on doit chercher à réaliser est donc dans ses lignes générales celui-ci :

1° Canaliser dans une direction inoffensive le flux brûlant auquel une explosion peut donner issue.

2° Donner au personnel, en quelque point de la chaufferie qu'il se trouve, le moyen de gagner le dehors par un chemin direct et commode sans avoir à traverser le jet de vapeur et d'eau chaude sortant de la chaudière.

La réalisation du premier desideratum dépend de la disposition de la chaudière elle-même et de ses accessoires, celle du second, des conditions d'installation de la chambre de chauffe.

Nous nous occuperons tout d'abord du premier point.

Conditions d'installation des chaudières.

M. l'ingénieur en chef Walckenaer, dans les différentes études publiées par les *Annales des Mines* a posé le problème à résoudre et indiqué un certain nombre des solutions pratiques qui lui ont été données. Ce problème consiste à barrer au fluide brûlant dont une explosion produit le dégagement, les ouvertures par lesquelles il tend

naturellement à se répandre dans la chaufferie, c'est-à-dire les portes des boîtes à tubes des chaudières à tubes d'eau, celles des boîtes à fumée des chaudières à retour de flamme, les ouvertures de ramonage, les ouvertures des foyers et des cendriers. En même temps, il faut lui offrir un écoulement facile dans une direction inoffensive pour éviter que sa pression fasse éclater le fourneau de maçonnerie, auquel cas le premier remède pourrait devenir pire que le mal.

Pour obtenir le premier résultat, les portes des boîtes à tubes ou des boîtes à fumée doivent être solidement établies et pourvues de dispositifs de fermeture robustes et dont la position d'ouverture ou de fermeture doit être nettement apparente. Une très bonne solution consiste, comme l'a indiqué M. l'ingénieur en chef Walckenaer, à les assujettir par le moyen d'une barre horizontale encastrée de part et d'autre dans l'armature métallique du fourneau. Il ne doit d'ailleurs jamais être touché aux portes pendant le fonctionnement de l'appareil. Les mêmes précautions sont applicables aux ouvertures de ramonage et autres analogues.

Pour les ouvertures de chargement des foyers, il serait à désirer que les portes fussent automatiques, se fermant d'elles-mêmes sous l'effet d'une pression venant à se produire à l'intérieur du foyer, ou tout au moins s'ouvrant vers l'intérieur et autoclaves. A défaut devraient-elles être pourvues de verrous et de charnières permettant de les assujettir solidement. Le chauffeur reste encore ainsi exposé au danger d'être atteint par une rupture se produisant au moment où il charge son feu. Seule l'automacité de la fermeture des portes lui permet d'y échapper avec la disposition des foyers ordinaires. Ce risque disparaît naturellement avec l'emploi des foyers spéciaux, à combustion méthodique, ou autres.

Quant aux cendriers, à défaut de les fermer complète-

ment à l'avant en faisant arriver l'air sous la grille par des canaux latéraux, il est possible de les munir de portes oscillantes automatiques se fermant d'elles-mêmes sous l'influence d'une pression venant du foyer. Différents constructeurs ont réalisé de semblables dispositifs dont la généralisation est très désirable.

Cet ensemble de précautions à prendre pour fermer efficacement les diverses ouvertures du fourneau donne satisfaction au premier *desideratum* en empêchant la vapeur de se répandre directement dans la chaufferie. La seconde condition à réaliser qui, est de canaliser cette vapeur dans une direction inoffensive, est satisfaite par l'emploi des *trappes d'expansion*.

Ces trappes, tantôt déversent la vapeur au-dessus des fourneaux, dans la chaufferie même, tantôt l'envoient dans les carneaux de fumée. La première solution n'est réellement satisfaisante que si la chaufferie est suffisamment spacieuse et aérée, sans quoi elle ne ferait guère que déplacer le danger sans le supprimer. Elle n'est d'ailleurs admissible, bien entendu, que si le personnel n'est jamais appelé par son service sur la plate-forme supérieure des chaudières. En tout état de cause, il importe de prendre des précautions pour que les trappes ne puissent être projetées et blesser les chauffeurs.

Une expérience de plusieurs années a montré l'efficacité des différentes mesures de précaution qui viennent d'être énumérées. Dans une étude sur les trappes d'expansion de vapeur insérée dans les *Annales des Mines* (5^e livraison de 1896), M. Walckenaer a cité plusieurs exemples concluants d'accidents dont les conséquences ont été nulles grâce à leur emploi. D'autres sont venus s'y ajouter depuis en grand nombre et la question paraît hors de doute à l'heure actuelle en ce qui concerne les chaudières à tubes d'eau. Pour les autres catégories de générateurs, l'application même partielle de ces dispositifs de

sûreté y est jusqu'à présent restée tout à fait exceptionnelle, de sorte que l'étude des accidents qui les ont atteints ne peut donner qu'une confirmation en quelque sorte négative de la nécessité de ces mesures de précaution en mettant en lumière la gravité des conséquences que leur emploi eût dans bien des cas permis d'éviter. Il serait très désirable que constructeurs et industriels comprissent cette nécessité.

Les dispositifs de sûreté qui viennent d'être énumérés sont destinés à rendre inoffensives les conséquences d'une explosion. Mais, en dehors des accidents de ce genre affectant la chaudière proprement dite, il en est d'autres qui, pour ne porter que sur des accessoires de celle-ci, n'en ont pas moins fréquemment des conséquences graves pour le personnel, tels sont, par exemple, ceux affectant la tuyauterie d'alimentation, de vidange, de prise de vapeur, etc. Il conviendrait de s'attacher à ce que tous les organes, valves, robinets, etc., comportant des manœuvres un peu fréquentes, fussent dégagés, faciles à atteindre et non, comme cela existe parfois pour certains d'entre eux, ceux de vidange en particulier, dissimulés au fond de sortes de niches étroites et sans air plus ou moins engagées dans la maçonnerie du fourneau et des carneaux de fumée. Le travail que le chauffeur a à y effectuer y est alors nécessairement pénible et dangereux. Il y a là une déféctuosité à éviter dans les installations nouvelles, à corriger dans beaucoup d'usines existantes, sans qu'il soit possible, semble-t-il, de formuler ce *desideratum* d'une façon plus précise. Nous reviendrons plus loin d'ailleurs sur ce sujet dans l'étude des conditions d'établissement des chaufferies à laquelle il se rapporte directement, et nous aurons l'occasion de citer un accident mortel que nous avons eu à constater et qui a dû la gravité de ses conséquences à une cause de ce genre.

A cette catégorie de précautions se rattachent encore

celles prises pour éviter, en cas de rupture d'un tube de niveau, que le personnel soit atteint par les débris de celui-ci et par la vapeur et l'eau bouillante. D'assez nombreux dispositifs ont été imaginés pour obturer automatiquement les communications d'eau et de vapeur. Mais ils ont l'inconvénient de produire des fermetures intempestives. Un procédé plus simple paraît être celui consistant à placer devant le tube un masque en verre résistant permettant de voir le niveau de l'eau par transparence et rejetant du côté de la chaudière la vapeur et l'eau bouillante qui se dégagent en cas de rupture. Ce procédé est, sauf erreur de notre part, d'un emploi courant en Allemagne.

Conditions d'établissement des chaufferies.

D'une façon générale, il est nécessaire que les chambres de chauffe soient largement établies tant en plan qu'en hauteur et soient pourvues d'issues nombreuses et faciles permettant en cas d'accident aux chauffeurs, quelle que soit la place où ils pourront se trouver occupés, de gagner l'une d'elles sans avoir à passer à travers le flux brûlant s'écoulant de la chaudière rompue.

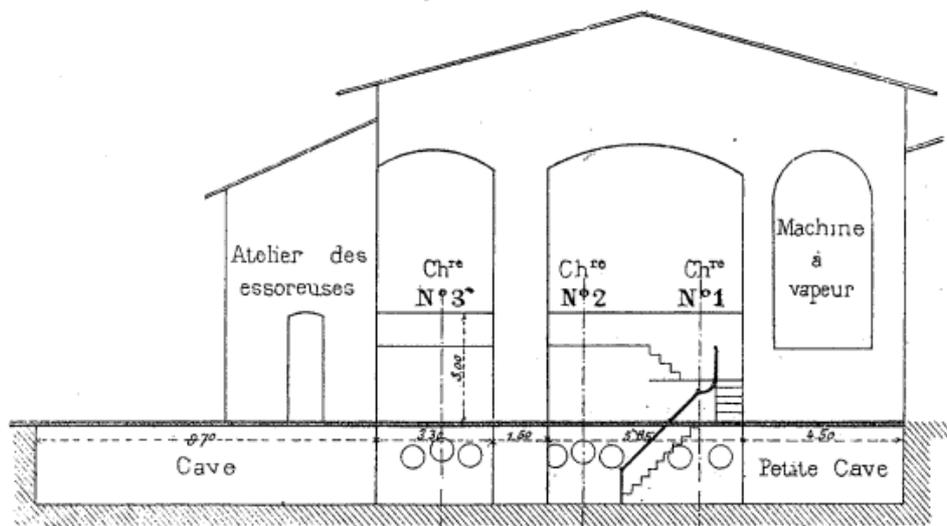
L'ampleur donnée à la chaufferie rend aisé en temps normal le travail du personnel et place celui-ci dans de bonnes conditions hygiéniques. En cas d'accident, la vapeur dégagée sera rapidement noyée dans une masse d'eau considérable et si les chauffeurs n'ont pas été atteints par le jet bouillant, ils échapperont à l'asphyxie qui les menacerait dans une chaufferie étroite et mal aérée. L'emploi des trappes d'expansion déversant simplement la vapeur dans la chaufferie à la partie supérieure des chaudières n'est d'ailleurs admissible que si le local des générateurs est spacieux et haut de plafond. Quand la chaufferie est étroite et plus ou moins profondément

enterrée, le renouvellement de l'air et, le cas échéant, le dégagement de la vapeur doivent être assurés par des gaines, les unes puisant au dehors l'air frais, les autres conduisant l'air vicié à des cheminées ou courettes débouchant à l'extérieur. Les sections des gaines ainsi que des orifices d'entrée et de sortie d'air doivent être déterminées dans chaque cas particulier eu égard aux conditions d'installation et au travail demandé aux générateurs et par suite au poids de charbon brûlé et à la quantité de chaleur dégagée dans la chaufferie, de façon à assurer une ventilation large et efficace. L'emploi de la ventilation mécanique peut devenir dans certains cas indispensable. D'une façon générale, plus la chambre de chauffe est étroite et profondément enterrée, c'est-à-dire plus elle se rapproche des conditions défectueuse dans laquelle se trouvent la plupart des chaufferies de bateaux, au point de vue de l'hygiène comme à celui de la sécurité, plus il est nécessaire, comme dans celles-ci et par des moyens analogues, d'y assurer artificiellement une ventilation abondante. Il paraît d'ailleurs impossible de préciser par des chiffres ayant une valeur générale la proportion à réaliser entre le volume d'air à faire circuler et la quantité de chaleur dégagée dans la chaufferie ainsi que les limites de température admissibles dans celles-ci. La température en particulier est un élément bien difficile à définir étant essentiellement variable d'un point à un autre de la même chambre de chauffe. Le problème ne comporte pas, semble-t-il, de solution générale, mais son importance et la nécessité de le résoudre dans chaque cas particulier n'en sont pas diminuées pour cela.

Reste la question des issues. La disposition de celles-ci a, dans bien des cas, une influence capitale sur la gravité des conséquences d'une explosion. On peut dire d'une façon générale que les sorties ne sont jamais trop nombreuses ni surtout trop directes et trop aisées. Il faut que

le chauffeur en s'enfuyant n'ait pas un moment à perdre pour chercher son chemin, pas un effort physique de quelque importance à effectuer. Le moindre obstacle peut l'arrêter et le moindre temps d'arrêt causer sa perte. Nous avons pu à diverses reprises constater à combien peu tenait souvent le salut ou la mort du personnel des chauffeurs

Fig. 1. Coupe CD



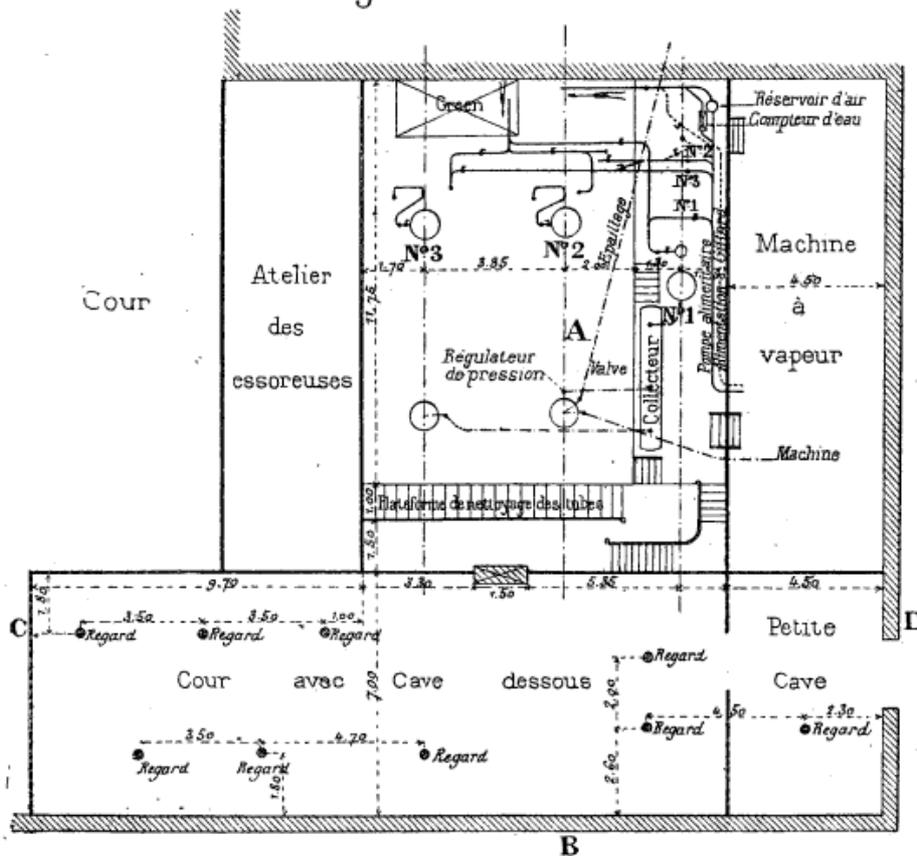
feurs et il paraît intéressant d'en donner quelques exemples.

Dans bien des cas, le ou les chauffeurs ne se trouvent pas placés immédiatement devant le générateur qui fait explosion et c'est en voulant gagner l'unique sortie de la chaufferie qu'ils sont amenés à passer devant celui-ci et à traverser le jet brûlant qui s'en échappe.

C'est ce qui s'est produit par exemple dans un accident survenu à Elbeuf, et dont nous avons eu à nous occuper comme chargé à cette époque du Service des mines à Rouen. L'installation comprenait (voir fig. 1 à 3)

trois chaudières semi-tubulaires à retour de flammes par des tubes en laiton. La chaufferie était une cave étroite de 2^m,50 de largeur enterrée à 2^m, 25 au-dessous du sol d'une cour sous laquelle elle se continuait par des soutes

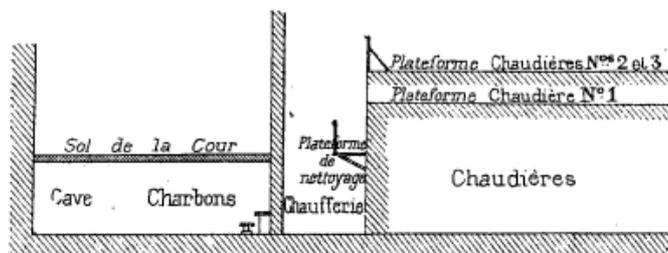
Fig.2. Plan d'ensemble



à charbon spacieuses, mais sans issue au dehors. La seule communication avec le dehors était établie par un escalier situé à droite de la chambre de chauffe et dont le pied est en face de la chaudière n° 2 qui a fait explosion. L'accident a consisté, comme il arrive fréquemment avec des chaudières de ce type, dans la rupture de quatre tubes

à la partie postérieure, celle par laquelle les flammes y pénétraient. La vapeur et l'eau bouillante, refluant du cul-de-poule, firent irruption dans la chaufferie par le foyer dont les portes étaient simplement battantes et par le cendrier non pourvu de fermeture. A ce moment, deux chauffeurs se trouvaient en face de la chaudière n° 3, un

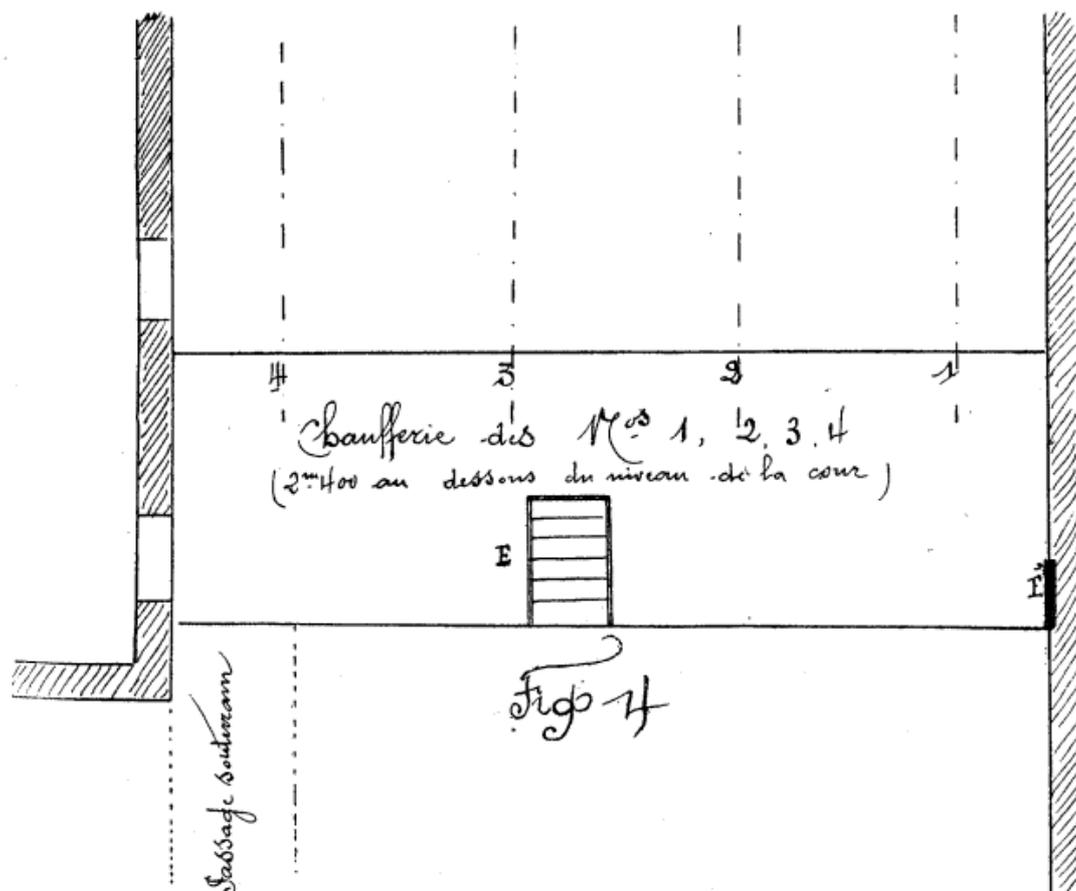
Fig. 3. Coupe AB.



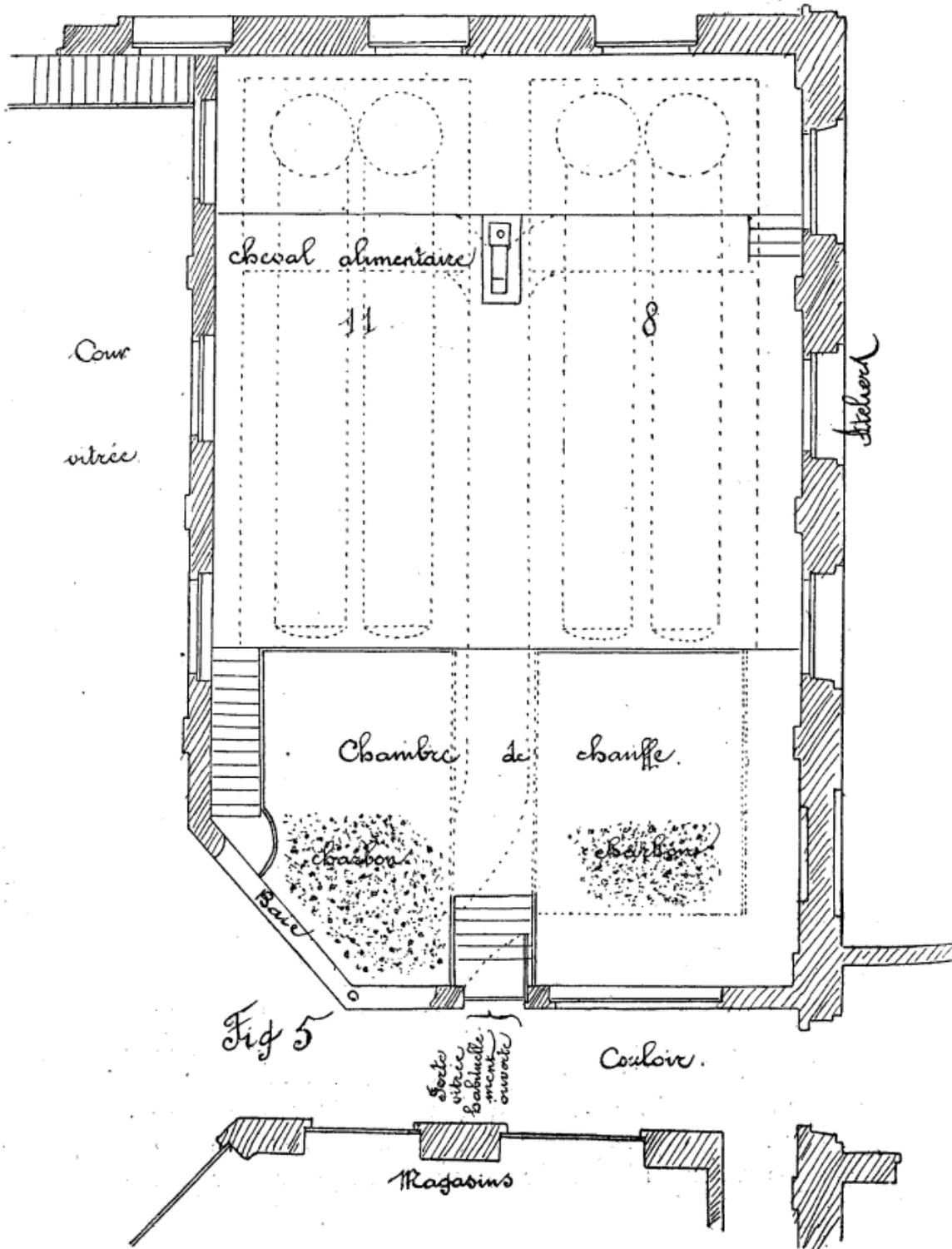
aide-chauffeur devant la chaudière n° 1. Les deux premiers cherchèrent à gagner l'escalier et pour cela tentèrent de traverser le jet qui s'échappait de la chaudière n° 2. Ils ne purent y parvenir. L'un s'enfuit vers la gauche et alla tomber au fond de la cave, l'autre gagna la petite cave au charbon et fut sorti par un regard par où on venait de retirer auparavant l'aide-chauffeur qui, passant sous l'escalier, s'était sauvé tout droit en ce point et, grimpant sur le charbon, avait pu soulever la plaque du regard. L'aide-chauffeur ne fut que blessé. Les deux chauffeurs furent brûlés mortellement.

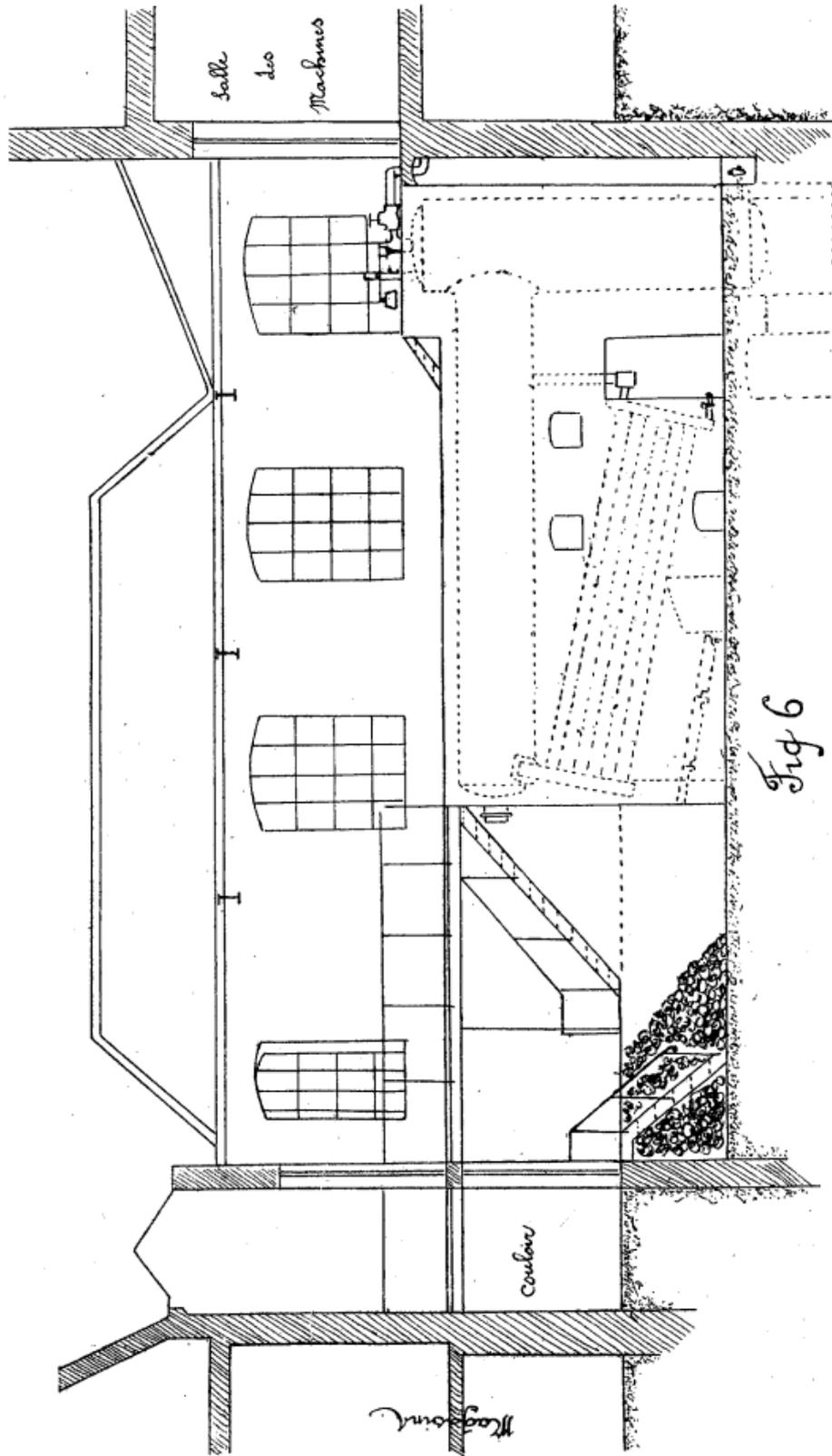
Dans l'accident suivant survenu à Tourcoing, ce n'est pas l'absence d'issues mais le peu de commodité de celles existantes qui a amené un chauffeur à traverser le flux de vapeur et d'eau bouillante qui ne l'eût pas atteint sans

cela. L'installation (fig. 4) comprenait quatre générateurs à bouilleurs ordinaires situés dans une cave de 3^m, 20 de largeur à 2^m, 40 en contre-bas d'une cour sur laquelle le bâtiment était largement ouvert. Un escalier central E y



donnait accès. De plus, une échelle était placée presque verticalement dans l'angle de droite de la chaufferie en E'. Enfin, un passage souterrain faisait communiquer à gauche la chaufferie avec celle d'un autre groupe de générateurs. L'accident a consisté dans l'ouverture d'une tôle de coup de feu du bouilleur de gauche du générateur n° 3.





Il ne se produisit presque aucun effet dynamique, mais seulement un déversement de vapeur et d'eau bouillante par les portes du foyer simplement battantes et par le cendrier. Le chauffeur se trouvait à ce moment devant cette chaudière. Il fut aussitôt atteint et mortellement brûlé. Quant à l'aide-chauffeur, il était placé devant le générateur n° 1 et fût resté sans doute indemne s'il n'avait pas bougé de sa place, mais, obéissant à un sentiment de panique bien naturel, il voulut s'enfuir. Il avait à sa disposition à cet effet l'échelle placée dans l'angle droit de la chaufferie et il essaya en effet de la gravir, mais n'en eut pas la force et courut à l'escalier central par lequel il gagna la cour non sans avoir été atteint et grièvement brûlé par la vapeur échappée du générateur n° 3 devant lequel cet escalier était placé. Il y a là, à ce qu'il nous semble, un exemple frappant de l'importance qu'il y a à fournir au personnel des issues non seulement possibles, mais commodes. L'échelle au pied de laquelle l'aide-chauffeur s'est arrêté était peu de chose pour un homme de sang-froid. Elle est devenue inaccessible pour lui, affolé qu'il était par l'explosion, et rendu par la peur incapable d'un effort.

Un autre accident survenu également à Tourcoing et dans lequel le chauffeur a été mortellement atteint montre encore combien il importe que les sorties des chaufferies soient toujours directes, aisées et libres de tout obstacle. L'installation (fig. 5 et 6) comprenait deux chaudières multitubulaires installées dans une chaufferie fermée par une porte vitrée à laquelle on accédait de la cave par un escalier assez commode regagnant la différence de niveau de 1^m,50 existant entre le sol de la chaufferie et celui de la cour. Cette porte, habituellement ouverte, se développait du dehors au dedans. Un tube du générateur de gauche vint à se rompre et la vapeur et l'eau bouillante se répandirent dans la chaufferie en ouvrant les portes du foyer simple-

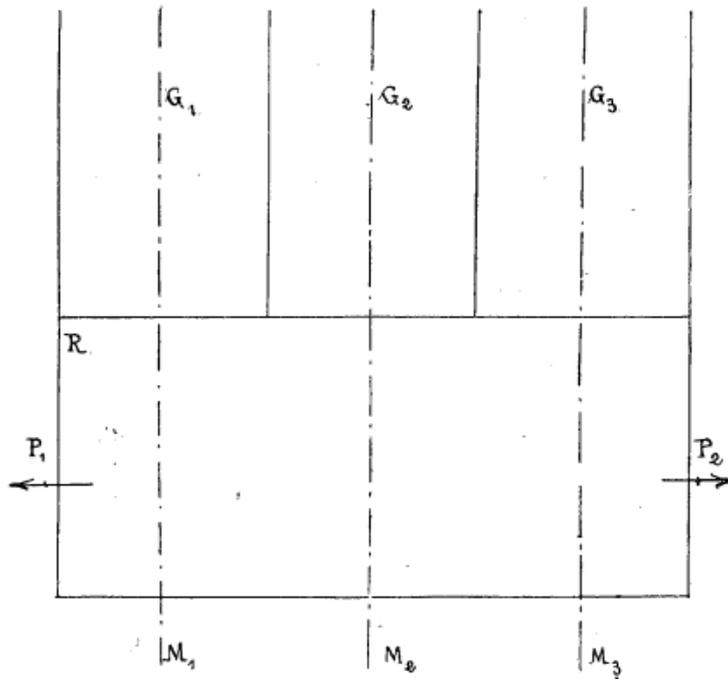
ment battantes. Le chauffeur prit la fuite, mais arrêté par la porte de sortie qui s'était refermée d'elle-même, n'eut pas la force de soulever le loquet qui la maintenait, se coupa profondément les poignets avec sectionnement des artères en passant les bras dans les vitres dans ses vains efforts, puis redescendit dans la chaufferie et, après avoir passé devant la chaudière rompue, sortit finalement en grimpant sur le charbon par la baie située à gauche de la chaufferie et servant à l'approvisionnement en combustible. Il mourut le lendemain tant de ses blessures que des brûlures dont il était couvert. Il eût assez vraisemblablement échappé, n'ayant pas été immédiatement atteint par le jet brûlant, si la porte de sortie avait été battante et s'ouvrant du dedans au dehors.

Ces quelques exemples qu'il serait aisé de multiplier paraissent bien montrer ce fait sur lequel on ne saurait trop insister, qu'il est indispensable que des issues suffisamment nombreuses soient offertes au personnel pour que, quel que soit le point où une rupture vient à se produire, il puisse gagner le dehors sans avoir à se rapprocher du jet brûlant. Il faut, de plus, pour que ces issues soient efficaces, c'est-à-dire soient réellement utilisées en cas de danger, que l'accès en soit aisé et qu'aucun obstacle ne risque d'y arrêter la fuite du chauffeur.

Il est impossible, en ce qui concerne le nombre et la disposition des issues, de fixer de règle générale. Ce que l'on peut dire, c'est que ce nombre ne sera jamais trop grand. Quant au minimum indispensable, comme l'a indiqué M. l'ingénieur en chef Walckenaer dans une étude sur les accidents causés par les ruptures des tubes à fumée, il semble que ce soit l'existence de sorties aux deux extrémités de la chambre de chauffe percées dans les murs d'abord en P_1 et P_2 (fig. 7). Cette disposition est préférable à celle qui comporte des issues pratiquées dans la façade, l'une d'elles pouvant se trouver battue par le jet

brûlant sortant du générateur placé en face. Un chauffeur placé en R aurait ainsi la retraite coupée en cas d'accident affectant le générateur G_1 . Ce minimum cesse d'ailleurs d'être suffisant à notre avis quand le nombre des

Fig. 7



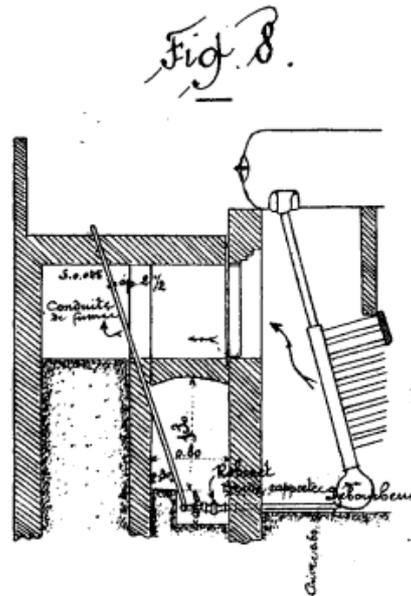
chaudières groupées dans la même chaufferie devient un peu considérable. En cas d'accident lui interdisant l'accès à la sortie la plus proche, le chauffeur placé vers l'une des extrémités de la chaufferie aurait en effet un chemin très long à parcourir pour gagner l'issue opposée et le fait ne pourrait pas être sans inconvénient ni même sans danger. Il paraît indispensable dans ce cas de créer des

issues intermédiaires en façade. Pour éviter qu'elles ne soient battues par les chaudières, on peut avantageusement répartir celles-ci en groupes de quelques unités laissant entre eux des couloirs suffisamment spacieux, commodes pour le service, où le personnel peut trouver un refuge, et dans l'axe desquels les issues supplémentaires peuvent être disposées.

Il importe d'ailleurs de ne pas envisager les issues au seul point de vue du chauffeur supposé placé devant les chaudières, mais de lui donner des moyens de fuite faciles quel que soit le point de la chaufferie où il est occupé. En particulier, il faut que les plates-formes des chaudières aient des dégagements faciles et autant que possible directs, c'est-à-dire que le chauffeur qui s'y trouve au moment où un accident se produit n'ait pas besoin de redescendre dans la cave de chauffe, à ce moment envahie par la vapeur, pour s'échapper. A ce point de vue, il est intéressant que la tuyauterie qui règne sur les plates-formes soit disposée de façon à créer le moins d'obstacles possibles à sa fuite. Il existe de trop nombreuses installations où il semble qu'on ait cherché comme à plaisir à compliquer la disposition des canalisations de façon à rendre la circulation sur les plates-formes difficile en temps normal, impraticable en cas d'accident.

De même encore certains organes accessoires se trouvent placés latéralement aux fourneaux. Il est indispensable que les couloirs qui y donnent accès permettent, le cas échéant, au chauffeur de s'enfuir sans avoir à repasser devant la façade des générateurs. Trop fréquemment ces organes se trouvent placés au fond de sortes de culs-de-sac sans air et sans issue où en cas de fuite de vapeur la possibilité de battre en retraite pour le chauffeur qui s'y trouve engagé fait défaut à peu près complètement. Nous avons eu, par exemple, l'occasion de constater un accident mortel entraîné dans ces conditions par la rupture d'un

robinet de purge d'une chaudière Babcock et Wilcox. Ce robinet, de construction absolument défectueuse, était



situé (fig. 8) dans un réduit de 1^m,30 de hauteur et 0^m,80 de large où on ne pouvait accéder que par une sorte de trou de chat et d'où l'on ne pouvait sortir qu'à reculons. Il se rompit au moment où le chauffeur le manœuvrait. Le malheureux ne put se dégager et il fut matériellement impossible de lui porter secours avant un temps assez long. Il fut relevé couvert de brûlures et asphyxié. L'accident a dû, tout au moins en partie, la gravité de ses conséquences à la disposition défectueuse des lieux.

Si les issues doivent être aussi nombreuses que possible, elles doivent aussi, et c'est la condition indispensable de leur efficacité, être d'un accès commode et toujours libre. Les quelques exemples cités plus haut mettent bien en évidence ce fait que le moindre obstacle peut arrêter dans sa fuite un chauffeur et causer sa perte, que cet obstacle soit une porte à ouvrir, un tas de charbon

à éviter, un pas plus haut à franchir, etc. Dans un autre accident qui a causé la mort du chauffeur, celui-ci a été retrouvé sur un tas de charbon qu'il avait rencontré sur son chemin et contre lequel il avait buté pour ne pas se relever. C'est en tenant compte de cet ordre de faits que la Commission centrale des machines à vapeur, lorsqu'elle est appelée par suite d'une demande soit de dérogation aux conditions d'emplacement prescrites par le décret du 30 avril 1880, soit de dispense de clapets d'arrêt de vapeur, à examiner les conditions d'installation d'une chaufferie et à en prescrire l'amélioration, tend toujours à exiger que les portes fermant les issues soient, autant que les nécessités du service le permettent, battantes, sans loquets, s'ouvrant vers l'extérieur, et simplement maintenues dans leur position normale par des ressorts ou des contrepoids de façon à s'ouvrir sous l'effet d'une simple poussée exercée par quelqu'un s'enfuyant de la chaufferie. De même, tous les chemins et escaliers de sortie doivent être aisément praticables, les organes de la machinerie qui peuvent y être situés convenablement entourés de coffrages ou de grillages, l'éclairage suffisant et assuré, même en cas d'arrêt des machines motrices lorsque le local est éclairé électriquement.

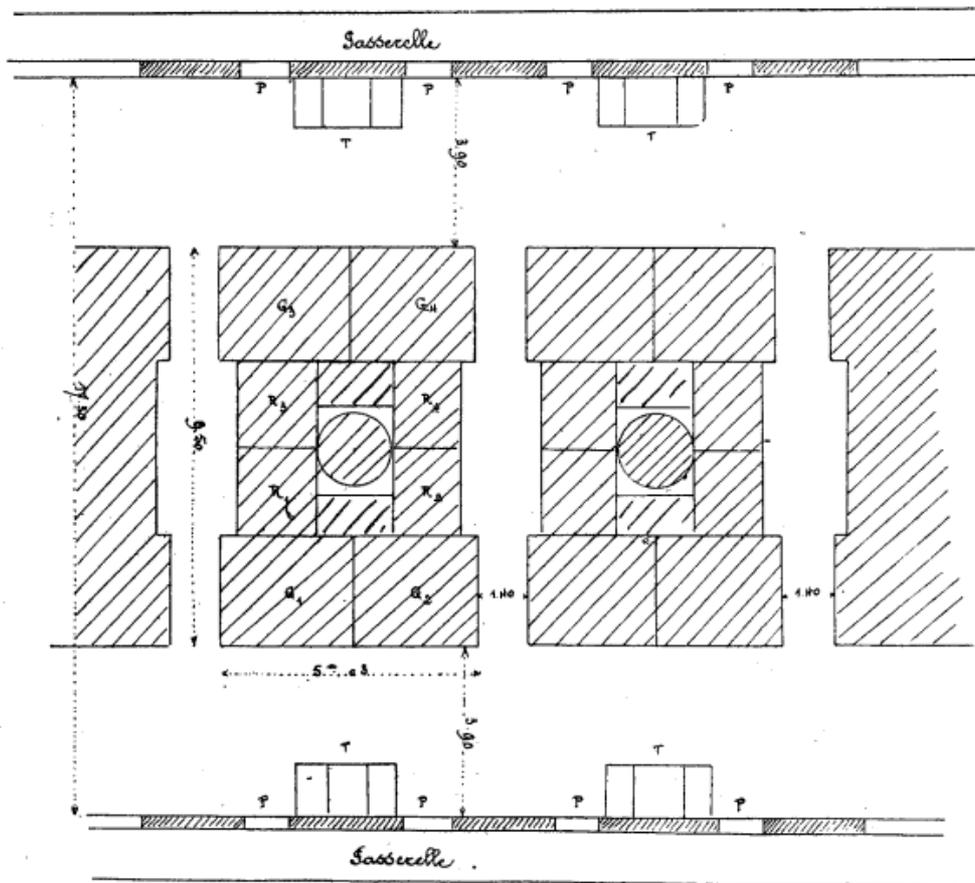
En résumé, il convient de donner à une chaufferie des issues aussi nombreuses que possible et d'en organiser les dispositions intérieures de façon que, quel que soit le point où un ouvrier se trouve placé au moment où une explosion survient, il puisse toujours gagner une de ces sorties sans avoir à croiser le jet brûlant échappé de la chaudière rompue. En ce qui concerne en particulier la cave de chauffe, il est indispensable qu'elle offre à chacune de ses extrémités une issue directe qui sera de préférence pratiquée dans les murs d'about plutôt que dans la façade. Si le nombre des générateurs de la batterie devient un peu considérable, il conviendra de les répartir par groupes peu

nombreux isolés les uns des autres, laissant entre eux des espaces libres dans l'axe desquels pourront être pratiquées en façade des sorties intermédiaires qui, de cette façon, ne seront battues par aucun d'entre eux. Enfin, les différentes issues ainsi créées devront être d'un accès toujours aisé, de telle façon qu'aucun effort physique notable ne soit à dépenser pour les atteindre, et aucun obstacle ne devra s'y rencontrer pouvant ralentir ou arrêter la fuite du chauffeur.

Bien que ce programme n'ait à coup sûr rien d'irréalisable, il est beaucoup plus facile de citer des installations défectueuses telles que celles indiquées plus haut et qui ne sont pas ce qu'il y a de pire en l'espèce, que des chaufferies à peu près complètement satisfaisantes. Celles-ci ne se rencontrent guère que dans des usines d'organisation récente. On peut citer, par exemple, comme intéressante à beaucoup de points de vue, la salle des générateurs de la Station centrale d'Électricité du quai Jemmapes, à Paris. Cette vaste salle, située au premier étage de l'usine au-dessus du rez-de-chaussée où sont logées les machines, a 17^m,30 de largeur et est ouverte sous les combles. Sa hauteur dans l'axe atteint 13 mètres. Elle est de plain-pied d'un bout à l'autre. Les générateurs du système Belleville y sont groupés par quatre (fig. 9), chaque groupe constituant une batterie desservant une machine à vapeur. Chaque chaudière comprend un faisceau vaporisateur G et un faisceau réchauffeur R. Le combustible est amené des deux côtés de la chaufferie par des trémies T qui le débitent au fur et à mesure des besoins. On évite ainsi l'encombrement de la salle de chauffe. Le recul existant entre les chaudières et le mur de la chaufferie est de 3^m,90 environ. Chaque groupe de générateurs est isolé du voisin par un couloir de 1^m,40. Deux passerelles extérieures règnent le long du bâtiment et peuvent offrir, le cas échéant, un refuge aux chauffeurs

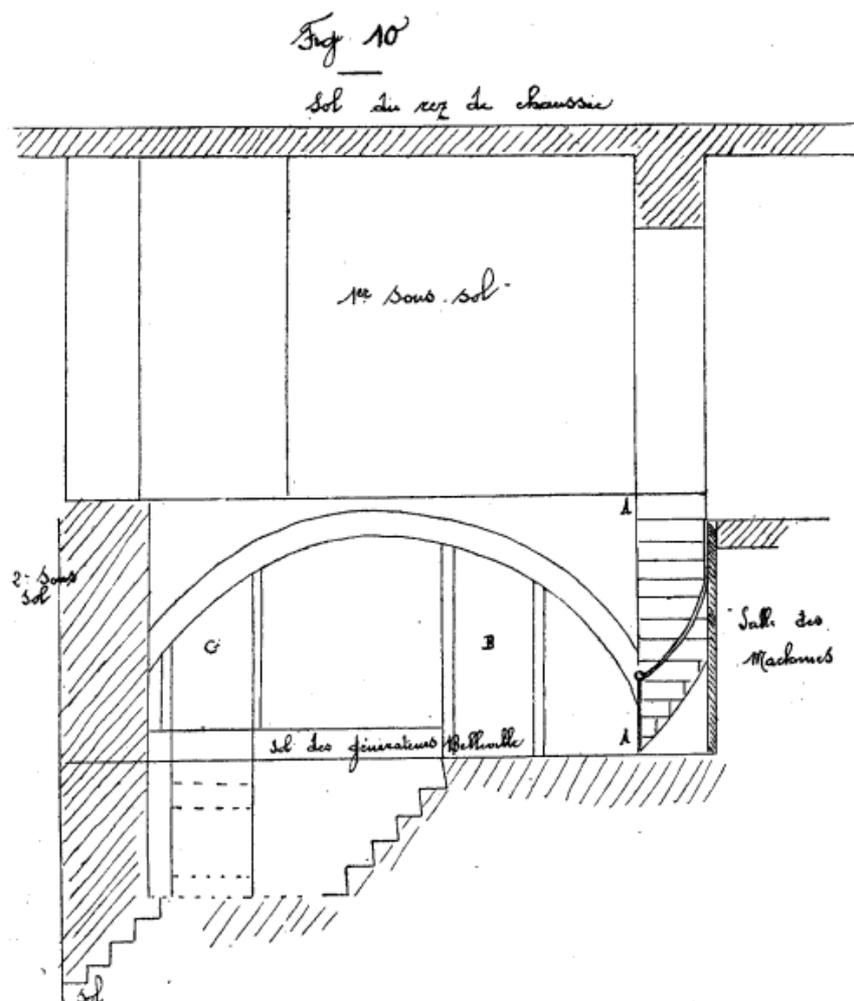
par le moyen des portes P. Les générateurs sont pourvus de portes de foyers à bascule ouvrant vers l'intérieur, de portes de cendriers automatiques et de trappes d'expansion.

Fig 9



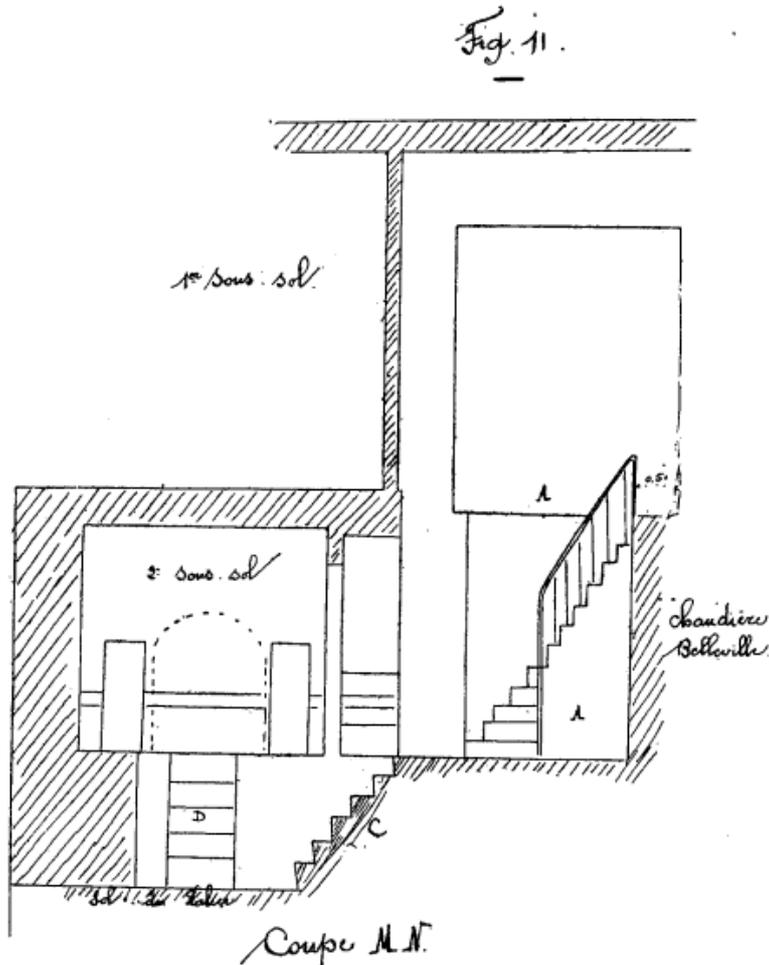
sion. On voit que l'installation est dans des conditions très favorables en ce qui concerne tant l'emploi des mesures applicables aux chaudières que la largeur et la facilité des dégagements. On pouvait cependant critiquer l'emplacement des portes P donnant accès à la passerelle

et qui sont placées presque dans l'axe des générateurs.
Mais la fuite paraît si facile dans toutes les directions



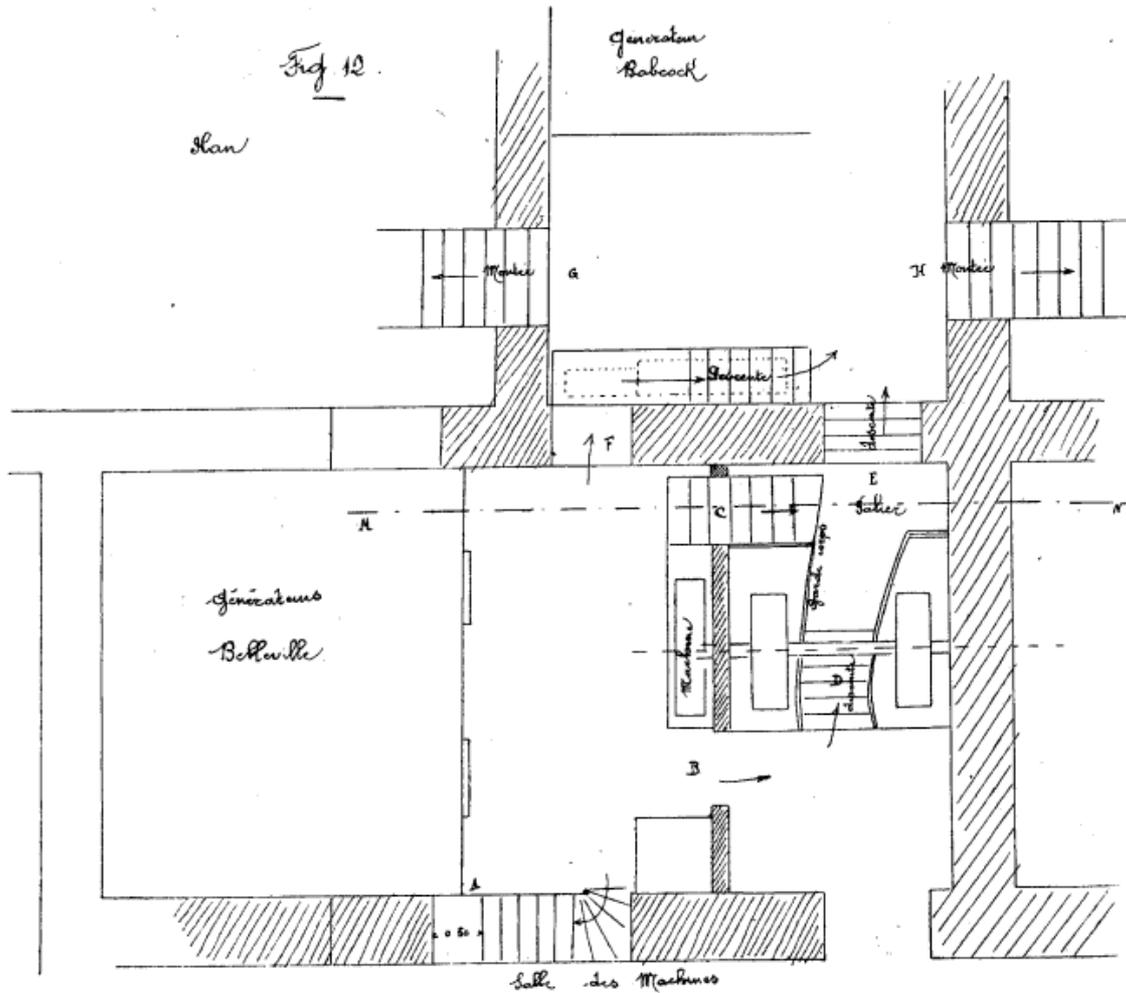
qu'il faudrait, semble-t-il, un hasard malheureux pour qu'un chauffeur surpris par un jet de vapeur se dirigeât précisément vers la porte battue par ce jet au lieu de se porter à droite ou à gauche et de s'enfuir en toute sécurité et il est permis, croyons-nous, de regarder l'installation en question comme très satisfaisante.

Malheureusement si, lorsqu'on crée une usine, il est facile le plus souvent et, en tout cas, toujours possible quand on le veut, de disposer convenablement la chauf-



ferie, on se heurte souvent à de grosses difficultés lorsqu'il s'agit d'améliorer une installation déjà existante. Malgré tout, dans beaucoup de cas, il semble que l'on pourrait, en le voulant, rendre non pas peut-être entièrement satisfaisantes, mais au moins passables des chaufferies nette-

ment défectueuses. L'exemple suivant qui a trait à une imprimerie située à Paris dont nous avons pu visiter la chaufferie, grâce à l'obligeance de M. Compère, ingénieur



en chef de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, qui nous a également renseigné sur les transformations subies par l'installation, montre le parti intéressant tiré d'une situation difficile. L'installation (fig. 10, 11 et 12) comprend deux chaudières Belle-

ville et un générateur Babcock situés au deuxième sous-sol, les premières à 5^m,90 en contre-bas du sol et de la rue, le dernier à 2^m,30 en contre-bas du premier. Ces chaudières qui bénéficiaient, les deux premières simultanément, la troisième isolément, d'une dispense d'emplacement, devant être mises en communication de vapeur, il y eut lieu de reviser et d'améliorer les conditions d'installation des chaufferies. La première n'avait comme issues qu'une échelle verticale située en A aboutissant à une baie donnant accès dans le premier sous-sol et une porte B donnant accès par des escaliers D et E dans la chaufferie du générateur Babcock. Celle-ci possédait deux sorties G et H donnant accès à des couloirs où l'on se trouve immédiatement en sûreté et d'où on peut gagner le dehors. La chaufferie des générateurs Belleville avait l'inconvénient évident qu'un chauffeur placé dans l'angle opposé à A avait la retraite complètement coupée en cas d'accident survenant au générateur situé en face de la porte B. On l'a améliorée de la façon suivante : Une seconde porte a été percée en C et donne accès direct par un escalier à un palier situé entre les deux escaliers D et E, une baie F a été pratiquée dans le mur de séparation des deux chaufferies et permet de descendre dans celle du générateur Babcock par une passerelle aboutissant à un escalier, enfin l'échelle verticale A collée contre le mur a été remplacée par un escalier en fer à pente assez rapide, mais pourvu d'une rampe et suffisamment commode, logé tout entier dans l'épaisseur du mur. De sorte que la chaufferie des Belleville offre maintenant quatre issues praticables situées, deux à ses extrémités, deux en face de chacun des générateurs. On ne peut méconnaître l'amélioration très considérable obtenue malgré les difficultés de la situation qui n'ont permis d'exécuter ce travail qu'en renforçant par un arc en maçonnerie et des sommiers en fer les murs et les voûtes affaiblies par le percement des nouvelles

issues. Issues nouvelles et anciennes satisfont d'ailleurs aux principes posés plus haut ; suppression des portes pour les unes, emploi pour les autres de portes simplement battantes, suppression ou couverture de tous les obstacles pouvant s'opposer à la libre circulation, aménagement des moyens d'éclairage suffisants, etc. La ventilation est assurée par des gaines d'aérage, les unes pour l'arrivée, les autres pour la sortie de l'air. Les chaudières sont pourvues de portes de foyer et de cendrier automatiques et de trappes d'expansion. Au total, dans son état actuel, l'installation peut être considérée comme largement satisfaisante eu égard surtout aux difficultés que présentait son amélioration. Cet exemple est, croyons-nous, de nature à prouver qu'en face d'une chaufferie existante défectueuse, il y a le plus souvent autre chose à faire que de se croiser les bras, sous prétexte qu'il est impossible de la rendre parfaite et qu'une amélioration notable et appréciable peut bien souvent être obtenue pour peu qu'on se donne la peine de le rechercher.

Prescriptions administratives.

Le décret du 30 avril 1880 ne contient aucune prescription relative à l'hygiène et à la sécurité des chaufferies, de sorte qu'à l'heure actuelle, en dehors des cas où le ministre des travaux publics, ayant à statuer sur une demande de dérogation aux prescriptions réglementaires, met comme condition à son autorisation l'exécution de mesures améliorant la chaufferie à ce point de vue, il est seulement possible d'appeler, le cas échéant, l'attention de l'usager d'une chaudière sur la déféctuosité du local où celle-ci se trouve installée en le prévenant que, si les conséquences d'un accident survenant au générateur venaient à en être aggravées, sa responsabilité au point de vue pénal serait engagée de ce fait. Il n'est même pas exact de dire que le

décret réglementaire ne contienne aucune prescription relative aux conditions d'installation des chaufferies. En réalité, il édicte une sorte de prime en faveur des chaufferies défectueuses en admettant, à égalité de catégorie, une réduction des distances à conserver, par rapport aux maisons voisines, pour les chaudières enterrées (article 16).

Un certain nombre de législations étrangères contiennent, au contraire, des dispositions permettant ou même prescrivant au personnel de la surveillance de tenir la main à ce que les chaufferies soient convenablement installées.

Dans les pays, de beaucoup les plus nombreux, qui sont soumis au régime de l'autorisation, il doit être en général fourni, avec la demande d'autorisation, un plan du bâtiment où doit être placée la chaudière. Le règlement du canton de Neuchâtel (Suisse) spécifie que ce plan doit être établi de manière à permettre de s'assurer que les locaux sont assez vastes pour se prêter au nettoyage et aux réparations et pour permettre un service facile au mécanicien et au chauffeur. D'autres contiennent des prescriptions spéciales à l'exécution desquelles est subordonnée, dans tous les cas, la délivrance de l'autorisation et qui ont un rapport direct avec le sujet qui nous occupe. C'est ainsi qu'en Saxe ou en Wurtemberg, lorsqu'il est permis d'établir des chaudières à l'intérieur ou au-dessous de locaux où des personnes séjournent habituellement, la chaufferie doit avoir une étendue, une hauteur et un éclairage suffisants pour que l'on puisse exécuter aisément les prescriptions réglementaires relatives à leur service ou à leur surveillance. En Russie, l'emplacement des chaudières à vapeur fixes doit être assez vaste et assez éclairé pour que l'on puisse faire jouer tous les appareils accessoires du générateur, l'examiner et, en cas de besoin, le réparer ou le changer. Les portes et fenêtres du bâtiment doivent s'ouvrir de dedans en dehors. Dans le canton de Thurgovie

(Suisse), l'installation doit être faite de façon à éviter, autant que possible, tout danger pour les ouvriers. Dans celui de Glaris, il est spécifié que les locaux doivent être assez vastes pour que le chauffeur, le mécanicien, etc..., aient libre accès aux divers organes nécessitant une surveillance et pour que le nettoyage périodique de la chaudière se fasse aisément. Dans le canton de Bâle-Ville existent des dispositions analogues.

A ces prescriptions générales, il est, bien entendu, toujours loisible à l'Administration d'en ajouter d'autres spéciales à chaque cas dans les actes d'autorisation. Il en est ainsi, notamment, en Allemagne et en Belgique. Dans ce dernier pays, en particulier, l'arrêté royal du 26 juin 1886 autorise à prescrire les conditions nécessaires dans l'intérêt non seulement de la sécurité, mais aussi de la salubrité et de la commodité publiques, ainsi que dans l'intérêt des ouvriers attachés aux établissements où les appareils à vapeur doivent fonctionner.

On retrouve d'ailleurs, dans un certain nombre de règlements, la même disposition fâcheuse au point de vue de la sécurité des chaufferies, qui existe dans le règlement français et qui consiste à édicter en faveur des chaudières enterrées une réduction de la distance à conserver par rapport aux habitations voisines (ville de Barcelone, canton de Neuchâtel, Portugal).

Avec le régime français de la déclaration, et en l'absence de toute prescription réglementaire, il est souvent difficile d'obtenir des industriels l'amélioration de leurs chaufferies. Le personnel de la surveillance en est réduit, ainsi que nous le disions plus haut, à appeler leur attention sur l'aggravation éventuelle de responsabilité qu'entraînerait pour eux, en cas d'accident, une disposition défectueuse de la salle de chauffe, et trop souvent cette perspective lointaine ne suffit pas à les émouvoir, alors surtout qu'ils ne se décident pas toujours sans difficulté

à satisfaire aux prescriptions, pourvues cependant, celles-ci, de sanctions pénales qui sont inscrites dans les règlements. La situation est d'autant plus délicate que le Service des Mines ne peut agir qu'après la mise en service des appareils, alors, par conséquent, que l'installation de la chaufferie est achevée et qu'une modification nécessaire, qui eût été facile à réaliser au moment de la création de l'usine, ne peut plus être effectuée sans une gêne et des frais quelquefois considérables. Étant données toutes ces circonstances et en l'état des choses, ce n'est que d'efforts répétés et patients que l'on peut espérer une amélioration progressive de la situation actuelle généralement défectueuse. Une aide précieuse peut être portée à ce point de vue au Service des Mines par les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur. En particulier, celles-ci sont souvent consultées par leurs affiliés sur l'organisation au point de vue des chaudières des usines nouvelles créées par eux, et il y a œuvre essentiellement utile à faire en appelant à ce moment leur attention sur la nécessité d'avoir des chaufferies hygiéniques et sûres et en les conseillant sur le choix des moyens pour y arriver.

Peut-être conviendrait-il, pour donner plus d'autorité à l'action administrative, de faire de l'obligation d'avoir des chaufferies habitables et où toutes les précautions soient prises pour soustraire le personnel aux conséquences d'une explosion l'objet d'une prescription inscrite dans les règlements. Celle-ci ne pourrait être, évidemment, rédigée qu'en des termes généraux et nécessairement imprécis et, par suite, son inobservation, sous peine de tomber rapidement dans l'arbitraire, ne pourrait guère être relevée en pratique qu'en cas d'accident dont elle aurait aggravé les conséquences. Mais, dans ce cas, l'existence d'une prescription formelle des règlements à laquelle il aurait été contrevenu donnerait sans doute plus de poids aux propositions tendant à la répression de l'imprudence com-

mise. Les avertissements préventifs du Service des Mines y gagneraient sans doute en autorité.

Quoi qu'il en soit, la question peut être discutée et diversement appréciée. Mais une question sur laquelle il nous semble qu'il ne puisse guère y avoir divergences d'opinion, c'est celle de l'inopportunité du régime de faveur créé par l'article 16 du décret du 30 avril 1880 au bénéfice des chaudières enterrées, c'est-à-dire indirectement pour les chaufferies défectueuses. Il semble tout au moins que si la considération du danger auquel l'explosion d'une chaudière peut exposer les habitations voisines légitime peut être jusqu'à un certain point le maintien d'une prescription de ce genre, le bénéfice de la réduction de distance qu'elle édicte ne devrait être acquis qu'aux installations dans lesquelles toutes les mesures auraient été prises pour rendre habitables et sûrs les locaux dans lesquels se ferait le service des générateurs. Il serait désirable, croyons-nous, qu'un correctif de ce genre fût apporté à la réglementation existante, de façon qu'à défaut de lui fournir un appui, elle ne crée pas encore des obstacles au service de surveillance dans l'exécution de la tâche qu'il doit se proposer et qui doit consister à atteindre progressivement le double but indiqué plus haut et que nous rappellerons sommairement comme conclusion de cette étude :

Établissement des chaudières de façon qu'une explosion venant à se produire, le flux brûlant auquel elle donne issue s'échappe dans une direction inoffensive;

Installation des chaufferies de façon que le séjour pour le personnel y soit hygiénique en tout temps et qu'en cas d'explosion, en quelque point qu'un chauffeur se trouve occupé, il ait à sa disposition, pour s'échapper, des issues directes, toujours libres et aisément praticables.

8^e Question

GARANTIES A EXIGER

DES

MÉCANICIENS ET CHAUFFEURS

PAR

M. A. BONNIN

Ingénieur, Professeur honoraire à l'École polytechnique de Montréal
(Canada).

Commissaire spécial délégué à l'Exposition universelle de 1900
par le Gouvernement Provincial de Québec.

INTRODUCTION

Étant donnée la multiplicité des règlements relatifs aux chauffeurs-mécaniciens, règlements variant, non seulement d'une puissance à l'autre, mais aussi, souvent, d'une ville à une ville voisine, il serait difficile de présenter sur ce sujet une étude un peu complète.

D'autre part, les conditions sont elles-mêmes si différentes selon les lieux, qu'une telle étude n'offrirait pas grand résultat pratique. Telle mesure, en effet, parfaitement appropriée dans certaines circonstances, ne convient nullement dans d'autres ; telle limite d'âge, conforme aux

mœurs d'un pays, ne saurait être appliquée sans préjudice dans un milieu où les conditions du travail ne sont plus les mêmes.

Aussi, ne peut-on songer à l'unification de ces règlements ; mais, comme néanmoins, une étude de ce qui se fait peut servir de point de départ à quelques améliorations, nous avons pensé qu'il ne serait pas sans intérêt d'indiquer, dans une première partie, les principales dispositions adoptées là où nous avons pu nous procurer quelques renseignements.

Ces questions spéciales de réglementations propres à chaque pays, ayant toutes une même origine, leur étude présente, en outre, un certain intérêt, au point de vue social.

En effet, la considération dominante, unique même en réalité, qui a guidé les élaborateurs des règlements émanant des pouvoirs publics, a dû être la sécurité publique. On a pu différer sur les moyens à employer pour assurer cette sécurité, mais le but restait le même. Or, comment s'est traduit, dans les différents pays, cette même préoccupation ? Dans quelle limite l'administration est-elle intervenue ?

Du court exposé qui va suivre, il ressort, et ce fait semble irrationnel, que c'est là où l'initiative privée semble jouir, en général, d'une plus grande liberté, que l'on rencontre la plus sévère réglementation et qu'au contraire, dans d'autres pays où la tutelle administrative se fait, pour toute autre chose, plus sentir, on laisse l'employeur entièrement libre dans le choix des hommes auxquels est confiée la conduite des chaudières à vapeur.

Nous nous contentons d'exposer ce fait, sans le commenter, pensant qu'il pourra être l'objet d'intéressantes et utiles discussions.

En dehors des règlements officiels, l'initiative des particuliers et des sociétés joue également un rôle important.

Dans une seconde partie, nous exposerons les principales mesures dues à cette initiative : cours spéciaux, leçons pratiques, concours, récompenses, certificats non officiels, etc.

Quelle a été l'influence de ces diverses mesures ?

De ce côté aussi, les discussions de ce Congrès ne resteront certes pas stériles et il en résultera une nouvelle impulsion qui, mieux dirigée encore, aura, aussi bien pour les propriétaires d'appareils à vapeur que pour ceux à qui sont confiées les machines, les plus heureuses conséquences.

PREMIÈRE PARTIE

Réglementations officielles concernant les chauffeurs-mécaniciens.

Pour s'assurer que les chauffeurs-mécaniciens présentent bien les qualités requises, là où il existe une réglementation à ce sujet, deux moyens sont employés. Le premier consiste à exiger de ces agents un certificat ; le second, à les soumettre simplement à la surveillance de fonctionnaires.

Nous faisons ci-après une rapide revue des mesures prises dans divers pays.

Allemagne.

Le minimum d'âge est fixé à vingt et un ans pour les mécaniciens de locomotives.

Aux termes du règlement du 12 juin 1878 sur les chemins de fer d'intérêt local, le service d'une locomotive ne peut être confié qu'à des agents ayant travaillé au moins un an dans un atelier de machines et après un apprentissage dans le service des locomotives, justifiant de leur

aptitude par un certificat délivré par l'un des administrateurs de chemins de fer allemands.

Les chauffeurs doivent être assez au courant de la conduite des machines pour pouvoir les mettre à l'arrêt.

Le règlement du 30 novembre 1885 sur la police des chemins de fer enjoint, d'autre part, de ne confier la conduite des locomotives qu'à des agents ayant subi avec succès les épreuves de mécaniciens prescrites par le conseil fédéral.

Wurtemberg.

Les chauffeurs et conducteurs de toutes chaudières doivent être munis de certificats.

Lors de l'examen d'une chaudière, avant sa mise en service, l'inspecteur doit vérifier si le personnel chargé de sa conduite est capable et mérite confiance.

Pendant toute la durée de cette inspection, il doit avoir soin de se rendre compte si le chauffeur ou conducteur de la chaudière est suffisamment instruit de ses devoirs.

L'instruction ministérielle du 30 janvier 1858 prescrit aux inspecteurs d'appeler l'attention des chauffeurs sur l'importance de chacune des parties de leurs fonctions et sur les conséquences qui peuvent résulter d'une négligence à les remplir.

Prusse et grand-duché de Bade.

Les inspecteurs doivent s'assurer, lors des revisions, si les chauffeurs connaissent les appareils de sûreté et savent les utiliser.

Saxe.

Les inspecteurs doivent constater si les chauffeurs sont parfaitement au courant des règles générales qu'ils

ont à suivre et leur en délivrer un certificat sur leur demande.

Bavière.

Les commissaires-inspecteurs sont tenus de s'assurer, chaque fois qu'ils en trouvent l'occasion, si les personnes auxquelles sont confiés le service et l'entretien des chaudières et appareils à vapeur sont bien, sous tous les rapports, à la hauteur de leur tâche; sinon l'ordonnance du 14 mars 1874 donne aux commissaires-inspecteurs le droit d'exiger le remplacement des chauffeurs.

Portugal.

Le personnel chargé de la conduite des machines de la marine marchande comprend :

- 1° Les machinistes fluviaux ;
- 2° Les machinistes au long cours.

Les uns et les autres passent des examens devant des agents de l'École navale (marine de guerre). Chaque examen comprend deux épreuves, l'une théorique, l'autre pratique. Cette dernière a lieu à bord d'un navire dont la machine est conduite par le postulant devant le jury. Si l'examen est satisfaisant, après un certain stage dans la navigation à vapeur, il est donné au candidat un diplôme de machiniste fluvial ou de machiniste au long cours, et ce certificat est exigé par les capitaineries de ports pour l'immatriculation dans le personnel mécanicien de la marine marchande.

(Parfois les armateurs obtiennent l'autorisation, sous leur propre responsabilité, pour immatriculer provisoirement, comme machinistes, de simples praticiens, en l'absence de personnel présentant les conditions exigées par

la loi. Dans le but de remédier à cette lacune, on doit prochainement mettre à exécution un projet de loi qui organise l'enseignement des machinistes marchands pour rendre plus facile l'acquisition du diplôme légal.)

Pour les locomotives, les compagnies de chemins de fer instruisent elles-mêmes et examinent leur personnel de mécaniciens.

Quant aux usines, il existe bien dans les écoles industrielles, depuis 1893, des cours dans le but de préparer des chauffeurs-conducteurs de machines, mais toutefois, les fabricants ne sont pas obligés de choisir leur personnel parmi les individus diplômés de ces cours.

Beaucoup d'industriels confient la conduite de leurs appareils à d'anciens ouvriers ou à des chauffeurs retraités de la flotte ou de la marine marchande.

Il n'y a pas, à proprement parler, de contrôle administratif sur les machinistes employés dans l'industrie. A l'inspection périodique des appareils à vapeur, il est tenu compte, indirectement, de l'aptitude du personnel.

Il n'y a aucune limite d'âge officiellement établie.

Belgique.

Sur les chemins de fer de l'État belge, pour être admis en qualité de chauffeur, il faut remplir toutes les conditions requises pour l'obtention d'un emploi d'ouvrier, et en outre :

- 1° Être âgé de 20 ans au moins et 35 ans au plus ;
- 2° Être homme du métier ;
- 3° Savoir lire, écrire (français ou flamand) et connaître les quatre règles.

Les emplois de machinistes sont conférés à la suite de concours organisés par les chefs de service. Ne peuvent prendre part à ces concours que les chauffeurs ayant une

conduite irréprochable, comptant quatre années d'ancienneté.

Tout chauffeur qui est déclaré admissible à l'emploi de machiniste, peut être chargé de la conduite d'une locomotive de manœuvre. Il ne peut être chargé d'un service de route qu'après avoir été appelé à conduire la machine d'un train de marchandises sous la surveillance d'un machiniste-instructeur qui appréciera dans un procès-verbal son degré d'intelligence et sa tenue en service.

En ce qui concerne les chaudières de l'industrie, il est dit dans l'article 47 de l'arrêté royal du 28 mai 1884 :

« La conduite des chaudières à vapeur ne doit être confiée qu'à des agents dont l'expérience et la sobriété donneront toutes les garanties désirables de sécurité. »

Autriche.

On constate les capacités pour le service des chaudières à vapeur par un certificat délivré, soit par un commissaire-inspecteur du gouvernement, soit par une association pour la surveillance des chaudières, autorisée par l'État.

Les instructions autrichiennes disent que, lors des inspections, il convient de rechercher si les chauffeurs possèdent les qualités et les capacités requises.

La limite d'âge est 18 ans.

Hongrie.

Les mécaniciens-chauffeurs doivent être des hommes sérieux.

La conduite ou la garde d'une machine ou chaudière à vapeur, ainsi que la conduite d'une locomotive ne peuvent être confiées qu'à des agents ayant acquis les connaissances et la capacité pratique nécessaires, soit dans un établissement de construction de machines, soit dans le service d'une

locomotive ou d'une machine de bateau à vapeur et ayant donné des preuves de leur capacité par un examen soutenu dans un établissement public d'instruction technique de l'État.

Italie.

La loi du 23 décembre 1888 exige qu'une chaudière à vapeur ne puisse être mise en marche sans la présence continue d'une personne dont la capacité aura été fixée par un règlement.

Pour cela, le décret du 3 avril 1892 institue des certificats de capacité aux fonctions de conducteurs de chaudières à vapeur qui peuvent être délivrés :

1° Par les écoles industrielles ou d'arts et métiers à ce autorisées par le ministre de l'Agriculture, de l'Industrie et du Commerce ;

2° Par les écoles de mécaniciens et chauffeurs de la marine royale et des chemins de fer ;

3° Par les associations de propriétaires d'appareils à vapeur, dûment autorisées ;

4° A la suite d'examens qui ont lieu aux époques et dans les lieux indiqués de temps en temps par le ministre de l'Industrie, de l'Agriculture et du Commerce.

Est assimilé à un certificat de capacité, un certificat établissant que l'intéressé a servi comme mécanicien, ou, pendant six mois au moins, comme chauffeur dans la marine royale, dans la marine marchande nationale ou dans les chemins de fer, ou, pendant deux ans au moins, comme mécanicien ou chauffeur dans les compagnies spéciales du génie militaire ou dans les ateliers des établissements militaires.

Il appartient aux experts officiels, à l'occasion de leurs visites, de s'assurer que le personnel attaché au service des appareils à vapeur possède les qualités requises.

Il est fait mention de cette vérification dans le livret-matricule et dans le rapport adressé à la préfecture ou à la sous-préfecture.

États-Unis.

État de New-York :

Les lois de 1862 (chap. 168) interdisent à quiconque possède une chaudière à vapeur ou en fait usage, d'employer comme mécanicien une personne non pourvue d'un certificat de capacité de mécanicien pratique contresigné par les membres du comité de police.

Cette interdiction est confirmée par l'article 411 du règlement du département de police de la ville de New-York. De même, nul n'a le droit dans cette ville de conduire une chaudière à vapeur soumise à l'inspection de l'administration de police s'il n'est mécanicien et pourvu du certificat de capacité du comité de police.

Les certificats de capacité ne sont valables que jusqu'à une date déterminée qu'ils indiquent et sont renouvelables à leur expiration. Ils peuvent être révoqués si le titulaire est convaincu de négligence ou d'intempérance.

La procédure à suivre pour leur délivrance est la suivante :

Deux mécaniciens pratiques, membres de la section de salubrité, sont désignés comme mécaniciens-examineurs. Ils sont chargés, sous la direction du capitaine de la section de salubrité, d'examiner tous les candidats qui sollicitent la délivrance ou le renouvellement d'un certificat de mécanicien breveté. Ces mécaniciens-examineurs adressent pour chaque cas un rapport écrit au capitaine de la section de salubrité, constatant si le candidat a ou non les qualités requises.

Dans l'affirmative, ils signent un certificat de capacité qui est délivré aux candidats après avoir été approuvé par

le capitaine de la section de salubrité et contresigné par les membres du comité de police.

Si lors de l'examen du candidat, les examinateurs acquièrent la conviction qu'il est dépourvu d'aptitude naturelle, d'habileté, de connaissance ou d'expérience en fait de mécanique, ou qu'il est, par suite d'habitude d'intempérance, incapable de remplir les obligations du service d'une manière compatible avec la sécurité de personnes, le certificat de capacité lui est refusé. Les certificats sont, de plus, révoqués chaque fois que la preuve de semblable défaut est acquise.

Les porteurs de certificats doivent s'adresser au capitaine de la section de salubrité pour le renouvellement des examens et des certificats au moins 10 jours avant l'expiration de ceux-ci. Aucun certificat n'est renouvelé sans un nouvel examen du candidat.

Le capitaine de la section de salubrité, dans un délai de 15 jours au plus et de 10 jours au moins avant l'expiration de chaque certificat, avise le propriétaire de l'établissement où se trouve la chaudière mentionnée dans le certificat de la date de l'expiration de celui-ci. Après chaque examen ou réexamen, le capitaine en fait connaître le résultat au propriétaire de la chaudière et lui indique si le certificat ou le renouvellement du certificat a été accordé ou refusé.

District de Colombie.

La loi du 28 février (chap. 272) interdit les fonctions de mécaniciens proposés au service d'une machine à vapeur à tout individu non patenté en cette qualité. La patente n'est délivrée qu'après examen; son coût est de 3 dollars.

Tout mécanicien trouvé en état d'ivresse dans l'exercice de ses fonctions est privé de sa patente pour 6 mois

la première fois, pour 1 an en cas de récidive et définitivement à la seconde récidive.

Suisse.

En ce qui concerne les usines, il n'existe aucune réglementation générale, aucune surveillance administrative émanant du pouvoir fédéral. La limite d'âge n'est pas fixée.

Chaque compagnie de chemin de fer exige un examen pour ses mécaniciens, et le certificat obtenu donne droit de conduire sur n'importe quel réseau suisse.

Pour les aides-mécaniciens et chauffeurs, il n'y a pas d'examen.

Canton de Zurich et de Turgovie.

L'expert officiel doit porter son attention sur le chauffeur et la manière dont il remplit ses fonctions.

Canton de Neuchâtel.

La conduite d'une chaudière ou d'une machine n'est confiée qu'à un mécanicien ou chauffeur reconnu capable par la commission de surveillance; cet employé doit être autorisé par le conseil d'État.

Russie.

Les agents chargés de la conduite des chaudières doivent avoir des connaissances spéciales, constatées par voie d'examen.

Lors des visites intérieures, on doit s'assurer que le chauffeur connaît le but et l'usage des appareils de sûreté,

et qu'il sait quelles mesures sont à prendre lorsque le niveau baisse au-dessous de la limite normale.

Canada.

Il n'existe de règlements généraux, pour tout le Canada, qu'en ce qui concerne les mécaniciens de bateaux. Pour ces agents, il est établi 4 classes, la limite d'âge est de 21 ans pour les trois dernières, et 22 pour la première.

Les demandes d'examens doivent être adressées au bureau d'inspecteur des bateaux à vapeur ou à l'inspecteur de la division où réside le candidat ; elles doivent être accompagnées de preuves de service et de certificat de sobriété, d'expérience, d'habileté, de bonnes mœurs et de bonne conduite en général pendant au moins les 12 mois qui précèdent la date de la demande d'examen.

Les certificats sont révoqués.

Un stage comme mécanicien d'une classe immédiatement inférieure est exigé pour passer à une classe supérieure.

Province de Québec.

Les mécaniciens et chauffeurs pour chaudières fixes doivent avoir une bonne conduite et justifier de connaissances techniques suffisantes. (57 Victoria, chap. xxx, p. 62-63.)

L'inspecteur des établissements industriels peut exiger que ces chauffeurs et mécaniciens soit en possession d'un certificat donné, soit par un examinateur d'inspecteur de chaudières à vapeur, soit par un inspecteur de chaudières à vapeur, soit par le président d'une association de mécaniciens, attestant sa compétence.

Il existe, en outre, dans plusieurs municipalités, des règlements spéciaux ; ceux de Montréal sont calqués sur

ceux de New-York. Les chauffeurs-mécaniciens, pour pouvoir prendre en charge une chaudière ou une machine à vapeur, doivent être porteurs d'un certificat délivré après examen devant l'inspecteur municipal des chaudières.

Ce certificat est révocable pour causes et doit être renouvelé chaque année.

Il existe une classe de chauffeurs et trois classes de mécaniciens, chaque classe correspond à une puissance maximum de la machine que le titulaire est autorisé à conduire.

Indes Néerlandaises.

Dans chaque installation comportant une ou plusieurs chaudières à vapeur, il doit y avoir au moins un mécanicien ou chauffeur, pourvu d'un certificat de capacité délivré par l'ingénieur en chef.

De plus, nul ne peut être chargé de la conduite d'une locomotive de tramway en qualité de mécanicien, s'il n'a travaillé pendant 1 an au moins dans un atelier de machines à vapeur et si, après 3 mois d'apprentissage comme chauffeur ou mécanicien, il n'a pas donné de preuve suffisante de son aptitude et de sa connaissance des lois ou règlements, tant dans les voyages d'essai que dans un examen.

Il lui est délivré, par les administrateurs, une attestation du bon résultat de l'examen qui lui sert comme certificat de capacité.

Norvège.

Sauf pour la marine de guerre et pour la marine de commerce, il n'y a, en ce qui concerne les mécaniciens-chauffeurs, aucune prescription légale.

En ce qui concerne les usines et machines industrielles, la profession de mécanicien est entièrement libre.

Plusieurs villes ont néanmoins une réglementation spéciale.

Ville de Bergen.

Nul ne peut être chargé de la conduite d'une chaudière ou d'une machine avant d'avoir présenté à la commission des bâtiments un certificat constatant qu'il possède les connaissances pratiques nécessaires et qu'on peut avoir confiance en lui. Ce certificat doit être délivré par une personne digne de foi et compétente, et être revêtu du *visa* de l'inspecteur déclarant qu'il le considère comme valable.

Espagne. (Séville.)

Pour exercer l'emploi de mécanicien et de chauffeur, il est indispensable de justifier, par le moyen d'un certificat, d'avoir conduit une chaudière ou machine à vapeur pendant 1 an au moins sous les ordres d'un ingénieur ou d'un mécanicien diplômé, ou au service d'un établissement, fabrique ou entreprise de renommée industrielle reconnue.

Le règlement du 1^{er} avril 1884 spécifie que le propriétaire d'une chaudière est responsable du défaut d'accomplissement des prescriptions concernant les garanties à exiger des mécaniciens et chauffeurs.

L'ingénieur-inspecteur doit examiner avec une grande attention les antécédents, la valeur pratique et les garanties des mécaniciens ou chauffeurs auxquels est confiée la conduite de toute chaudière ou machine à vapeur.

France

Il n'existe des dispositions légales qu'en ce qui concerne les bateaux et les chemins de fer.

En vertu du décret du 9 avril 1883 relatif aux bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières, nul ne peut, en effet, être employé en qualité de mécanicien sur ces bateaux, s'il ne produit un certificat de capacité délivré dans la forme déterminée par le ministre des Travaux publics.

L'ordonnance de M. le Préfet de police du 3 janvier 1888, concernant le fonctionnement des appareils à vapeur sur la voie publique à Paris, contient les dispositions suivantes :

« ART. 12. — Nul ne peut être employé en qualité de chauffeur d'un appareil à vapeur fonctionnant sur la voie publique, s'il ne produit un certificat délivré dans les formes usitées pour les mécaniciens de bateaux à vapeur et sur l'avis des ingénieurs des mines. »

Une commission spéciale est d'ailleurs délivrée pour chaque genre de machine, locomobile ou automobile, et en ce qui concerne particulièrement ces derniers véhicules, un décret du 10 mars 1899 (titre III, art. 2) impose à tout conducteur d'automobile d'être porteur d'un certificat de capacité. Ce certificat est délivré, après examen passé devant l'ingénieur des mines ou un délégué, conformément à la circulaire du ministre des Travaux publics en date du 10 avril 1889.

D'autre part, l'arrêté réglementaire du préfet de police en date du 8 octobre 1886, concernant la délivrance des commissions, des capitaines et des mécaniciens pour les bateaux à vapeur fonctionnant dans Paris, ordonne que :

ART. 1^{er}. — Les commissions des mécaniciens seront délivrées à la suite d'un examen.

ART. 2. — Pour être admis à subir l'examen, les candidats devront :

- 1° Produire un extrait de leur acte de naissance ;
- 2° Avoir 21 ans révolus ;
- 3° Fournir des certificats authentiques constatant qu'ils ont une conduite régulière et qu'ils sont de bonnes vie et mœurs.

ART. 5. — L'ingénieur en chef des mines du service des appareils à vapeur est chargé de l'examen des candidats mécaniciens.

Le candidat doit avoir l'expérience nécessaire pour la conduite prompte et sûre d'une machine à vapeur et connaître toutes les parties de la machine et le rôle de chacune d'elles.

Le procès-verbal indiquera que le candidat est capable d'entretenir la machine en bon état : qu'il peut, par exemple, refaire ou réparer un joint..... en un mot, qu'il est à même de démonter et de remonter la machine, pièce à pièce, sinon de forger et d'ajuster les pièces qui la composent.

Ajoutons que, dans le service des usines de la ville de Paris, on exige des candidats mécaniciens, même pour les machines non sur la voie publique, qu'ils soient porteurs du certificat dont il est question dans l'art. 12 de l'ordonnance du 3 janvier 1888.

Dans les compagnies de chemins de fer français, le recrutement des chauffeurs et conducteurs de locomotives est basé sur l'arrêté ministériel du 3 mai 1892. Nous donnons ci-après le texte *in extenso* de cet arrêté :

ART. 1^{er}. — A partir du 1^{er} juin 1892, quiconque demandera un emploi de chauffeur assistant un mécanicien-conducteur de train sur un chemin de fer servant à l'exploitation, ne pourra être admis au concours que s'il satisfait aux conditions suivantes :

- 1° Être Français ou naturalisé Français ;
- 2° Avoir fait constater par un médecin agréé par l'admi-

nistration du chemin de fer, qu'il présente toutes les conditions physiques nécessaires, notamment qu'il distingue les signaux par l'ouïe et par la vue et qu'il perçoit nettement les couleurs ;

3° Avoir subi d'une manière satisfaisante un examen technique et des essais pratiques.

ART. 2. — Le programme minimum de l'examen technique comprend :

Des notions élémentaires sur le règlement des signaux, sur les principaux organes de la machine et du tender, et, notamment, sur les appareils de sûreté :

Le programme minimum des essais pratiques comprend :

L'arrêt de la machine, la manœuvre des freins et l'alimentation.

ART. 3. — A partir du 1^{er} juin 1892, quiconque demandera un emploi de mécanicien-conducteur de train sur un chemin de fer ouvert à l'exploitation ne pourra être admis au concours que s'il satisfait aux conditions suivantes :

1° Être Français ou naturalisé ;

2° Avoir subi l'examen médical ;

Avoir fait un service d'une durée minimum de 6 mois comme chauffeur assistant un mécanicien-conducteur de train, sauf exceptions justifiées par des circonstances spéciales et avec autorisation de l'administration ;

Avoir subi d'une manière satisfaisante un examen technique et des essais pratiques.

ART. 4. — Le programme minimum de l'examen technique comprend :

Le règlement des signaux, le règlement des mécaniciens, le règlement sur la circulation des trains, ainsi que les instructions et ordres de service qui s'y rapportent ou en tiennent lieu ;

Le montage et le démontage des principales pièces de la machine et du tender, le fonctionnement de tous les organes, la connaissance des organes et de la manœuvre des divers freins en usage sur le réseau de la compagnie à laquelle

appartient l'agent, les avaries de route et les moyens d'y remédier.

Le programme minimum des essais pratiques comprend la conduite de plusieurs trains.

ART. 5. — Le jury d'examen est nommé par l'administration du chemin de fer.

Avant toute autorisation de faire le service de mécanicien-conducteur de train ou chauffeur assistant un mécanicien-conducteur de train, une copie certifiée conforme du procès-verbal de l'examen technique et des essais pratiques est envoyée à l'ingénieur en chef du contrôle de l'exploitation technique, qui s'assurera que l'examen répond bien aux conditions prescrites par le présent arrêté. »

En résumé, ne considérant que les villes ou pays mentionnés précédemment, on peut établir la classification suivante :

Lieux où un certificat est exigé.

Mécaniciens de locomotives seulement :

Allemagne. — Belgique.

Mécaniciens de bateaux et de locomotives :

Portugal.

Mécaniciens de bateaux, de locomotives et de machines placées ou circulant sur la voie publique :

France.

Pour toute personne chargée de conduire une chaudière :

Autriche. — Hongrie. — Italie. — État de New-York.
— État de Colombie. — Canton de Neuchâtel (Suisse). —

Russie. — Ville de Bergen (Suède). — Ville de Montréal (Canada). — Ville de Séville (Espagne). — Indes Néerlandaises. — Wurtemberg. — Saxe. — Province de Québec (Canada).

Lieux où les agents chargés de la conduite des chaudières sont soumis à la surveillance de l'administration.

Wurtemberg. — Grand-duché de Bade. — Saxe. — Bavière. — Autriche. — Italie. — Canton de Zurich et Turgovie (Suisse). — Russie. — Province de Québec (Canada).

En France, en Portugal et en Norvège, la profession de chauffeur-mécanicien pour les machines de l'industrie est donc complètement libre, sauf la restriction mentionnée ci-dessus, pour la France, en ce qui concerne les machines fonctionnant sur les fleuves, chemins de fer et voies publiques, c'est-à-dire dans des milieux non industriels, à grande agglomération humaine, et pour lesquels des accidents pourraient devenir de véritables catastrophes.

Pour ces milieux, la réglementation se présente sous deux formes : pour les locomobiles fonctionnant sur la voie publique, les automobiles et les bateaux, le certificat de capacité est délivré par l'ingénieur en chef des mines de l'État, seul ; pour les chemins de fer, au contraire, le certificat est délivré par l'administration des chemins de fer elle-même ; l'ingénieur en chef du contrôle de l'État n'intervient que pour s'assurer que l'examen répond aux conditions prescrites par un arrêté administratif.

En ce qui concerne la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, en particulier, le programme des questions à

demander aux candidats mécaniciens-chauffeurs comporte les points suivants :

N ^o des Questions	QUESTIONS
20	Quels sont les appareils de sûreté d'une chaudière de machine locomotive ?
21	Quelle est l'utilité des soupapes du manomètre ?
22	Quelle est l'utilité du verre de niveau d'eau ?
23	Quelle est l'utilité des robinets de jauge ?
ESSAIS PRATIQUES	
24	Alimentation de la chaudière. Mise en fonctionnement des injecteurs.

Rappelons, pour terminer, que dans plusieurs pays, bien qu'il n'y ait pas de lois émanant du pouvoir central, relatives aux chauffeurs-mécaniciens, il existe des règlements municipaux.

Ainsi qu'on a pu le voir, entre les règlements sévères de l'État de New-York et l'absence de réglementation pour les chauffeurs-mécaniciens de l'industrie, comme cela a lieu en France, Portugal, Norvège, il y a loin.

Certes, le certificat présente une garantie, mais seulement à condition qu'il soit le résultat d'un examen sérieux, sinon il n'est plus qu'une mesure vexatoire. La surveillance administrative elle-même n'est pas sans inconvénient; elle peut, dans certains cas, devenir arbitraire.

Quelles seraient les meilleures mesures à prendre ?

L'extension des certificats à la conduite des chaudières industrielles s'impose-t-elle ?

L'action de l'initiative privée par ses cours, concours et diplômes de fin d'études suffit-elle ?

Pour la délivrance éventuelle du certificat de capacité y a-t-il lieu d'appliquer un mode de réglementation analogue à celui des chemins de fer, c'est-à-dire la délivrance d'un certificat par une commission spéciale prise

en dehors de l'administration, celle-ci n'intervenant que pour une approbation ultérieure?

Y a-t-il lieu d'appliquer un système mixte, comme en Italie, en constituant un jury d'examen par une commission dans laquelle seraient représentés tous les intéressés : administration, industriels et ouvriers mécaniciens?

Quoi qu'il en soit, les associations, les propriétaires d'appareils à vapeur peuvent, dans ces diverses solutions, apporter un précieux concours à l'administration et à l'industrie.

DEUXIÈME PARTIE

Cours et concours de chauffeurs.

L'initiative privée intervient le plus souvent sous forme de cours spéciaux, de leçons pratiques données par un maître chauffeur devant la chaudière, et enfin des concours ayant généralement comme sanction des certificats de capacité et des récompenses.

Les cours spéciaux pour chauffeurs-mécaniciens semblent, depuis quelques années surtout, tendre à se généraliser tant en France qu'à l'étranger.

En France, tantôt ces cours sont placés sous le patronage des sociétés industrielles et des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, dans le personnel technique desquels sont recrutés en grande partie les professeurs; tantôt ils sont organisés par des syndicats ouvriers qui, considérant la question sociale à son point de vue le plus élevé, ont compris que pour améliorer le sort de leurs adhérents, il ne suffisait pas de défendre leurs droits, mais aussi de les instruire et de les rendre par là mieux à même de remplir leurs devoirs.

Des sociétés, ayant pour but spécial l'enseignement

populaire, telles que la Société Polytechnique et la Société Philotechnique, ont également ouvert des cours spéciaux pour les chauffeurs-mécaniciens ; enfin, dans certaines grandes compagnies, ayant un nombreux personnel, des conférences sont faites aux agents chargés de la conduite des machines par les chefs de service.

En dehors du côté purement pratique, matériel, ces leçons ont aussi pour effet, et nous avons pu le constater maintes fois nous-mêmes, d'inspirer aux auditeurs un plus grand respect d'eux-mêmes, de leur faire envisager leur profession sous un jour nouveau, de leur donner une opinion plus élevée de leurs importantes fonctions et, comme conséquence, de relever ainsi leur niveau moral.

Le chauffeur, nous le concédons, n'a pas nécessairement besoin de pouvoir analyser tous les phénomènes de la combustion pour remplir parfaitement son devoir et, par contre, on peut être très versé dans la physique industrielle et n'être qu'un sujet très médiocre quand il s'agit, la pelle à la main, d'obtenir le maximum de vapeur avec une quantité de charbon donnée ; mais, l'un n'est pas un obstacle à l'autre, et le chauffeur instruit aura sur son collègue ignorant cet avantage que, se rendant compte de ce qui se passe sur sa grille, il s'intéresse à son travail et, de simple manœuvre, il deviendra un auxiliaire intelligent.

Bien entendu, ce qui vient d'être dit pour le chauffeur s'applique, et *a fortiori* même, au conducteur-mécanicien.

Nous n'irons cependant pas jusque-là où l'on croit devoir pousser les choses dans certains pays. Nous avons pour notre compte entendu poser à des candidats plusieurs questions auxquelles bien des élèves de nos grandes écoles techniques hésiteraient peut-être à répondre. Nous pourrions citer telle ville étrangère où l'on exige des mécaniciens, pour l'obtention de la licence sans laquelle il

n'est pas permis de conduire une machine, de pouvoir calculer des rivures des plus complexes, des diamètres de ressorts, des pièces de machines soumises à des efforts simultanés de flexion et de torsion, et tout cela au moyen de certaines formules plus ou moins empiriques.

Nous considérons cette instruction, comme plus dangereuse qu'utile ; l'application irraisonnée de ces formules pouvant avoir les plus funestes conséquences, et leur étude ne présentant pour les mécaniciens-conducteurs aucun intérêt pratique.

Nous ne nous étendrons d'ailleurs pas plus sur cette question ; les discussions qui, très probablement, suivront, permettant d'approfondir beaucoup plus complètement cet intéressant sujet.

Les cours sont en général suivis d'examens ayant pour sanction des certificats donnés aux candidats qui en sont reconnus dignes.

A Paris, deux grandes organisations ouvrières et les Sociétés techniques procèdent ainsi.

A la Fédération centrale des chauffeurs-conducteurs-mécaniciens, il est fait chaque semaine, des cours spéciaux sur les chaudières à vapeur, les machines, la conduite des automobiles et l'électricité industrielle. Ces cours sont suivis par de nombreux élèves, et, chaque année, des certificats sont donnés à la suite d'examens passés devant un jury composé de personnes d'une compétence reconnue.

A la Fédération générale française, on procède de la même manière, mais le certificat n'est accordé qu'aux candidats ayant suivi les cours pendant deux années.

D'ailleurs, dans plusieurs villes de la province et dans la plupart des pays étrangers, des cours et des conférences sont également donnés pour les chauffeurs-mécaniciens.

Quant aux leçons de chauffage proprement dit, là où il existe des associations de propriétaires d'appareils à

vapeur, un maître chauffeur est presque toujours mis à la disposition des membres de ces associations pour instruire le personnel préposé à la conduite des chaudières.

Des concours de chauffeurs ont de plus été organisés en plusieurs points, et les résultats semblent avoir été assez encourageants pour que l'on puisse souhaiter de voir de tels concours se généraliser.

Nous retrouvons ici encore les efforts tentés et les bons résultats obtenus par les associations de propriétaires d'appareils à vapeur, dans la propagation de l'instruction professionnelle nécessaire aux chauffeurs-mécaniciens, et nous ne saurions trop rappeler ici le concours précieux qu'elles peuvent apporter sur cette intéressante question des capacités à demander aux chauffeurs-mécaniciens pour la conduite des appareils qui leur sont confiés.

9° Question

LES

CHAUDIÈRES A PETITS ÉLÉMENTS

RÉSULTATS OBTENUS

AU POINT DE VUE DE LA SÉCURITÉ

PAR

M. COMPÈRE

INGÉNIEUR,

Directeur de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur.

PREMIÈRE PARTIE

En 1889, au Congrès international de mécanique appliquée, M. Olry, ingénieur en chef des mines, fit une conférence sur les chaudières à petits éléments.

Il fit ressortir la nécessité de la création de types spéciaux de générateurs pour l'emploi de la vapeur à haute pression, et la possibilité de résoudre le problème par la production de vapeur dans des tubes de petit diamètre, de 7 à 12 centimètres.

Les chaudières à tubes d'eau ainsi constituées répondaient en outre, tant au point de vue du voisinage des agglomérations humaines que de l'augmentation des puissances à mettre en mouvement, au développement, dans les villes, des installations d'électricité et d'autres industries.

Elles présentaient, en effet, le grand avantage de permettre une forte production de vapeur sous une faible capacité.

Les nouvelles chaudières répondaient également aux nécessités d'augmentation de vapeur et de force des usines existantes.

M. Olry, après avoir rappelé les principaux caractères des chaudières à petits éléments et exposé les conditions qu'elles doivent remplir, résumait sa conférence en disant que les générateurs à tubes d'eau, quand ils sont bien conçus et bien construits, peuvent présenter une supériorité incontestable au point de vue de l'économie du combustible, de l'économie de poids, de la conduite, de la facilité de montage et de la rapidité de mise en pression ; mais il ajoutait qu'il ne faut jamais perdre de vue que ces générateurs doivent être ménagés et qu'ils comportent des soins particuliers, en ce qui concerne l'alimentation et la conduite des feux, sous peine de voir des accidents se produire.

C'est ainsi que, reprenant les statistiques officielles à partir de l'année 1870, M. Olry était amené à conclure que « les chaudières à petits éléments sont plus susceptibles que d'autres aux accidents, mais que, dans tous les cas, aucun accident n'avait produit d'effet dynamique appréciable, et que, sous ce rapport, le but poursuivi au point de vue de la sécurité a été atteint de la manière la plus complète ».

Ceci rappelé, je ne chercherai, dans la présente note, à dégager, parmi les progrès réalisés par l'emploi des chaudières à petits éléments, que ceux qui se rapportent à la question de sécurité, les autres devant rester dans le cadre du Congrès international de mécanique appliquée où ils seront exposés par la voix autorisée de M. Walckenaer, ingénieur en chef des mines du département de la Seine.

Je reprendrai tout d'abord les études qui ont été faites sur cette question depuis 1889 :

1° *Note sur les chaudières à l'Exposition de 1889 au point de vue de la sécurité*, que j'ai présentée à la Société des Ingénieurs civils de France en 1890.

Dans cette note, j'ai rappelé les conclusions de M. Olry, en y ajoutant une classification des accidents, au nombre de 14, survenus jusqu'en 1888 ; cette classification m'a permis de formuler alors les conclusions suivantes pour l'installation et la marche des chaudières multitubulaires :

« La résistance du type de chaudière adopté devra être bien assurée ; il devra en être de même pour la circulation ;

Les appareils de sûreté réglementaires et ceux particuliers aux générateurs devront être constamment en bon état et en fonctionnement permanent ; il devra en être de même pour les appareils d'alimentation ;

Les nettoyages devront être faits fréquemment et dans toutes les parties des appareils ;

Les portes des boîtes à tubes et du foyer seront tenues fermées et bien loquetées ;

Les chambres de chauffe auront une largeur suffisante, et des moyens de retraite seront assurés aux chauffeurs et mécaniciens ;

Les feux ne devront pas être trop forcés ;

L'usage des désincrustants solides et volumineux devra être proscrit d'une façon absolue ;

Les préposés à la conduite des appareils devront présenter une plus grande instruction professionnelle. »

Aujourd'hui l'Administration supérieure a l'habitude, lorsqu'elle accorde une dérogation d'emplacement pour chaudières à tubes d'eau, d'insérer d'une manière régulière et comme de style, les conditions ci-après dont on remarquera l'analogie avec un certain nombre des conclusions en dessus.

« Les portes de boîtes à tubes seront tenues fermées pendant le travail et leur fermeture sera garantie par un dispositif d'une solidité assurée et d'un contrôle facile. Les portes de foyers et les fermetures des cendriers seront disposées de manière à s'opposer efficacement et automatiquement à l'irruption d'un flux de vapeur supposé mis en liberté à l'intérieur du fourneau.

Toutes ces fermetures seront aussi étanches que possible, et le jeu des portes de foyers et de cendriers sera toujours facile.

Les divers appareils annexes des générateurs seront maintenus en bon état d'entretien et de fonctionnement permanent.

Les feux seront conduits avec une modération suffisante eu égard aux facilités de renouvellement de l'eau dans le faisceau des tubes bouilleurs.

Il sera tenu un registre mentionnant la date et la nature des nettoyages et des réparations de chaque chaudière, ainsi que le résultat des visites complètes effectuées conformément à l'article 36 du décret du 30 avril 1880. »

2° Note sur les inconvénients de l'emploi de certains désincrustants dans les chaudières à petits éléments, par M. Olry, ingénieur en chef des mines.

Cette note a été motivée par deux explosions survenues en novembre 1889 sur des chaudières multitubulaires dans lesquelles avaient été introduits, comme désincrustants, ainsi que cela se pratiquait auparavant dans les anciennes chaudières qu'elles remplaçaient, pour l'une des pommes de terre, pour l'autre du bois de campêche ; dans cette deuxième explosion, un mécanicien en passant devant le jet de vapeur fut blessé si grièvement qu'il succomba quelques jours après. M. Olry faisait remarquer que si l'emploi de tels désincrustants est admissible pour des chaudières à grand corps, il ne saurait l'être pour des

chaudières multitubulaires dont les dimensions sont beaucoup plus réduites.

3° *Communication sur les explosions de chaudières à tubes d'eau* faite par M. Vinçotte, ingénieur-directeur de l'Association belge de surveillance des chaudières, au 14^e Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur tenu à Marseille en 1890.

Après avoir examiné les statistiques officielles des explosions en Allemagne, en Belgique et en France, pour les années 1886 à 1889, M. Vinçotte arrivait à conclure que, pendant ces quatre années « les chaudières à tubes d'eau ont occasionné proportionnellement trois fois plus d'accidents que les autres ; deux fois plus de morts d'hommes, qu'elles ont donc introduit de nouvelles causes de danger, mais que le plus grand nombre d'accidents vient surtout de ce qu'on ignorait les règles à suivre pour la construction et la conduite d'appareils aussi nouveaux, et qu'il n'y a pas de doute qu'on ne puisse en éviter la plus grande partie ».

Passant à la cause de ces accidents, M. Vinçotte, à défaut de statistiques précises, a relevé la répartition suivante :

Les mauvaises soudures de tubes, environ.....	50 %	} du nombre total des explosions de chaudières à tubes d'eau.
Les déchirures de tubes par coup de feu ou par corrosion.....	30 %	
Les autres causes.....	20 %	

Ainsi, d'après M. Vinçotte, la moitié des explosions de chaudières à tubes d'eau a consisté dans le décollage de soudures défectueuses.

Trois déchirures de tubes survenues en 1889 à Moustier, sur une batterie de 4 chaudières de Naeyer et ayant entraîné la mort de deux hommes et des brûlures graves à deux autres, fortifièrent M. Vinçotte dans ses conclusions

sur la question de soudures : les trois déchirures en ligne droite consistaient, en effet, dans le décollage de soudures n'ayant que des recouvrements de 0 à 4^{mm}. Les tubes des quatre chaudières furent alors démontés, essayés à 30 atmosphères, et martelés sous cette pression. L'épreuve fut décisive : sur 420 tubes essayés, 31 s'ouvrirent brusquement sur des longueurs variant de 7 à 80 centimètres, et suivant des soudures sans recouvrement.

L'Association belge rédigea alors un cahier des charges pour la réception des tubes, dont les trois clauses principales étaient : l'essai hydraulique à 50 atmosphères avec martelage, l'essai d'emboutissage et de collerette aux extrémités, et enfin des recouvrements de soudures aux extrémités de 18 à 20^{mm}.

4° *Note sur les conditions de recette des tubes des chaudières multitubulaires* que j'ai présentée à la Société des Ingénieurs civils de France en novembre 1891.

Dans cette note, j'ai reproduit les cahiers des charges de la Compagnie de l'Est et de la Marine pour la fourniture des tubes en fer ou en acier pour chaudières.

J'ai rappelé également le travail de M. Vinçotte et l'application du cahier des charges de l'Association belge à une réception des tubes qui avait été confiée à notre Association parisienne.

J'ai indiqué, incidemment, le procédé en usage dans la maison Belleville, pour la réception des tubes, à savoir : l'enfoncement, à chaque extrémité des tubes, en 3 ou 4 coups de marteaux à devant, d'un mandrin qui augmente le diamètre de 5^{mm} environ. A cet essai, tout tube présentant la plus légère crique à son extrémité est rebuté.

Au sujet des soudures, je signalais que, dans la liste des accidents relevés officiellement en France de 1876 à 1889, sur 13 ouvertures brusques de tubes, 3 seulement étaient consignées comme s'étant produites suivant la ligne de soudure ; la proportion du décollage de soudures,

d'après la statistique française, était donc beaucoup moindre que celle indiquée par M. Vinçotte.

D'ailleurs, M. Vinçotte semble attribuer les accidents qu'il a relatés uniquement au décollage des soudures ; peut-être y a-t-il eu au préalable surchauffe des tubes, due aux diverses causes bien connues maintenant : obstruction, défaut d'alimentation total ou local, etc. ? Avec une telle surchauffe, il était évident qu'une soudure défectueuse à recouvrement insuffisant ne pouvait résister.

5° *Recherches sur les causes des accidents des chaudières multitubulaires* que j'ai présentée à la Société des Ingénieurs civils de France en août 1893.

Ces recherches ont été faites de 1876 à 1891 dans le bulletin des accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur que le *Journal officiel* publie chaque année. Elles m'ont amené à la classification suivante :

		Nombre de :			
		Accidents.	Tués.	Blessés.	
Déchirures de tubes.	Au coup de feu.	Manque d'eau. { Par défaut d'alimentation....	7	4	3
		{ Par obstruction.	6	2	2
		Cas divers.....	5	2	2
	à des tubes surchauffeurs.	Chaudières à niveau d'eau dans le faisceau tubulaire.	5	3	5
		Corrosions extérieures....	1	1	»
	Projection de tubes, dont quatre cas de serrage en marche.....		8	8	11
Mauvais montage de chaudière.....		1	3	»	
		<u>33</u>	<u>23</u>	<u>23</u>	

Sur les 33 accidents survenus, le décollage de soudures n'a été relevé que dans cinq cas, et encore, sur ces cinq cas, y en a-t-il trois qui ont pour cause première le manque d'eau ; la proportion de décollages de soudures est donc, d'après les statistiques françaises, comme je

l'avais déjà relevé, beaucoup plus faible que celle indiquée par M. Vinçotte.

En adoptant la classification de M. Vinçotte pour les accidents de générateurs multitubulaires, nous trouvons en effet les chiffres suivants :

Déchirures de tubes.	{ Décollage de soudures.....	45 %	au lieu de 50
	{ Coups de feu ou corrosions...	58 %	— 30
Autres causes.....		27 %	— 20

L'examen de chacun des accidents m'a amené à un certain nombre de conclusions que je crois utile de rappeler ici :

« Bien vérifier la marche des appareils d'alimentation, pompes, petits chevaux, injecteurs, etc. ;

Ne jamais fermer en marche, autant que possible, dans les générateurs Belleville, le robinet gradué d'alimentation ;

Ne pas employer le même petit cheval pour alimenter à la fois un générateur multitubulaire à haute pression et un générateur à pression moindre ;

Vérifier l'état du loquetage des portes de boîtes à tubes ;

Ne jamais ouvrir les portes de boîtes à tubes, *même et surtout* en cas d'accident. La maison Belleville met maintenant une barre de sûreté horizontale sur ces portes ; dans d'autres installations, elles sont cadenassées ;

Ne pas les ouvrir non plus pour arrêter la chaudière ; il y a lieu de noter ici que la maison Belleville a supprimé l'inscription : pour stopper ouvrir les portes de boîtes à tubes, qu'elle fixait sur ces portes ;

Nettoyer à fond toutes les parties des chaudières ;

Vérifier le nettoyage des chaudières par des visites intérieures complètes ;

Supprimer d'une façon absolue l'emploi de tout désincrustant solide et volumineux ;

Ne jamais serrer en marche les joints des bouchons de tubes en cas de fuites. »

Dans une deuxième partie de mon étude, j'ai reproduit le nouveau cahier des charges de la Marine en date du 30 mai 1892 remplaçant celui du 2 juin 1890.

Ce nouveau cahier des charges prescrivait, pour les tubes soudés, l'essai du passage d'un boulet à l'intérieur des tubes pour en augmenter le diamètre de $1/40$. La pression hydraulique d'épreuve était portée de 30 à 50 kilos, mais quant au recouvrement, il ne devait être qu'au moins égal à deux fois l'épaisseur des tubes.

Puis, j'ai rendu compte des divers essais de traction que j'avais suivis dans une usine fabriquant des tubes soudés.

De ces essais, il résultait qu'une soudure, si elle est bien faite, peut donner toute sécurité et que sa résistance est alors celle du métal lui-même.

Ces essais ont porté également sur les diverses phases du passage au boulet, et ils m'ont amené à envisager ces essais qu'avec un retreint des tubes essayés au boulet, *fait à chaud et non à froid*, comme le prescrit la Marine. Le retreint à froid met en effet le tube dans des conditions dangereuses d'écroutissage.

6° *De quelques mesures propres à augmenter la sécurité de l'emploi des chaudières à petits éléments* par M. Walckenaer, ingénieur en chef des mines. (Extrait des *Annales des Mines*, livraison de novembre 1894.)

Dans cette étude, M. Walckenaer, parlant du plus grand nombre d'accidents et de victimes causés par les chaudières multitubulaires, s'exprime ainsi :

« C'est là une situation défectueuse à laquelle on ne saurait se résigner. Les raisons de sécurité ont été pour beaucoup dans le développement pris par l'emploi des chaudières à petits éléments, et il est exact, remarquons-le, que ces chaudières excluent d'une manière que l'on peut

rendre presque absolue, l'éventualité des accidents à grands effets dynamiques.

Mais, pour qu'il y ait progrès, il ne faut pas que ces avantages considérables soient achetés au prix d'une suite d'accidents de détail dont la répétition aboutisse, pour une même quantité de vapeur produite, à faire autant ni surtout plus de victimes que les accidents plus destructeurs parfois, mais plus rares, des chaudières à grands corps.

Afin d'échapper à une pareille conséquence, il convient, semble-t-il, de s'attacher à réaliser des progrès de deux sortes dans l'emploi des chaudières à petits éléments : les uns ayant pour objet de diminuer la fréquence des accidents, les autres d'en rendre les conséquences inoffensives pour les personnes.

Puis M. Walckenaer examine chacune des deux phases de la question.

1° En ce qui concerne les mesures ayant pour but de diminuer la fréquence des accidents, M. Walckenaer arrive à des conclusions analogues à celles que j'avais formulées en 1893; il insiste tout particulièrement sur la nécessité de conduire les feux avec une suffisante modération eu égard aux facilités de renouvellement et de circulation de l'eau dans le faisceau des tubes bouilleurs;

2° Quant aux mesures propres à rendre, autant que possible, inoffensives pour les personnes les avaries auxquelles sont le plus sujettes les chaudières à petits éléments, M. Walckenaer pense que, dans une large mesure, on doit pouvoir y réussir. Il doit, dit-il en effet, être possible de préserver les chauffeurs contre l'atteinte de ces bouffées, surtout dans deux circonstances :

1° Lorsqu'elles proviennent d'orifices peu étendus, comme lorsqu'un tube se déchire ou qu'un joint de tampon cède;

2° Lorsqu'elles proviennent d'appareils qui ne renfer-

ment que de faibles réserves d'énergie, tels que les chaudières en manque d'eau.

Or, c'est pratiquement toujours avec la première de ces circonstances, et parfois avec les deux ensemble, qu'apparaissent les accidents de chaudières à petits éléments.

Avec les dispositions actuelles de presque toutes les chaudières à vapeur, multitubulaires ou non, les chauffeurs, loin d'être garantis contre les flux de ce genre, y sont particulièrement exposés. Le fourneau offre en effet, du côté de la chaufferie, les issues les plus faciles pour les fluides provenant en particulier d'une déchirure produite dans la région du coup de feu : portes de foyer s'ouvrant vers le chauffeur et fréquemment dépourvues de loquets ; ouvertures du cendrier généralement béantes ou sans fermeture stable ; pour les chaudières à petits éléments, portes de boîtes à tubes plus ou moins parfaitement loquetées.

Il faudrait, au contraire, barrer ces chemins d'issue à la vapeur et aux gaz du foyer.

On peut, sans difficulté, poursuit M. Walckenaer, munir les ouvertures de chargement de portes qui, en dehors des temps de chargement, sont invariablement fixées dans la position de fermeture. Il suffit d'avoir des portes s'ouvrant vers l'intérieur du foyer ; pour les cendriers, les portes peuvent être mobiles, et disposées de telle sorte qu'elles tendent à se fermer sous l'influence de la moindre pression intérieure au cendrier, et qu'elles soient toujours libres de le faire.

Enfin, les portes de boîtes à tubes doivent être barricadées solidement. En aucun cas, les portes de boîtes à tubes ne doivent être ouvertes au cours du fonctionnement de la chaudière, et moins que jamais si une fuite se fait entendre.

M. Walckenaer ajoute enfin : « Il ne suffit pas de fermer

et de barricader ces diverses ouvertures. Il faut évidemment que le fourneau, s'il est envahi par une bouffée de pression, offre à cette bouffée un écoulement suffisamment facile, et par ailleurs une solidité générale suffisante, pour prévenir le danger d'éclatement du fourneau lui-même. Comme les carneaux de fumée peuvent être insuffisants pour cet objet, soit par suite de leurs dispositions, soit parce qu'ils peuvent se trouver au moment d'un accident plus ou moins étranglés par le registre, il est généralement nécessaire que le fourneau présente une « *paroi faible* » par où la bouffée s'en ira dans une direction inoffensive. »

7° *Les trappes d'expansion de vapeur des fourneaux de chaudières* par M. Walckenaer, ingénieur en chef des mines. (Extrait des *Annales des Mines*, livraison de mai 1896.)

Dans cette note, M. Walckenaer décrit un dispositif adopté pour la création de la *paroi faible* dont il avait indiqué le principe dans son travail de 1894.

L'un de ces dispositifs avait été adopté par MM. Delaunay-Belleville et C^{ie}; l'autre avait été combiné par la Compagnie continentale Edison.

Ces trappes d'expansion ont parfaitement fonctionné lors des deux explosions qui se sont produites à des chaudières qui en ont été munies; ce fut par elles que la vapeur s'échappa.

M. Walckenaer, en terminant, revient sur les portes de foyer dont la fermeture doit être non seulement autoclave mais automatique, c'est-à-dire que, lorsqu'elle est ouverte pendant le chargement par exemple, elle doit se fermer automatiquement, s'il se produit une pression à l'intérieur du foyer.

DEUXIÈME PARTIE

Ayant ainsi passé en revue les travaux relatifs à la sécurité dans l'emploi des chaudières multitubulaires, il est logique de rechercher si ces travaux ont eu pour conséquence de diminuer le nombre des accidents et des victimes.

Les recherches ne peuvent être faites que dans les statistiques publiées chaque année par le Ministère des Travaux publics.

Ces recherches m'ont permis de dresser les tableaux suivants dans lesquels j'ai fait ressortir le nombre d'accidents et de victimes par rapport au nombre des chaudières existant en France :

1° Accidents produits par les chaudières fixes qui ne sont pas à petits tubes bouilleurs (tableau I).

Accidents produits par les chaudières fixes non à petits tubes bouilleurs.

(TABLEAU I).

ANNÉES	CHAUDIÈRES	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS	ACCIDENTS TUÉS BLESSÉS		
					par 10 000 chaudières		
1891	35699	16	11	4	4,48	3,08	1,12
1892	35540	7	»	2	1,96	»	0,56
1893	36924	18	22	14	4,87	5,95	3,79
1894	36880	11	8	6	2,98	2,16	1,62
1895	37688	10	16	5	2,65	4,24	1,32
1896	38238	11	5	5	2,87	1,30	1,30
1897	38671	11	7	4	2,84	1,81	1,03
1898	38556	14	9	13	3,63	2,33	3,37
		98	78	53			

2° Accidents produits par les chaudières multitubulaires dans le département de la Seine (tableau II).

**Accidents produits par les chaudières multitubulaires
pour le département de la Seine.**

(TABLEAU II).

ANNÉES	CHAUDIÈRES	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS	ACCIDENTS TUÉS BLESSÉS		
					par 10 000 chaudières		
1891	490	2	»	1	40,81	»	20,40
1892	527	2	»	1	37,95	»	18,97
1893	565	2	»	3	35,39	»	53,09
1894	589	5	»	2	84,88	»	33,95
1895	666	3	»	»	45,04	»	»
1896	863	9	1	1	104,28	11,58	11,58
1897	942	9	1	1	95,54	10,61	10,61
1898	925	2	»	1	21,62	»	10,81
		34	2	10			

OBSERVATION. — L'année 1896 ne comprend pas l'accident du 6 février produit par le déboîtement d'un robinet d'alimentation (1 ouvrier grièvement brûlé).

3^o Accidents produits par les chaudières multitubulaires dans les autres départements (tableau III).

**Accidents produits sur les chaudières multitubulaires
pour les autres départements.**

(TABLEAU III).

ANNÉES	CHAUDIÈRES	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS	ACCIDENTS TUÉS BLESSÉS		
					par 10 000 chaudières		
1891	1306	5	2	»	38,28	15,31	»
1892	1248	5	3	2	40,06	24,03	16,02
1893	1384	2	1	7	14,45	7,22	51,30
1894	1529	2	»	»	13,08	»	»
1895	1746	1	1	1	5,72	5,72	5,72
1896	1959	5	3	1	25,52	15,31	5,10
1897	2099	9	2	2	42,87	9,52	9,52
1898	2292	7	4	2	30,54	17,45	8,72
		36	16	15			

OBSERVATION. — L'année 1898 ne comprend pas les accidents du 30 juin (décollement de la bride d'un robinet de purge, soudée à l'étain (chauffeur mortellement brûlé), et du 16 juillet (ouverture en grand d'un corps supérieur (1 tué, 1 blessé grièvement et 3 blessés légèrement).

Pour les accidents produits par les chaudières multitubulaires, il m'a paru utile de séparer ceux survenus dans

le département de la Seine où ces chaudières ont pris une grande extension, car elles constituent dans ce département les 35 p. 100 du nombre total de chaudières multitubulaires existant en France.

Les chaudières fixes relevées dans le premier tableau sont celles désignées par les statistiques officielles sous le libellé suivant : Chaudières chauffées en tout ou en partie à l'extérieur.

Ces chaudières représentent en effet celles ayant le caractère d'appareils fixes; les autres de types demi-fixes ne sauraient être remplacées par les chaudières à petits tubes bouilleurs et il ne nous paraît pas logique de faire de comparaison entre ces deux systèmes d'appareils.

Dans ces tableaux, j'ai fait ressortir le nombre d'accidents et de victimes, tués ou blessés par 10 000 chaudières. Les relevés n'y remontent qu'à 1891; jusqu'à cette époque les statistiques n'avaient pas fait ressortir le nombre de chaudières à petits tubes bouilleurs.

Ces tableaux mettent d'abord en évidence la part importante qu'occupent les chaudières à petits tubes bouilleurs dans l'accroissement du nombre de chaudières de divers systèmes en service : de 1890 à 1891 inclus, le nombre de chaudières fixes non multitubulaires s'est augmenté de 2857, et celui des chaudières multitubulaires de 1421, soit la moitié environ, alors que les chaudières multitubulaires ne représentent que le 1/20 des chaudières fixes en 1891 et le 1/12 en 1898.

L'examen des tableaux précédents permet ensuite de faire plusieurs remarques :

1° Tout d'abord, le nombre des accidents consignés dans le « *Journal officiel* » est proportionnellement plus grand pour les chaudières multitubulaires que pour les autres; mais il faut remarquer que jusqu'à présent, ce qu'on doit entendre par accidents n'était pas très défini et que l'Administration a pu compter comme accidents des

ouvertures de tubes suivant de faibles sections qui auraient pu ne pas rentrer dans les statistiques; celles-ci peuvent donc présenter à ce sujet quelque inexactitude.

De plus, en ce qui concerne en particulier le département de la Seine, le nombre d'accidents est aussi grand que celui de la France entière; mais il faut reconnaître que les chaudières multitubulaires du département de la Seine existent surtout dans les secteurs électriques, les magasins, les hôtels, etc.; dans ces établissements, le personnel mécanicien, qui connaît bien ses devoirs, n'omet jamais de déclarer les accidents au Service des mines, même s'ils n'ont entraîné aucune victime, ainsi qu'il est prescrit par l'art. 38 du décret du 30 avril 1880. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Passant au nombre de victimes, nous constatons qu'avec les chaudières non multitubulaires 98 accidents ont entraîné 78 morts et 53 blessures graves, alors qu'avec les chaudières multitubulaires 70 accidents n'ont entraîné que 18 morts et 25 blessures graves.

L'examen de ces chiffres confirme que l'accident des chaudières multitubulaires est moins mortel et moins dangereux. D'ailleurs la répartition du nombre des victimes est inverse avec les types de chaudières : il y a plus de tués et moins de blessés avec les chaudières non multitubulaires et inversement moins de tués et plus de blessés avec les chaudières multitubulaires.

En ne nous occupant que du nombre de tués et de blessés, nombre qui est sûrement exact, car les accidents ayant entraîné des victimes sont forcément déclarés, nous constatons tout d'abord que, en dehors du département de la Seine, le nombre de tués et de blessés par 10000 chaudières est plus fort que pour les autres chaudières. Il est monté, pour les tués, à 24,03 en 1892 sans descendre au-dessous de 5,72 en 1895, alors que pour les autres

chaudières, il n'est pas monté au-dessus de 5,95 et il s'est même abaissé à 1,30 en 1896.

Dans la période étudiée, les cas de morts représentent encore le $\frac{1}{5}$ des morts survenus avec les autres chaudières et les blessures, le $\frac{1}{3}$ environ, alors que les chaudières multitubulaires ne représentent en moyenne que $\frac{1}{20}$ des chaudières fixes.

Il ne semble donc pas qu'il y ait eu en France amélioration dans cette période et même progrès d'une année sur l'autre.

Il n'en est pas de même dans le département de la Seine : pendant cette période de 8 années il n'y a eu que 2 morts.

Il y a, dans ce chiffre, une constatation intéressante et fort instructive ; il faut rechercher la cause des résultats acquis dans la connaissance plus approfondie des appareils, dans leur meilleure conduite et dans leur bon entretien, dans les visites faites régulièrement et enfin dans la surveillance active exercée sur les appareils.

En outre, les conséquences des accidents ont diminué, grâce aux barrages des portes et au bon fonctionnement des trappes d'expansion.

Il y a donc eu dans le département de la Seine une amélioration très sensible.

Ainsi s'est réalisée la conclusion de M. Vinçotte quand il écrivait qu' « en connaissant mieux la construction et la conduite de ces nouvelles chaudières, il n'y a pas de doute qu'on ne puisse éviter à l'avenir la plus grande partie des accidents ».

Ces remarques générales faites, il est nécessaire d'entrer dans le détail des accidents.

Ces accidents peuvent se résumer dans la classification suivante (tableau IV).

Classification des accidents d'après leur nature.

(TABLEAU IV).

DÉSIGNATION DE L'ACCIDENT	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS
Déchirures de tubes.....	48	4	18
Projection de tampons.....	10	12	3
Cas divers.	8	3	4

Dans la période précédente à celle étudiée actuellement, c'est-à-dire dans celle relatée dans mon travail de 1893, soit de 1876 à 1891, 24 déchirures de tubes avaient entraîné 12 morts et 10 blessures graves ; 8 projections de tubes avaient entraîné 8 morts et 11 blessures graves.

La comparaison de ces chiffres montre que dans la deuxième période, les déchirures de tubes sont devenues beaucoup moins dangereuses ; les cas de morts ne représentent que le 1/12 des accidents alors qu'ils étaient la moitié dans la période précédente.

Au contraire, les projections de tampons restent très meurtrières ; il y a autant de tués que d'accidents ; aucune amélioration ne paraît s'être produite dans la conséquence même de l'accident. L'amélioration ne se retrouverait que dans le nombre même des accidents : il a été de 8 de 1876 à 1891, alors qu'il n'a été que de 10 de 1891 à 1898, c'est-à-dire dans une période où le nombre de chaudières en service a presque doublé.

Les accidents, d'après le type de chaudières, donnent la classification suivante (tableau V).

Classification des accidents d'après le système des générateurs.

(TABLEAU V).

DÉSIGNATION DES SYSTÈMES DE CHAUDIÈRES	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS
Belleville.....	27	»	6
Babcock et Wilcox.....	10	5	3
De Naeyer.....	7	7	7
Oriolle.....	7	4	3
Roser.....	4	»	4
Niclausse.....	4	1	1
Paxman.....	2	»	1
Mathot.....	1	1	»
Terme et Deharbe.....	1	»	1
Pressard.....	1	»	»
Divers.....	4	2	»
TOTAL.....	68	20	26

En reprenant la classification d'après les milieux industriels, comme je l'ai fait en 1893, nous trouvons la comparaison suivante (tableau VI).

Classification des accidents d'après les milieux.

(TABLEAU VI).

ANNÉES	DÉSIGNATION DES MILIEUX	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS
de 1876 à 1891	Bateaux.....	10	9	9
	Usines diverses.....	15	10	10
	Usines d'électricité.....	8	4	4
de 1891 à 1898	Bateaux.....	9	3	10
	Usines diverses.....	17	11	5
	Usines d'électricité.....	32	2	9

Ces chiffres mettent en relief l'amélioration produite dans les installations électriques ; le nombre de victimes y a considérablement diminué. Nous avons déjà constaté plus haut ce fait important.

L'examen détaillé des causes de chacun des accidents insérés dans le *Journal officiel* ne fait que confirmer les recommandations que nous avons rappelées plus haut dans la revue des travaux publiés.

Au cours de cet examen, j'ai relevé en plus les indications suivantes :

1° Le nombre de cas où l'enquête a permis d'établir que, pour les ouvertures des tubes, la déchirure s'était produite suivant la soudure, a été de 12 sur les 48 accidents relevés, soit le quart ; cette proportion reste faible comme celle que j'ai relevée dans mon travail de 1893, soit 5 cas sur 33 accidents ;

2° Les diverses circonstances qui ont accompagné les accidents et qui rentrent dans les justes préoccupations de M. Walckenaer quand il a parlé de divers dispositifs propres à augmenter la sécurité dans l'emploi des chaudières à petits éléments sont groupés dans le tableau suivant (tableau VII).

Circonstances diverses ayant accompagné les accidents.

(TABLEAU VII).

	DÉSIGNATION DES CIRCONSTANCES	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS	
				GRIÈVEMENT	LÉGÈREMENT
Ouverture de tubes.	Trappes d'expansion et portes automatiques ayant bien fonctionné.	8	»	»	»
	Portes de foyer sans fermeture autoclave.	2	1	3	»
	Portes de boîtes à tubes, fermées, mais arrachées.	1	»	1	»
	Accidents survenus au moment du chargement, les portes de foyer étant ouvertes.	4	1	2	2
	Portes de foyer mal jointes.	1	»	1	»
	Ouverture de portes de cendrier.	1	1	1	1
	Déraponnements.	Façade arrachée.	1	1	1
La porte de foyer non loquetée s'est ouverte.		1	»	»	4
Ouverture de la porte de cendrier.		2	1	2	»

3° Enfin, j'ai séparé en deux catégories les ouvertures de tubes suivant leur diamètre, quand celui-ci est inférieur ou supérieur à 100^{mm}. J'ai trouvé les chiffres suivants (tableau VIII).

Classification des ouvertures de tubes d'après leur diamètre.

(TABLEAU VIII).

DIAMÈTRE DES TUBES	ACCIDENTS	TUÉS	BLESSÉS GRIÈVEMENT	BLESSÉS LÉGÈREMENT
Tubes dont le diamètre est inférieur ou égal à 100 ^{mm}	28	4	5	5
Tubes dont le diamètre est supérieur à 100 ^{mm}	15	3	12	5

Les victimes des ouvertures de tubes paraissent moins nombreuses pour les tubes de moindre diamètre ; cela doit être, car l'ouverture de la plaie doit être moins grande avec des tubes de petit diamètre.

Les accidents pour des tubes inférieurs à 100^{mm} se sont produits d'ailleurs avec les circonstances aggravantes suivantes (tableau IX).

Circonstances ayant accompagné les ouvertures de tubes inférieurs à 100^{mm}.

(TABLEAU IX).

DÉSIGNATION		DIAMÈTRE DES TUBES	LONGUEUR DES DÉCHIRURES DE TUBES
Tués.	Portes de foyer non loquetées.....	90 ^{mm}	0,30
	Portes de foyer non loquetées et mauvaise disposition de chauffe- rie.....	70	0,40
	Chaudières de Lateaux.....	55	0,35
	— — —.....	63	"
Blessés.	Chaudières de bateaux (2 cas).....	100	0,38
	— — —.....	100	"
	— — —.....	55	0,14
	Porte ouverte pour le chargement.	100	0,43

Ces relevés montrent que l'ouverture des tubes inférieurs à 100^{mm} est devenue dangereuse en raison de la longueur sur laquelle elle s'est étendue ; de plus, le danger a été augmenté par le défaut de fermeture à l'avant ou par des chaufferies trop exigües comme celles des bateaux.

La qualité insuffisante du métal et de la soudure doit entrer pour une certaine part dans le développement en longueur des déchirures de tubes ; dans ces déchirures il doit se passer, à condition égale de surchauffe, des faits analogues à ceux qui se produisent dans les explosions de chaudières : quand le métal est de qualité inférieure, la rupture originelle se propage rapidement pour s'étendre parfois à toutes les parties des appareils.

Cette séparation des déchirures de tubes, suivant que le diamètre est supérieur ou inférieur à 100^{mm}, m'a été inspirée par le travail que M. Walckenaer a publié dans les *Annales des Mines* sur les accidents causés par les ruptures de tubes à fumée de 1880 à 1896 — livraison de mai 1897. — M. Walckenaer fait ressortir que, sur 15 cas de ruptures de tubes ayant causé des accidents de personnes, 7 se sont produits avec des tubes variant de 6 à 9 centimètres, et les 8 autres avec des tubes de diamètre supérieur à 10 centimètres, et toutes les morts causées par ces accidents l'ont été par des tubes de cette seconde catégorie.

Dans ces divers cas, les tubes étaient en laiton, mais quel que soit le métal des tubes, il semble se dégager, d'après le travail de M. Walckenaer et les chiffres que j'ai relevés plus haut pour les chaudières à petits tubes bouilleurs, que la section des ruptures de tubes de diamètre supérieur à 100^{mm} tend à être dangereuse.

Cette remarque, rapprochée de la faible proportion de victimes, par rapport au nombre des déchirures de tubes dans les chaudières multitubulaires, justifie la

décision prise actuellement par le Service du département de la Seine, de ne plus considérer comme accident devant entraîner l'enquête administrative, les ouvertures de tubes inoffensives, quand le diamètre est inférieur à 100^{mm} et la longueur de la déchirure inférieure à 200.

Cette décision ne peut que rendre plus normale une statistique dans laquelle il était exagéré, pour les comparaisons à faire, d'inscrire les ruptures de tubes de peu d'étendue et dans laquelle on n'inscrit pas d'ailleurs les ruptures de tubes à fumée quand elles sont également inoffensives.

Il y a lieu de noter ici que les tubes à fumée, même en fer ou en acier, ne sont pas exempts d'accidents : M. Walckenaer, dans son travail sur les accidents causés par la rupture des tubes à fumée, de 1888 à 1896, a relevé, il est vrai, qu'aucun des tubes ayant donné lieu aux accidents n'était en fer ou en acier ; mais depuis, le 26 novembre 1898, dans une chaudière semi-tubulaire à 2 bouilleurs, un tube de fumée s'est déchiré sur 30 centimètres de longueur, en entraînant des brûlures graves à un ouvrier.

Nous avons examiné plus particulièrement jusqu'ici les déchirures de tubes ; il est nécessaire maintenant de revenir sur les projections de tampons.

J'ai relevé plus haut que ces accidents étaient beaucoup plus meurtriers que les ouvertures de tubes.

Une première raison en vient de ce fait que l'accident se produit parfois quand, imprudemment, on serre les bouchons de tampons en marche et que la tige d'attache se rompt.

De plus, la projection des tampons non autoclaves est toujours plus dangereuse.

J'ai fait ressortir ce fait dans le tableau suivant (tableau X).

ACCIDENTS DE CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES

Projection de tampons.

(TABLE)

BOUCHONS AUTOCLAVES				BOUCHONS NON AUTOCLAVES				MAUVAISES RÉPARATION		
TYPE DU GÉNÉRATEUR	TUÉS	BLESSÉS grièvement	BLESSÉS légèrement	OBSERVATIONS	DATE	TYPE DU GÉNÉRATEUR	TUÉS	BLESSÉS grièvement	BLESSÉS légèrement	OBSERVATIONS
Type analogue au système Babcock et Wilcox.....	1	"	1	Serrage en marche.	26 juin 1892.	Babcock et Wilcox (type ancien).....	2	"	"	
					17 juin 1892.	Terme et Deharbe.....	"	1	1	Serrage en marche.
					30 sept. 1893.	De Naeyer....	1	1	"	
					12 avril 1896.	De Naeyer....	3	"	"	Serrage en marche.
					5 février 1896.	De Naeyer....	"	"	"	
					24 oct. 1898.	De Naeyer....	3	"	"	Serrage en marche.
					4 octobre 1891.	Non indiqué.	1	"	"	
					29 déc. 1894.	Babcock et Wilcox.....	"	"	4	
					9 janvier 1895.	Oriolle.....	1	1	"	

Ces chiffres montrent qu'il faut interdire d'une manière très rigoureuse tout serrage à chaud des bouchons de tampons : sur 12 morts, 7 sont survenues dans ces conditions.

Il faut ensuite, d'une manière absolue, que les bouchons soient autoclaves : 9 morts sont survenues avec des projections de bouchons non autoclaves. Même autoclave, le bouchon doit être étudié convenablement : la mort, survenue, même avec un bouchon autoclave, tient à une assise insuffisante du bouchon.

En résumé, dans ces huit dernières années, il y a eu une amélioration très sensible dans l'emploi des générateurs multitubulaires au point de vue de la sécurité de leur personnel conducteur.

Cette amélioration s'est fait tout particulièrement sentir dans le département de la Seine, où une surveillance plus attentive est exercée.

Les accidents spéciaux aux chaudières multitubulaires sont les déchirures de tubes et les projections de tampons.

Les accidents par déchirures de tubes sont devenus de moins en moins dangereux, et il paraît logique de ne plus les faire rentrer dans la statistique officielle que lorsque la section de la déchirure est assez grande : le Service des mines du département de la Seine précise actuellement cette section, en ne considérant, comme accident, que toute ouverture se produisant sur des tubes supérieurs à 100^{mm}, et sur une longueur supérieure à 200^{mm}.

L'emploi de petits tubes inférieurs à 100^{mm} paraît préférable au point de vue de la sécurité.

En ce qui concerne la projection de tampons, elle est toujours très dangereuse, et il y a lieu de proscrire toute fermeture non autoclave.

Enfin, il faut avoir grand soin d'enseigner au personnel que le serrage à chaud des tampons est toujours une très grave imprudence; il faut ensuite tenir la main à ce que cette recommandation soit toujours bien suivie.

10^e Question

ÉPURATION DES EAUX D'ALIMENTATION

DES CHAUDIÈRES A VAPEUR

PAR

M. FRITZ KRAUSS

Ingénieur de l'Association autrichienne des propriétaires
d'appareils à vapeur, à Vienne.

Les eaux naturelles, dont nous nous servons pour l'alimentation des chaudières à vapeur, qu'elles proviennent soit d'une source, d'un puits ou d'un fleuve contiennent toutes une quantité plus ou moins grande de matières minérales ou organiques sous forme de solution ou de suspension. Par l'alimentation, ces matières étrangères sont introduites dans les chaudières avec l'eau. Elles n'ont pour la plupart qu'une solubilité restreinte et diminuant avec le degré de température et de pression à laquelle l'eau est portée. Partout où l'eau alimentaire ne provient pas de la condensation de la vapeur, chaque nouvelle alimentation apporte à la chaudière une nou-

velle quantité de matières étrangères qui y forment un dépôt de boue ou des incrustations dures, adhérentes aux tôles de la surface de chauffe.

De là surgissent des inconvénients considérables dans la marche et le régime régulier des chaudières. Il en résulte la nécessité d'un nettoyage périodique qui toutefois demande la mise au froid et la vidange complète. Selon la qualité de l'eau alimentaire, ce nettoyage est encore un travail plus ou moins long et difficile occasionnant un total de dépenses très élevé. On peut dire que dans les grandes usines, pour une batterie de six chaudières, il y en a toujours une qui se trouve en nettoyage. On aurait donc à mettre au compte du nettoyage de six chaudières les intérêts du coût et l'amortissement d'une septième. C'est donc environ 2 p. 100 de la consommation annuelle du charbon. Les pertes de chaleur par la mise au froid et les frais de remise sous pression après nettoyage, s'élèvent à environ 1 p. 100 de la consommation annuelle, tandis que le travail du nettoyage direct revient à environ 3 p. 100 de la consommation annuelle. La dépense totale est donc de 6 p. 100 au moins du coût du combustible. Mais ce n'est pas encore tout. Les dépôts qui s'accumulent dans l'intérieur d'une chaudière rendent la surface de chauffe moins pénétrable à la chaleur, et dès la mise en marche d'une chaudière, le rendement en vaporisation va en diminuant. La différence en rendement de deux chaudières, dont l'une est propre tandis que l'autre est entartrée, peut être évaluée à environ 4 p. 100 du pouvoir calorifique du charbon. On a donc à ajouter la moyenne de 2 p. 100 aux 6 p. 100 déjà énumérés. Il en résulte une dépense totale de 8 p. 100 du coût annuel de charbon. Pour les petites usines qui ont moins de chaudières, les dépenses sont plus élevées et les inconvénients plus importants.

Il était donc bien naturel que, depuis le moment où

l'on se servit des chaudières à vapeur, on se mit aussi à la recherche des moyens propres à écarter les désavantages d'une eau alimentaire impure.

Les palliatifs dont on se servait à l'origine avaient pour but principal de faciliter le travail de nettoyage. Il y a des procédés et des méthodes anciennes qui sont encore en usage aujourd'hui : c'est pourquoi je crois ne pas devoir complètement les laisser sans mention. Un de ces anciens procédés a même tout récemment acquis une grande popularité, c'est l'introduction du pétrole dans les chaudières, méthode sur laquelle je reviendrai plus tard. Tous ces procédés n'avaient ou n'ont encore pour but non point de supprimer les dépôts, mais de les rendre mous et moins adhérents aux tôles.

On comprend encore sous ce titre les diverses peintures des tôles à l'huile et graisse minérale ou végétale, l'emploi du suif, du goudron et du graphite, tous plus ou moins dangereux, plus ou moins efficaces suivant les circonstances et l'intelligence qui préside à leur emploi. Leur application imprudente est souvent la cause des défauts importants suivies des graves effets. Aux degrés élevés de température de la vapeur, les huiles et graisses de provenance animale ou végétale se décomposent et les acides sébacés attaquent les tôles en y creusant de profondes corrosions; aussi les graisses et huiles, quoique minérales, se combinent-elles avec les sels de chaux dissous dans l'eau pour former des savons gras, lourds et tenaces qui se collent aux tôles et donnent lieu à des coups de feu. Une mince couche de goudron donne de bons résultats, en facilitant le détachement des dépôts; mais il exige que le goudron soit appliqué en état chaud, ce qui constitue un travail dur et pénible. Le graphite est souvent broyé à l'huile de lin qui est la cause des corrosions des tôles; broyé à l'eau, il est peu efficace. L'application d'une couche de pein-

ture aux tôles exposées au contact des flammes est toujours dangereuse.

Pour faciliter le nettoyage des chaudières et pour rendre les dépôts moins durs et moins adhérents aux tôles, on introduit quelquefois dans les chaudières elles-mêmes des matières qui causent la décomposition chimique des sels de chaux. Le catechu, les extraits de tan et la soude peuvent servir ici comme exemples. C'est le tannin contenu dans le catechu et les extraits du tan qui doit précipiter la chaux de l'eau alimentaire, mais son efficacité n'est pas grande, les extraits n'en contiennent qu'un peu mélangé à une grande quantité d'autres impuretés. De toutes les matières qu'on introduit dans les chaudières pour prévenir la formation des dépôts durs, le carbonate de sodium est le plus efficace. Il vaut la peine de considérer d'un peu plus près l'action chimique de la soude à l'intérieur d'une chaudière. M. le professeur Rossel, à Berne, en a fait en 1887 une étude intéressante. En présence du bicarbonate de chaux dissous dans l'eau alimentaire, le carbonate de soude se transforme en bicarbonate de soude, tandis que le carbonate de chaux est précipité. A la température élevée de l'eau de chaudière, le bicarbonate de soude est décomposé et il en régénère le carbonate. Ainsi une même quantité de carbonate de soude introduite dans la chaudière garde toujours son efficacité pour la précipitation du carbonate de chaux. Le sédiment du carbonate de chaux forme un dépôt pulvérulent dans la chaudière, dont une partie peut être chassée par le robinet de vidange après un repos de quelques heures. Pour la décomposition du sulfate de chaux qui formerait des dépôts durs, il faut un surplus de carbonate de soude ; celui-ci se transforme alors en sulfate de soude soluble, tandis que le carbonate de chaux est précipité. Il est très difficile de déterminer au juste les quantités nécessaires pour la décomposition

des sels de chaux de l'eau. Aussi, comme on peut seulement se débarrasser d'une petite partie des dépôts par le robinet de vidange, la grande partie du sédiment reste dans la chaudière, dont le nettoyage régulier est nécessaire. On voit bien que cette méthode ne suffit pas aux exigences d'une épuration rationnelle, mais dans bien des cas l'application du carbonate de soude est le seul moyen pour garantir la marche de la chaudière pendant les jours de travail de l'année. La solution du carbonate de soude rend l'eau de la chaudière alcaline; les armatures en métal, les robinets surtout sont vivement attaqués et demandent un soin tout particulier.

Il y a quelques années qu'on fit l'essai de l'addition des chromates aux eaux alimentaires pour faciliter le dégagement des sels de chaux en forme pulvérulente. Les chromates n'attaquent pas seulement les carbonates, mais aussi les sulfates de chaux et de magnésie. La chaux devait se précipiter comme chromate de chaux, tandis que le chromate de sodium reste dissous, s'il y a plus de carbonates que de sulfates. Si le contraire a lieu, il se forme une solution de sulfate de sodium et d'acide chromique libre. On prétend que le dernier n'exerce aucune action sur les tôles. M. le docteur Richter, qui a fait une étude spéciale sur l'allure des chromates, en a adressé un rapport à la succursale de Hambourg du Verein Deutscher Ingenieure. J'en extrais le passage suivant : « On introduisit par jour, dans une chaudière Cornouailles de 100 mètres cubes de surface de chauffe, un kilogramme de chromate de soude. La production de vapeur était d'environ 15 kilos par mètre carré de surface de chauffe et par heure. L'eau avait 18 degrés hydrotimétriques. La durée des deux essais était de trois mois chacun. Les dépôts dans la chaudière après trois mois de marche avaient une couleur gris verdâtre et étaient moins volumineux, moins durs et plus faciles à détacher au

marteau que les dépôts antérieurs. On n'arrivait pourtant pas à supprimer totalement la formation de tartre. Un contrôle chimique continu accusait une alcalinité croissante et la présence de grandes masses de sulfate de soude. La boue qu'on tirait de temps en temps par le robinet de vidange consistait en oxyde de chrome et en carbonate de chaux; on ne trouvait jamais de chromate en chaux. » La prétendue formation de chromate de chaux ne se confirmait donc pas. Il faut plutôt supposer que le peu d'effet du chromate provient de sa réduction par les matières organiques à la température élevée et sous la haute pression, d'où résulte une formation d'oxyde de chrome et d'hydroxyde de sodium qui transforme le sulfate de chaux d'une manière connue. On pourrait donc obtenir le même effet en se servant de la soude caustique seulement, quoique la grande masse d'oxyde de chrome qui se trouve dispersée dans le carbonate de chaux en réduise favorablement la consistance. On n'a pas pu constater des corrosions sur des plaques de cuivre, de laiton, de fer et de plomb qu'on avait suspendues dans la chaudière.

Enfin, il y a des matières, dont l'introduction dans les chaudières a un effet mécanique plutôt que chimique sur les précipités des sels calcaires. Autrefois on se servait, des pommes de terre, de la glycérine, des albuminants, etc.; maintenant ce n'est qu'à titre exceptionnel que ces procédés sont encore en usage.

Depuis environ 2 années, une pratique américaine s'est popularisée et a pris un développement considérable. C'est l'injection de pétrole. Elle a lieu généralement au moyen d'un lubrificateur ou appareil de graissage intercalé dans le conduit d'alimentation, qui refoule goutte par goutte une certaine quantité de pétrole à l'intérieur de la chaudière. Pour bien comprendre l'action du pétrole à l'intérieur de la chaudière, il faut d'abord constater que le pétrole ne cause aucune transformation chimique des

sels de chaux qui, eux aussi, sont tout à fait insolubles dans le pétrole. Le pétrole exerce une action purement mécanique.

Son introduction régulière et goutte par goutte produit une dispersion uniforme dans l'eau de la chaudière. La vaporisation et le dégagement des gaz dissous dans l'eau contribuent à la formation des émulsions qui soutiennent de petites bulles de pétrole en suspension et des forces moléculaires font que ces parties de pétrole suspendues forment une enveloppe aux minuscules agglomérations de molécules précipitées. Cette enveloppe ne leur permet pas de se réunir en masse compacte et dure, de sorte que les dépôts reçoivent une consistance légère et pulvérulente qui en facilite le détachement. Une brosse ou un balai suffisent généralement pour nettoyer la chaudière. L'action du pétrole ne se borne pas aux précipités en formation, mais aussi aux couches de dépôts qui se trouvent dans les chaudières provenant du service antérieur suivi d'un nettoyage peu soigneux. La petite tension superficielle du pétrole lui permet d'entrer dans des pores et fentes très étroites. Partout où la couche de tartre présente une cavité ou une fente, le pétrole tend à y pénétrer et creuse son chemin jusqu'à la paroi métallique. Arrivé là, il tend à s'étendre à la tôle et à s'introduire entre la paroi et la couche calcaire. L'influence de la chaleur qui pénètre par dehors, cause le dégagement et la vaporisation des parties volatiles, tandis que les huiles lourdes du pétrole se carbonisent. Ces procédés sont accompagnés d'une grande augmentation de volume qui est la cause de l'effet dynamique qui consiste dans le détachement de plaques plus ou moins grandes de la couche calcaire. Cet effet, quoique très efficace pour le nettoyage des tôles, peut entraîner de graves inconvénients; il peut même devenir dangereux. Quelquefois le détachement des grandes parties de la couche calcaire

d'une chaudière mal nettoyée devient tellement forte que de grandes masses tombent sur le fond de la chaudière. Dans les chaudières à foyer extérieur, il est alors à craindre qu'il ne se produise une surchauffe de la tôle et l'arrivée d'un coup de feu. Pour éviter ces dangers, il faut prendre garde que l'injection de pétrole ne soit jamais appliquée à une chaudière mal nettoyée et à foyer extérieur. Pour les chaudières à foyer intérieur, les circonstances et la situation des tôles de feu sont plus favorables. Toutefois il est nécessaire de bien se rendre compte que l'action du pétrole dans les cas spéciaux qui se présentent ne pouvait pas avoir pour suite des effets non voulus.

L'inflammabilité des vapeurs de pétrole exige une certaine précaution dans son application. Il est toutefois nécessaire qu'une chaudière soit bien aérée avant qu'un homme y pénètre.

Mais là où toutes les mesures de précaution ont été prises, l'application de la méthode de l'injection de pétrole s'est souvent montrée comme un moyen commode et assez efficace de prévenir une incrustation abondante de la chaudière. Elle n'est pas possible dans les industries où la vapeur doit être absolument pure et ne doit pas contenir la moindre trace de vapeurs de l'huile minérale.

Notre collègue M. Schmidt, ingénieur en chef de l'Association d'Amiens, a, il y a quelques années, réintroduit une manière de nettoyage qui en 1878 a été recommandée par l'ingénieur Savreux. Elle consiste à laisser la chaudière se refroidir avec l'eau qu'elle contient et ne la vider qu'après son refroidissement complet. Avant que les parois intérieures soient sèches, l'ouvrier pénètre dans la chaudière et tâche de rincer les parois au moyen d'un jet d'eau sortant d'une lance à incendie. Cette méthode est basée sur l'observation faite que la

grande masse des dépôts qui se trouve mouillée par l'eau de la chaudière ne forme des incrustations dures qu'après avoir été cuite à sec par les parois et la maçonnerie encore chaudes d'une chaudière brusquement vidée. Malheureusement beaucoup d'établissements industriels n'ont pas de chaudière de réserve et ne peuvent pas appliquer une méthode aussi simple et souvent très efficace pour le nettoyage de leurs chaudières. Dans la plupart des petites usines, il n'y a qu'une seule chaudière au nettoyage de laquelle on ne veut pas accorder plus d'une journée dans 6 ou 8 semaines.

Toutes les méthodes et les procédés, dont il a été fait mention jusqu'ici ne sont que des moyens imparfaits pour se débarrasser des inconvénients provenant de l'accumulation des dépôts et incrustations dans les chaudières. En considérant la question à tous ses points de vue, on finit par se convaincre que la seule méthode rationnelle est de faire l'épuration de l'eau alimentaire avant son entrée dans la chaudière.

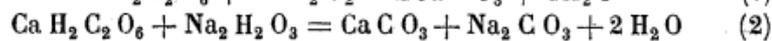
Alors que l'eau serait bien transparente ou libérée par décantation ou filtration des matières étrangères suspendues, il faut recourir aux procédés chimiques pour la débarrasser des sels de chaux en solution. On sait que les incrustations des chaudières sont composées de carbonates de chaux et de magnésie, de sulfates de chaux et de l'hydroxyde de magnésie. Les conditions de précipitation pour ces éléments sont bien différentes. Les carbonates qui sont des bicarbonates en solution, abandonnent leur état dissous à mesure qu'un chauffage appliqué chasse l'acide carbonique. Le sulfate de chaux qui ne se transforme pas par un simple chauffage perd sa solubilité à une température d'environ 140 degrés, correspondant à une pression d'environ 4 atmosphères. L'hydroxyde de magnésie provient du chlorure, qui se transforme par le chauffage de sa solution et libère de

l'acide chlorhydrique, lequel est souvent la cause de la destruction des chaudières par les corrosions des tôles au-dessus du niveau de l'eau. Il est aussi très probable que le sulfate de magnésie se transforme à une température élevée et en présence des carbonates de chaux en formant de l'hydroxyde de magnésium et de sulfate de chaux.

En général, ce sont surtout les carbonates de chaux et de magnésie et le sulfate de chaux qui forment les incrustations des chaudières. Il est erroné de croire que les incrustations dures ne proviennent que du sulfate de chaux; l'expérience a démontré que des pièces extrêmement dures consistent quelquefois uniquement en carbonates de chaux. Les carbonates ne sont solubles dans l'eau que sous la forme de bicarbonates. Une partie de l'acide carbonique des bicarbonates est libérée par le chauffage; le monocarbonate de chaux est alors précipité. Donc le simple chauffage est déjà un moyen efficace pour épurer l'eau des carbonates.

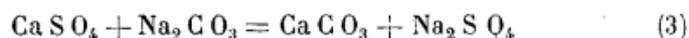
Partout où l'eau alimentaire contient une grande partie des bicarbonates et peu de sulfates, le chauffage dans un réchauffeur par la vapeur de l'échappement d'une machine est très efficace, pourvu que ce réchauffeur soit assez grand pour élever la température de l'eau à environ 100 degrés et que son nettoyage soit facile. Cette méthode d'épuration n'est pas seulement applicable aux cas où on peut se servir de la vapeur d'échappement, mais elle est encore susceptible d'une application plus générale.

Quand l'épuration de l'eau doit être faite à froid, on se sert de chaux vive ou de la soude caustique pour transformer les bicarbonates. La réaction chimique s'opère suivant les formules (1) ou (2).



Chacun des deux procédés a un désavantage ; le premier en ce que le précipité déposé est le double de la quantité contenue dans l'eau originale ; le second que l'eau devient chargée d'une solution de soude qui la rend alcaline. Cependant la solution du carbonate de soude peut être utile dans le cas où l'eau contient du sulfate de chaux, comme nous le verrons de suite.

Pour transformer le sulfate de chaux, on se sert du carbonate de soude. La réaction chimique a lieu suivant la formule :



Le sulfate de soude est très soluble dans l'eau et ne donne lieu à aucun inconvénient. Quand le carbonate de soude formé par le traitement de l'eau avec la soude caustique, suffit pour la transformation du sulfate contenu dans l'eau, on se servira de préférence de la soude caustique seulement.

Les carbonates, sulfates et chlorides de magnésie se transforment par la présence de chaux vive ou de soude caustique en hydroxyde de magnésium qui forme un précipité floconneux et en sel commun.

Il sera montré plus tard que le peu d'effet qu'ont quelquefois les appareils d'épuration bien étudiés est dû à la présence des sels de magnésie qui exercent souvent une action très irritante.

Le traitement chimique de l'eau demande :

- 1°) Le mélange intime de l'eau avec les additions de réactifs ;
- 2°) Un temps suffisant pour l'action chimique et la sédimentation.

Aussi est-il nécessaire que la quantité requise des additions à faire soit déterminée par une analyse exacte de l'eau à épurer. Les résultats de l'épuration doivent être

consciencieusement contrôlés. Les solutions contenues dans les eaux de puits sont souvent très variables et la quantité et la qualité des additions nécessaires doivent être changées suivant les cas.

Dans les petits établissements industriels, où la quantité journalière d'eau à épurer n'est pas grande, l'appareil nécessaire est très simple. Il se compose de deux réservoirs, dont l'un contient l'eau épurée, tandis que dans l'autre l'épuration est en marche. La décantation des précipités dans un réservoir d'environ 1 mètre de hauteur exige à peu près 6 heures de temps. Il faut donc que chacun des deux réservoirs puisse contenir l'eau alimentaire pour 6 heures de marche des chaudières. Aussi faut-il avoir égard au temps nécessaire pour le remplissage des réservoirs. Pour bien mélanger l'eau et les additions, on se sert communément d'une soufflerie d'air à vapeur, qui chauffe en même temps le mélange et accélère la réaction chimique. La soufflerie à air présente toutefois un inconvénient en chargeant l'eau alimentaire d'air atmosphérique qui est la cause des corrosions quand cette eau est introduitè dans la chaudière, à un endroit où la circulation est peu active.

Dans les grands établissements industriels, où la quantité d'eau à épurer est très considérable, il est impossible d'installer des réservoirs qui puissent suffire à la demande journalière. Il devient alors nécessaire d'avoir des appareils qui fonctionnent continuellement et automatiquement et qui contiennent à la fois une petite partie de l'eau seulement. L'épuration chimique comprend deux opérations : la réaction chimique et la décantation. C'est la dernière qui a une longue durée. Les précipités sont d'une consistance si fine et si légère, quelquefois floconneuse, qu'ils sont facilement emportés dans un courant d'eau. C'est pourquoi il est nécessaire que le procédé de décantation soit complètement achevé avant

que l'eau soit dirigée vers sa destination. La vitesse avec laquelle une particule de chaux tombe verticalement dans l'eau en repos est environ de 4^{mm} par minute. Il faut donc 250 minutes à une particule pour tomber de la hauteur de 1 mètre au fond d'un réservoir. Si l'on n'a pas le temps d'attendre, il faut disposer à une profondeur moindre des parois auxquelles les précipités peuvent se coller. Si l'on a disposé dans un réservoir de 1 mètre de profondeur 10 compartiments dont les 9 parois se trouvent à une distance verticale de 100^{mm} l'une de l'autre, il faut seulement 25 minutes pour que tous les précipités soient tombés sur les parois intercalées. En donnant à l'eau un faible mouvement progressif, qui la mène d'un compartiment à l'autre, on arrive à retirer de l'eau épurée du dernier compartiment en chargeant continuellement le premier compartiment de l'eau crue et des réactifs. Tel est le principe de presque tous les appareils d'épuration continue. Pour rendre la fonction automatique, il faut avoir soin que l'eau soit munie de la quantité nécessaire de réactifs. On y arrive en se servant des solutions titrées, dont l'afflux est réglé par le courant d'eau même. Les solutions titrées des réactifs sont préparées d'avance pour le besoin d'une journée généralement. Les diverses constructions des appareils à épuration continue automatique sont trop connues, pour que j'aie besoin de décrire ici leurs détails souvent très ingénieux et bien étudiés. Je me bornerai à mentionner ici comme étant les plus répandus, les épurateurs de Dervaux, de Gaillet et Huet, de Bérenger et Stingl, de Desrumeaux, etc.

Au lieu de la décantation, on applique quelquefois la filtration, ou encore on fait une combinaison des deux systèmes en conduisant l'eau qui s'échappe du sédimenteur à travers un filtre. Il y a toute une série de filtres en application. On trouve des filtres à sable, à cailloux, à

éponges, à copeaux, etc., ou des constructions, dans lesquelles l'eau traverse des tissus en forme de draps tendus sur des cadres en fonte et réunis à pression au moyen d'un vis à presse. Le filtre à tuyaux consiste en un système de tuyaux de chanvre tendus par une spirale intérieure; l'eau épurée passe à travers le tissu; il faut que les filtres soient disposés de telle sorte qu'on puisse facilement les nettoyer, ce qui est nécessaire après une certaine durée de marche; généralement le nettoyage s'opère en faisant passer par le filtre un courant d'eau pure en sens inverse; on peut facilement nettoyer les filtres à draps et à tuyaux en lavant ou en changeant les draps ou les tuyaux.

Les réactifs généralement employés aujourd'hui chez nous et en Allemagne sont la chaux vive, le carbonate de soude et la soude caustique. On peut dire que dans la plupart des cas l'épuration au moyen de ces réactifs donne des résultats positifs, c'est-à-dire qu'on parvient à réduire le degré hydrotimétrique de l'eau à une valeur de peu d'importance. Pourtant l'épuration n'est presque jamais complète et il y a d'autres désavantages, qu'il faut reconnaître et qui prouvent que la méthode n'est pas encore parfaite.

La difficulté dans les petits établissements, où on pratique l'épuration dans deux réservoirs consiste en ce qu'on n'arrive pas au mélange intime nécessaire pour donner lieu à une réaction chimique uniforme. Si l'on fait usage d'une soufflerie, l'eau devient chargée d'air comme il a été déjà dit plus haut. Il est vrai que le jet de vapeur chauffe l'eau et tend à la débarrasser des gaz absorbés, mais le procédé mécanique consistant à faire traverser l'eau par une quantité d'air a un effet contraire et l'eau épurée contient plus d'oxygène qu'avant. Une partie des réactifs employés ne prend pas part à la transformation chimique, mais reste inactif et rend l'eau alcaline. La concen-

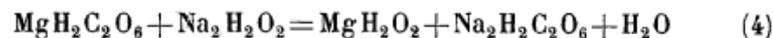
tration de la solution alcaline dans la chaudière donne lieu à une vaporisation quelquefois tumultueuse; l'eau de chaudière devient écumeuse et la vapeur apporte aux conduits de grandes quantités d'eau à la fois. L'eau alcaline attaque aussi les compositions de cuivre et les armatures en bronze sont rapidement détruites. Pour rester dans les limites pratiques, il faut se contenter d'une épuration incomplète et laisser à l'eau au moins environ 7 degrés hydrotimétriques. En vérité, les réactions chimiques ne s'opèrent pas tout à fait suivant les formules d'après lesquelles nous les représentons. Le cas vaut une considération spéciale.

On se sert comme réactifs de la chaux vive et du carbonate de soude. La solution introduite dans l'eau à épurer sera donc un mélange formé d'hydroxyde de chaux, de soude caustique et de carbonate de soude. L'eau crue contient généralement des bicarbonates et des sulfates de chaux et de magnésie. La réaction chimique qui commence après l'introduction de la solution des réactifs est très compliquée. La soude caustique est le réactif le plus énergique et les bicarbonates sont les premiers à se transformer. La transformation du bicarbonate de chaux s'opère suivant la formule 2, reproduite ici :

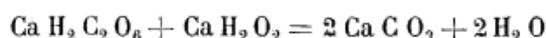


Tandis que le carbonate de chaux insoluble est précipité, une partie équivalente de carbonate de soude va en solution.

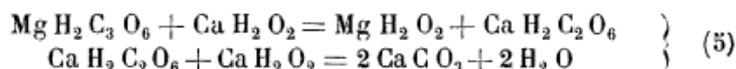
Le bicarbonate de magnésie se transforme en hydroxyde de magnésium insoluble, tandis qu'une partie de bicarbonate sodique va en solution.



Le bicarbonate de soude n'a aucune valeur comme réactif à l'état froid; quand l'eau est chauffée, il se transforme en carbonate de soude. Afin que l'eau ne devienne alcaline dans la chaudière, il est nécessaire que le carbonate de soude, introduit ou formé, puisse réagir sur les sulfates dans l'eau. Quand l'eau n'en contient pas, la transformation des bicarbonates doit être faite par la solution de la chaux vive :



L'hydroxyde de chaux a une influence remarquable sur le bicarbonate de magnésie; ce dernier est transformé en hydrate, tandis qu'il se forme une nouvelle solution de bicarbonate de chaux qui doit être transformé de nouveau par l'hydroxyde de chaux :



Il faut donc le double de chaux vive pour transformer le bicarbonate de magnésie comparativement à la quantité nécessaire pour le bicarbonate de chaux.

La notion générale sur l'épuration au moyen des réactifs énumérés est que la solution de la chaux vive agit sur les carbonates, tandis que la soude transforme les sulfates.

Quiconque a fait une étude un peu approfondie des réactions chimiques remarquera facilement que les deux réactifs et leur mélange agissent d'abord seulement sur les carbonates, et il reste à voir comment les nouvelles solutions qui se sont formées agissent sur les sulfates. On voit bien, en ce qui concerne les réactions représentées par les formules 4 et 5 qu'il ne suffit pas de connaître la quantité d'acide carbonique contenue dans

l'eau pour déterminer la quantité nécessaire de chaux vive pour précipiter les carbonates. Il fallait encore connaître la répartition de l'acide carbonique entre le calcium et le magnésium. Les sels de chaux et de magnésie dans des solutions aussi faibles que nous les avons dans l'eau ne sont pas bien stables. Il est bien connu qu'à froid le sulfate de chaux et le carbonate de magnésie se transforment partiellement en carbonate de chaux et sulfate de magnésie. A chaud, la transformation inverse a lieu. Encore le carbonate de magnésie n'est-il pas stable à une température dépassant 130°; il perd son acide carbonique, se transforme en hydroxyde qui produit, avec le sulfate de chaux, des incrustations très dures.

Un tableau très instructif m'a été communiqué par M. le D^r Schierholz, à Vienne, qui est lui-même l'inventeur d'une nouvelle méthode d'épuration dont je parlerai plus tard. Ce tableau donne les résultats d'une eau prise au hasard et traitée avec des réactifs en quantité différente. Il ne paraît ici qu'à titre d'exemple. L'eau crue avait 42° hydrotimétriques, dont 30 étaient dus à la chaux et 12 à la magnésie. Cette eau fut traitée avec 90 milligrammes de chaux vive par litre d'eau crue, jusqu'à 300 milligrammes et avec 48 jusqu'à 240 milligrammes de carbonate de soude par litre d'eau crue. Pour chaque addition, l'auteur a déterminé le degré hydrotimétrique restant et sa répartition entre la chaux et la magnésie et la transformation qu'avait subie la soude. On voit que la solution de la chaux vive, aussi bien que le carbonate de soude, n'agissent d'abord que sur les sels de chaux et non sur les sels de magnésie. Comme l'eau crue avait 8°5 hydrotimétriques permanents, le tableau montre aussi qu'au fur et à mesure que le contenu de l'eau en chaux va en s'affaiblissant, l'acide sulfurique passe à la magnésie. Quand on surcharge l'eau de chaux, l'acide sulfurique

**Épuration d'une eau de 42 degrés de dureté (Chaux : 30 degrés ; Magnésie : 12 degrés).
RÉSULTATS OBTENUS**

PAR LITRE	CARBONATE DE SOUDE				CARBONATE DE SOUDE				CARBONATE DE SOUDE				CARBONATE DE SOUDE											
	0 MILLIGRAMMES		48 MILLIGRAMMES		96 MILLIGRAMMES		144 MILLIGRAMMES		192 MILLIGRAMMES		240 MILLIGRAMMES		240 MILLIGRAMMES		240 MILLIGRAMMES									
CHAUX vive	TITRE		TITRE		TITRE		TITRE		TITRE		TITRE		TITRE		TITRE									
Milhg.	Ca 0	Mg 0	Total	Transf. de la soude	Ca 0	Mg 0	Total	Transf. de la soude	Ca 0	Mg 0	Total	Transf. de la soude	Ca 0	Mg 0	Total	Transf. de la soude								
90	16.8	12	28.8	0	12.5	11.8	24.3	bicarb., 48	9.0	11.2	20.2	bicarb., 90	6.2	11	17.2	bicarb., 123	3.4	10.8	14.2	bicarb., 157	1.0	0.5	1.5	
130	11.6	11.2	22.8	0	7.8	10.7	18.5	bicarb., 45 carb., 3	4.8	10.7	15.5	bicarb., 67 carb., 29	3.2	10.2	13.4	bicarb., 102 carb., 42	2.5	10.0	12.5	bicarb., 109 carb., 88	1.1	1.6	2.6	
150	7.5	10.2	17.7	0	4.7	11	15.7	bicarb., 23 carb., 25	3.6	10.6	14.2	bicarb., 36 carb., 60	12.7	10.5	13.2	bicarb., 48 carb., 96	2.3	10.0	12.3	bicarb., 50 carb., 132	1.1	1.6	2.6	
180	4.1	10	14.1	0	3.8	9.8	13.6	bicarb., 5 carb., 43	2.1	10	12.1	bicarb., 31 carb., 75	2.0	10.5	12.5	bicarb., 17 carb., 127	1.9	10.0	11.9	bicarb., 33 carb., 149	1.1	1.6	2.6	
210	2.2	9.6	11.8	0	1.5	9.1	10.6	bicarb., 8 sulfate, 4 carb., 36	1.1	9.0	10.1	bicarb., 8 carb., 78 sulfate, 10	1.0	9.1	10.0	bicarb., 8 carb., 125 sulfate, 11	0.9	9.0	9.9	bicarb., 8 carb., 172 sulfate, 12	1.1	1.6	2.6	
240	8.4	3.4	11.8	0	6.3	3.5	9.8	bicarb., 26 sulfate, 13 s. caust., 9	5.2	3.7	8.9	carb., 65 sulfate, 23 s. caust., 8	3.0	4.0	7.5	carb., 98 sulfate, 38 s. caust., 8	1.8	4.0	5.8	carb., 135 sulfate, 56 s. caust., 8	1.1	1.6	2.6	
270	13.05	1.7	14.7	0	11.3	1.7	13	carb., 30 s. caust., 18	9.7	1.3	11.0	carb., 55 sulfate, 23 s. caust., 18	6.3	1.4	7.7	carb., 68 sulfate, 30 s. caust., 44	2.0	1.6	3.6	carb., 78 sulfate, 78 s. caust., 112	1.1	1.6	2.6	
300	20.2	0.3	20.5	0	15.7	0.3	16	s. caust., 48	12.1	0.4	11.5	s. caust., 95	7.4	0.6	8.0	carb., 11 sulfate, 32 s. caust., 100	3.7	0.9	4.6	carb., 21 sulfate, 68 s. caust., 108	1.0	0.5	1.5	

passé à la chaux. La soude ne réagit sur les sulfates que quand elle se trouve en surabondance. Pour épurer l'eau des sels de magnésie, il faut une surabondance de chaux vive, et pour épurer l'eau des sulfates, il faut une surabondance de soude. L'eau épurée sera toujours alcaline.

M. le D^r Schierholz, auquel je dois le tableau instructif, a trouvé une nouvelle méthode d'épuration, que je suis heureux de pouvoir signaler ici, bien qu'elle ne soit pas encore mise en pratique. Je ne peux donc pas encore communiquer des résultats décisifs sur ce procédé. La méthode employée par M. Schierholz réduit le degré hydrotimétrique de l'eau à environ zéro sans la rendre alcaline. Il fait dans ce but une épuration préalable au moyen de la chaux vive ou de soude caustique, neutralise ensuite et précipite le reste de chaux et de magnésie au moyen d'une solution d'oxalate. Le dépôt dans l'appareil contient l'oxalate de chaux précipité, dont on peut régénérer l'oxalate pur servant comme réactif. Ce dernier procédé nécessite un traitement chimique spécial, dont l'industrie générale ne peut pas se charger. L'oxalate étant très coûteux, il faudrait, pour rendre le procédé économique, vendre les rejets, ce qui constitue une complication de l'emploi général.

Quoi qu'on en dise, les procédés dont on se sert aujourd'hui pour l'épuration des eaux n'ont pas encore atteint le plus haut degré de perfection. Au lieu d'entrer dans des considérations de détail des différentes constructions d'appareils, j'ai cru mieux faire en exposant la question générale. Pour épurer une eau donnée, il faut un chimiste qui détermine la méthode et un ingénieur-constructeur qui fournit l'appareil mécanique. On peut dire que les ingénieurs qui se sont voués à ces problèmes spéciaux ont trouvé des solutions ingénieuses et produit des appareils qui fonctionneraient dans tous les cas à merveille,

si seulement les réactions chimiques s'effectuaient selon les formules indiquées. La nouvelle théorie chimique nous enseigne que la fin d'une réaction recule suivant la diminution des réactifs actifs. La vitesse d'une transformation chimique est grande au commencement et devient infiniment petite à la fin. On en déduit facilement l'impossibilité d'arriver au moyen des réactifs seuls à une épuration complète. C'est dans la chaudière et au moyen de la chaleur que l'épuration de l'eau s'accomplit.

C'est sur cette considération que sont basés les épurateurs à vapeur vive, employés sur une grande échelle en Amérique. Ils consistent en un réservoir cylindrique en tôle de chaudière, muni intérieurement d'une batterie de cuvettes peu profondes, montées l'une sur l'autre, de manière que l'eau d'alimentation, qui tombe dans la première cuvette en haut, la déborde, remplit la seconde, la déborde aussi et ainsi de suite. Tout l'appareil est en communication directe avec la chambre de vapeur de la chaudière, de sorte que l'eau est mise sous pression et chauffée graduellement à la température de la vapeur. Si cet appareil est suffisamment grand, on doit obtenir une épuration satisfaisante.

L'appareil est muni d'un couvercle qui permet de l'ouvrir et de retirer les cuvettes pour en opérer le nettoyage. En Europe, selon les renseignements que j'ai pu obtenir, on n'a pas encore fait des installations d'appareils de ce genre. Selon les informations qui me sont parvenues de l'Amérique, notamment de M. S. Allen, ingénieur en chef de l'Association de Hartford, on a obtenu de bons résultats dans les États-Unis.

L'Association à laquelle j'ai l'honneur d'appartenir s'est à maintes reprises occupée tout spécialement de la question de l'épuration des eaux alimentaires et a communiqué les résultats de ses expériences et observations dans ses publications périodiques et dans les bulletins

annuels. Ma communication n'a pu jeter qu'un coup d'œil rapide et superficiel sur les principes généraux des méthodes en usage. Loin d'être complet, le présent rapport ne contient que quelques-unes des conclusions auxquelles nous croyons être arrivé.

11° Question

CORROSIONS INTÉRIEURES des générateurs

PAR

M. P. BONET

Ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils
à vapeur du nord de la France.

Les générateurs sont sujets à se détériorer sous l'influence de différentes causes parmi lesquelles figure en première ligne la « corrosion » des métaux dont ils sont formés. Ces métaux s'altèrent, soit sur leur surface extérieure, (nous dénommons ainsi celle qui est en contact avec les gaz chauds provenant de la combustion), soit sur leur surface intérieure sous l'action de l'eau, de la vapeur et des autres produits que les générateurs peuvent contenir.

On a donné le nom de « corrosion extérieure » à la

première, et celui de « corrosion intérieure » à la seconde, d'après la position des surfaces attaquées.

N'ayant à traiter que des corrosions intérieures, je me propose de passer en revue les principaux exemples de ce genre de défaut observés dans les générateurs, la manière dont ils se présentent, leur cause et le remède qu'il conviendrait d'employer pour les atténuer ou pour les enrayer.

A part quelques-unes qui ont pour origine une action mécanique et que je n'ai mentionnées que sommairement pour mémoire, les corrosions sont dues à des actions chimiques provoquées par l'introduction dans les chaudières de matières soit naturellement nocives comme les acides ou les agents d'oxydation, soit le devenant par décomposition sous l'influence de la chaleur : tels les graisses, le sucre et les chlorures.

J'ai, pour plus de clarté, examiné séparément chacun de ces cas et divisé ma note en sept parties qui sont les suivantes :

- 1° Corrosions par pustules ;
- 2° Corrosions par l'acide chlorhydrique ou les chlorures ;
- 3° Corrosions par l'acide sulfurique ;
- 4° Corrosions par l'acide tannique ;
- 5° Corrosions par les graisses ;
- 6° Corrosions par le sucre ;
- 7° Corrosions par l'action mécanique.

L'agent corrosif en contact avec le métal le dissout et si une cause extérieure vient faciliter son action sur certaines parties, celles-ci seront plus vivement et plus profondément attaquées.

C'est ainsi que la flexion de certaines pièces, telles que les plaques de locomotives, les congés des fonds emboutis en contact avec l'eau, occasionne ce qu'on a appelé la « corrosion par sillons ». Sous l'influence des dilatations,

les pièces dont nous venons de parler éprouvent des mouvements alternatifs dont l'effet est de donner naissance à des criques et de mettre ainsi à nu le métal, de le décaper pour ainsi dire, et de le rendre plus apte à recevoir l'action de l'agent corrosif.

Nous n'avons pas cru devoir faire un chapitre spécial de ce genre de détérioration, car ce n'est pas l'agent corrosif qui crée le sillon, mais bien la flexion alternative, tout à fait indépendante de la corrosion proprement dite.

Corrosions par pustules.

Ce genre de corrosion des générateurs a déjà fait l'objet de nombreuses études, et quelques notes intéressantes ont été publiées sur cette question. L'une des plus récentes est celle de M. A. Olry, ingénieur en chef des mines, délégué général de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord, parue en 1894 dans les *Annales des Mines*. (9^e série: Mémoires. Tome V.). Elle résume d'une manière très claire et très complète l'état des connaissances à cette époque. Nous y avons trouvé de précieux renseignements dont nous avons largement profité.

La corrosion dite « par pustules » ne se rencontre que dans les parties relativement peu chauffées des chaudières; elle affecte particulièrement pour cette raison les réchauffeurs dont l'eau se trouve à une température basse. Lorsqu'un générateur possède plusieurs réchauffeurs léchés successivement par les gaz de la combustion, c'est le dernier, c'est-à-dire le moins chauffé, et recevant l'eau la plus froide qui est le plus attaqué; et, généralement, dans un même réchauffeur, les pustules sont d'autant plus nombreuses qu'on se rapproche davantage du point d'arrivée de l'eau d'alimentation.

Les bouilleurs inférieurs des chaudières à flammes renversées sont aussi sujets à ce genre de corrosion ; dans ce type de générateurs, le corps cylindrique est chauffé d'abord, les bouilleurs ne le sont qu'en second parcours, quelquefois même l'un d'eux ne l'est qu'en troisième lieu. Les parties les plus atteintes se trouvent aux environs de l'arrivée de l'eau d'alimentation, c'est-à-dire à l'endroit où l'eau est la plus froide. Dans les chaudières ordinaires dont les bouilleurs reçoivent le coup de feu, on ne rencontre pas de pustules, sauf quand certaines parties se trouvent protégées contre les flammes par de la maçonnerie, lorsque les bouilleurs traversent un mur par exemple ; ce cas est extrêmement rare.

Les chaudières en chômage qu'on laisse remplies d'eau sont très sujettes à se corroder de cette manière ; on trouve alors des pustules un peu partout, mais surtout dans les environs du plan d'eau ; lorsque, par suite de l'évaporation, le niveau de l'eau s'abaisse, la partie de tôle ainsi mise à nu se recouvre de pustules, et il peut se créer de cette manière une zone de moindre résistance par l'affaiblissement de l'épaisseur de la paroi corrodée.

Les chaudières vides elles-mêmes ne sont pas exemptes de ce genre de détérioration lorsqu'elles se trouvent momentanément isolées des chaudières voisines par des valves non étanches ; l'eau qui s'écoule de ces valves en forme de gouttelettes se condense contre les parois plus froides des tôles et peut donner lieu à la formation de pustules.

Dans les réchauffeurs où elles se rencontrent plus particulièrement, les pustules affectent aussi bien les parois inférieures que les parois supérieures ; leur forme diffère alors peut-être un peu suivant la position qu'elles occupent. Elles se répartissent d'ailleurs d'une manière fort inégale dans les parties attaquées. On n'en trouve parfois que quelques-unes ; d'autres fois elles sont disséminées sur

les tôles et rivures, et forment des cavités qui s'étendent avec le temps et finissent par se rejoindre à certains endroits pour constituer une surface totalement corrodée.

Aspect et forme des pustules. — Lorsqu'on pénètre dans un réchauffeur attaqué par des pustules, avant qu'on ait procédé au nettoyage, on remarque sur les tôles et les rivures une quantité plus ou moins grande de petits monticules de couleur variant du jaune au rouge brun, et affectant des formes diverses. Ces monticules constituent les pustules. Les unes sont à peu près sphériques, les autres ont une hauteur plus grande que leur diamètre et offrent l'aspect de têtes de champignons irrégulières.

Ces pustules s'effritent sous la pression des doigts; néanmoins, quelques-unes ont une écorce suffisamment résistante pour qu'on puisse l'enlever avec une lame de couteau. Sous cette écorce, formant chapeau, on découvre une poudre noire de composition un peu variable, mais contenant surtout de l'oxyde de fer. Nous donnons d'ailleurs plus loin la composition de poudres recueillies de cette manière. Cette poudre remplit une cavité de forme sphérique ou quelquefois conique, d'un diamètre augmentant avec l'âge de la pustule, et les parois de ces cavités vont en pente douce du bord au fond. Si on râcle complètement l'oxyde de fer avec une brosse métallique, le métal apparaît sous un aspect un peu rugueux, différent de celui que la tôle avait primitivement; la texture est plus poreuse, presque spongieuse.

Dans un même bouilleur, on trouve des pustules plus ou moins grandes, laissant, après enlèvement, des cavités plus ou moins profondes et d'un diamètre variable; il est rare que ce diamètre ait plus de 25 millimètres, même lorsque la tôle, qui en a généralement 10 à 12, se trouve presque complètement perforée, de sorte qu'un rivet ordi-

naire suffit la plupart du temps pour boucher le trou ainsi formé.

Ces pustules sont d'abord rares et petites ; au bout d'un certain temps, leur nombre augmente et aussi leur dia-

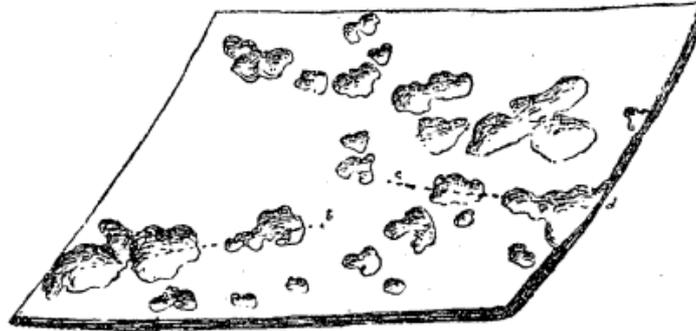


FIG. 1.

mètre (fig. 1) ; elles finissent même par se toucher et créer quelquefois une surface amincie que des rivets placés au fur et à mesure de la formation des cavités sont insuf-



FIG. 2.

fisants à rendre tout à fait sûre (fig. 2). Il faut alors avoir recours à la mise de pièces aux endroits les plus attaqués.

On prétend que l'aspect des pustules diffère beaucoup suivant qu'elles se forment dans les parties basses ou dans les parties hautes d'un même réchauffeur. Toutefois, les avis des spécialistes ne concordent pas bien et sont même quelquefois en contradiction sur ce point. J'avoue n'avoir pas d'opinion bien arrêtée à ce sujet ; j'ai vu en effet beau-

coup de pustules inférieures ressemblant à des pustules supérieures et réciproquement, de sorte qu'il me paraîtrait imprudent d'apporter une affirmation sur ce point.

Composition chimique des pustules. — Les deux parties qui constituent la pustule, c'est-à-dire le champignon d'une part, et la poudre qu'il recouvre d'autre part, ont des compositions différentes : champignon et poudre renferment tous deux de l'oxyde de fer et les éléments constitutifs des boues et incrustations que renferme le générateur, (sels de chaux, de magnésie, silice, etc.), mais la proportion d'oxyde de fer est notablement plus considérable dans la poudre que dans la calotte qui la surmonte.

Des pustules analysées autrefois par M. E. Cornut ont donné les compositions suivantes :

1° Champignon recouvrant la poudre brune :

Sels de chaux et de magnésie.....	59,50
Oxyde de fer.....	32,30
Silice.....	8,20
	100,00

2° Poudre brune remplissant la cavité de la tôle :

Sels de chaux et de magnésie.....	47
Oxyde de fer.....	81
Silice.....	2
	100

Cause de la formation des pustules. — La manière dont les pustules se présentent, les régions qu'elles affectent, leur composition ont fini par amener les ingénieurs spécialistes à attribuer ce genre de corrosion à l'oxygène contenu dans les générateurs. Cet oxygène se trouve introduit dans ces derniers à l'aide de l'eau d'ali-

mentation. On peut dire, en effet, que la plupart des eaux d'alimentation contiennent, dans des proportions variables, de l'air en dissolution; cet air se trouve amené dans les chaudières par ce moyen, et s'il rencontre des conditions favorables pour que son oxygène puisse se fixer sur le fer, la corrosion aura lieu.

D'après cette explication, il faut, pour qu'il y ait corrosion par pustules dans un générateur, remplir les conditions suivantes :

1° L'eau d'alimentation devra contenir de l'air en dissolution; dès lors, la corrosion sera d'autant plus vive que l'eau contiendra plus d'air, partant plus d'oxygène;

2° Cet air devra se trouver à l'intérieur de la chaudière dans les circonstances convenables pour pouvoir rester en contact avec les tôles afin de les attaquer.

Le professeur anglais Crace-Calvert de Manchester (1) et MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dolfus de Mulhouse (2) ont, par des expériences de laboratoire bien connues, démontré que l'oxygène attaquait le fer et que la présence de l'acide carbonique dans l'eau favorisait cette attaque.

Nous rappellerons brièvement ces expériences et les conclusions qu'il convient d'en tirer :

M. Crace-Calvert a démontré que l'oxygène et l'acide carbonique *secs* n'avaient pas d'action sur le fer, soit seuls, soit réunis.

L'oxygène humide seul agit faiblement, l'acide carbonique humide est sans action, mais le mélange des deux gaz *humides* produit une oxydation très rapide du fer. Il se forme d'abord du peroxyde de fer, puis du carbonate et enfin un mélange d'oxyde et d'hydrate de sesquioxyde.

En plongeant une barre de fer dans l'eau ordinaire de

(1) Mémoires of the literary and philosophical Society of Manchester. — 3^e série, 5^e volume.

(2) Note sur l'emploi des réchauffeurs en tôle. *Bulletin* de la Société industrielle de Mulhouse : 1871.

Manchester, M. Grace-Calvert a constaté que la rouille s'y manifestait avec une grande intensité, car l'eau de la ville de Manchester contient en dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique.

Si on fait bouillir cette eau de manière à en chasser les gaz en dissolution, une barre de fer s'y conserve intacte après y avoir séjourné pendant plusieurs semaines.

M. Grace-Calvert convaincu par ces expériences que le mélange d'oxygène et d'acide carbonique attaquait le fer voulut se rendre compte de l'influence que pourrait avoir la proportion d'acide carbonique dans la corrosion.

Il opéra donc successivement les mélanges suivants des deux gaz :

Acide carbonique.....	75	Oxygène..	25
—	50	— ..	50
—	25	— ..	75
—	16	— ..	84
—	12	— ..	88

Il enferma ces mélanges dans autant de flacons préalablement à moitié remplis d'eau distillée bouillie et y plongea des lames de fer dont une partie émergeait du liquide. Il constata que toutes ces lames se corrodèrent, dans la partie immergée, et avec d'autant plus de rapidité que la proportion d'acide carbonique du mélange était plus grande, et qu'il y avait dégagement abondant d'hydrogène, c'est-à-dire décomposition de l'eau par le fer.

Il est d'après cela évident que l'oxygène et l'acide carbonique humides attaquent les tôles.

MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dolfus ont effectué des expériences analogues à celles de M. Grace-Calvert.

Dans un flacon renfermant de l'eau de la vallée de Saint-Amarin, exempté de sels calcaires, mais très aérée, ils ont plongé un barreau de fer préalablement décapé. La barre fut attaquée ; elle se recouvrit de rouille et des stries

jaunes sillonnèrent le liquide. L'attaque continua jusqu'à épuisement complet de l'oxygène. La barre fut alors retirée, nettoyée, décapée et plongée à nouveau dans le flacon.

Elle conserva son aspect brillant et aucune trace d'oxydation n'apparut.

Une autre expérience fut faite sur de l'eau calcaire bien aérée et contenant de l'acide carbonique. Cette fois, l'attaque fut moins rapide; au lieu des stries jaunes qui s'étaient exclusivement formées dans la première expérience, ce fut un mélange de stries blanches et jaunes qui sillonnèrent l'eau du flacon pendant que la barre se recouvrait d'une couche d'ocre.

Comme précédemment, la barre fut extraite du flacon au bout d'un certain temps, puis remise après avoir été essuyée et décapée; mais l'attaque du fer recommença. L'oxydation se trouvait donc ralentie et en partie paralysée par le dépôt sur la barre des sels calcaires.

Enfin, une troisième expérience faite avec de l'eau distillée bouillie montra que la barre de fer restait complètement intacte.

Les produits résultant de l'attaque du métal dans la seconde expérience furent analysés, et on remarqua qu'ils contenaient des sels calcaires, mais surtout de l'oxyde ferrique.

Il ressort donc des recherches que nous venons de rappeler que la corrosion du fer peut être causée par la présence dans l'eau, d'oxygène et d'acide carbonique. Donc toute eau contenant ces deux gaz peut être corrosive et son action sera d'autant plus vive que sa teneur en gaz sera plus élevée. C'est ainsi qu'on a remarqué que les corrosions se produisaient de préférence dans les usines où l'on faisait usage, pour alimenter, des eaux provenant des montagnes et des forêts. Par suite des cascades et chutes naturelles, cette eau se trouve chargée d'air et

contient de plus de l'acide carbonique provenant de la respiration des végétaux.

Dans le même ordre d'idées, MM. Hirsch et Debize (1) rappellent les observations faites par M. Rowan, constructeur, au sujet d'un fait dont il fut témoin à Glasgow. A un moment donné, on abandonna pour l'alimentation des générateurs l'eau de distribution de la ville, chargée de calcaire, dont on faisait usage depuis longtemps, et on la remplaça par l'eau venant du lac Katrine, beaucoup plus pure, et par suite moins incrustante. Mais au bout de quelque temps, les chaudières neuves, celles dont on avait débarrassé les parois de l'incrustation qui les tapissait, présentèrent des corrosions dont furent préservées les anciennes chaudières dans lesquelles on avait laissé le calcaire déposé par l'eau de la ville. Les corrosions provenaient manifestement des eaux du lac Katrine qui sont très pures et aussi très aérées, puisqu'elles contiennent 20 à 30 cm³ de gaz par litre dont 10 d'oxygène.

Ce fait corrobore ce que nous disions plus haut, à savoir que les eaux étaient d'autant plus propres à occasionner la pustulence qu'elles sont plus aérées.

Mais si la présence de l'air et de l'acide carbonique dans l'eau est nécessaire pour provoquer la corrosion par pustules, elle n'est pas suffisante; sinon on devrait rencontrer dans toutes les chaudières indistinctement ce genre d'oxydation, car la plupart des eaux d'alimentation contiennent de l'air et de l'acide carbonique, soit dissous, soit provenant de la décomposition des bicarbonates. Or, il n'en est rien. Il faut en effet que les gaz amenés par l'eau aient la possibilité de s'attacher à la tôle pendant un certain temps et d'y adhérer suffisamment pour que la rouille puisse se former. La conséquence de cette observation est que, dans les parties des chaudières toujours

(1) Leçons sur les machines à vapeur : Dunod, 1885.

remplies d'eau, il faut que cette eau soit à une température telle que, sous la pression à laquelle elle est soumise, l'air puisse être maintenu en dissolution dans la masse sans s'élever à la partie supérieure du réservoir qui la contient en vertu de sa densité moindre. Les réchauffeurs dans lesquels l'eau d'alimentation arrive d'abord, et qui sont soumis à la température la plus basse, remplissent cette condition ; aussi, trouve-t-on des pustules aussi bien sur les tôles inférieures que sur les tôles supérieures.

Dans les générateurs ordinaires à deux bouilleurs et trois réchauffeurs latéraux, dont le type est très répandu et qui sont fort en usage dans le Nord et dans l'Est, le réchauffeur inférieur est, comme nous l'avons d'ailleurs fait observer plus haut, le plus atteint par les pustules qui envahissent toutes les régions, quelles qu'elles soient. Comme ces réchauffeurs sont inclinés de manière que l'eau ait un mouvement ascendant au fur et à mesure qu'elle avance dans les réchauffeurs, l'air et l'acide carbonique, qui se dégagent à la faveur d'une température de plus en plus élevée, se confinent dans les régions hautes des viroles et, partout où ils peuvent s'accumuler et rester stationnaires, la pustule se forme.

Il convient donc de faire en sorte d'éviter dans la construction et l'installation des réchauffeurs, tout obstacle au mouvement ascensionnel de l'eau et des gaz qui s'en échappent, afin de ne pas permettre le séjour de ces gaz dans certaines régions vouées par ce fait à une corrosion certaine. Les Bulletins des diverses Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur contiennent des dispositifs divers inspirés par les circonstances, et tous ont pour but de faciliter le dégagement des gaz dans la circulation de l'eau. Lorsque l'eau d'alimentation arrive dans la chaudière proprement dite, soit directement, soit après avoir traversé un ou plusieurs réchauffeurs, elle se trouve portée à une température élevée, et l'air s'échappe alors

de l'eau en même temps que la vapeur se forme ; d'ailleurs, dans le cas d'installation avec réchauffeurs, l'eau arrive presque privée d'air puisqu'elle a abandonné celui qu'elle tenait en dissolution au fur et à mesure de son avancement vers la chaudière.

On peut dire que la corrosion par pustules ne se rencontre pas sur les parois des chaudières dans lesquelles l'eau se trouve partout à la température de vaporisation ; en revanche, on la trouve dans les chaudières, même non munies de réchauffeurs, dans lesquelles l'eau peut avoir une température sensiblement plus faible que celle correspondant à la pression de marche, par exemple, les chaudières à flammes renversées dans lesquelles les bouilleurs servent d'ailleurs de réchauffeurs.

Dissémination des pustules sur une même tôle. — Étant donné qu'il est admis que la corrosion par pustules est occasionnée par l'action sur le fer, dans des conditions particulières, de l'air et de l'acide carbonique, on peut se demander pour quelles raisons ce genre de corrosion se manifeste par cavités isolées, séparées les unes des autres par des intervalles indemnes au lieu d'affecter toute la surface des tôles d'une manière régulière.

Un petit nombre de personnes ont, il y a une vingtaine d'années, émis, un peu timidement il est vrai, l'hypothèse d'une action électrique, mais cette explication, un peu vague d'ailleurs, a rencontré bien des incrédules sur cette manifestation bizarre de l'électricité qu'on connaissait d'ailleurs bien peu à cette époque. On préférait alors rendre compte des phénomènes de corrosion par cavités isolées en disant que les gaz se trouvant en dissolution dans la nappe d'eau, il suffisait qu'une petite aspérité existât sur la surface du métal pour qu'une bulle imperceptible vint se former en ce point ; cette bulle que le mouvement très lent de l'eau laissait un certain temps en

contact avec le métal et qui s'y accrochait par une sorte de capillarité, commençait l'attaque en oxydant une parcelle de fer et en rendant ainsi la surface moins lisse et plus apte à retenir d'autres bulles qui venaient accroître le volume de la première diminuée du reste par suite de l'absorption par le fer de l'oxygène qu'elle contenait. Il y avait ainsi une sorte de localisation des gaz dont l'action, une fois commencée, se continuait en provoquant la formation d'oxyde de fer au détriment de l'oxygène et de l'acide carbonique contenus dans l'eau.

Le même phénomène pouvait se présenter en d'autres points et s'effectuer, soit de la même manière, soit parce que les gaz rencontraient des surfaces plus ou moins rugueuses, de sorte qu'on expliquait ainsi et la formation, et la continuation des pustules par l'action des gaz de l'eau.

Cette explication, admise pour certains cas, ne paraissait pas suffisante pour d'autres ; aussi, l'hypothèse de l'action galvanique pour laquelle on avait au début une certaine répulsion a fait beaucoup de chemin depuis cette époque et se trouve aujourd'hui ne plus guère rencontrer d'opposition.

La cause initiale de la pustulence est toujours le gaz contenu dans l'eau ; l'attaque première se fait comme on l'expliquait autrefois, mais une fois l'oxydation commencée, elle se continue sous l'influence d'un courant électrique existant entre l'oxyde de fer formé et le métal resté intact, ces deux corps, oxyde et métal, constituant les éléments d'une pile.

Ce qui tend à prouver l'existence d'une action électrique, c'est que, si on vient, après enlèvement de l'oxyde de fer contenu dans une pustule, isoler de l'eau la partie attaquée en la recouvrant d'un enduit protecteur, la corrosion se continue le plus souvent sous l'enduit, bien que les gaz de l'eau soient dans l'impossibilité d'agir sur la tôle grâce à la présence de l'enduit.

Il suffit qu'il reste dans la cavité la plus petite parcelle d'oxyde pour que la corrosion continue; dès lors, il faut bien admettre qu'il existe une autre cause permettant l'extension de la corrosion à l'abri du contact des gaz contenus dans l'eau.

Nous avons eu l'occasion de constater l'accroissement de la corrosion dans un réchauffeur dont on avait, dans le but d'arrêter la destruction des tôles, badigeonné celles-ci avec du goudron après avoir débarrassé, autant qu'on le pouvait, les cavités anciennes de l'oxyde de fer qu'elles contenaient. Au bout d'un certain temps, il se forma sur les parois du réchauffeur, une très légère couche d'incrustation qui se souleva peu après; on put alors constater, en l'enlevant, l'existence d'une nouvelle poudre brune qui s'était constituée au détriment du métal dans la cavité préalablement nettoyée. Le champignon, indice ordinaire de la pustule, faisait défaut, mais la poudre avait reparu et le trou s'était agrandi.

On est cependant arrivé quelquefois à enrayer la corrosion par le procédé que nous venons d'indiquer; mais le nettoyage parfait des cavités pustulaires est pratiquement trop difficile pour qu'on puisse avoir la certitude d'avoir enlevé toutes les parcelles d'oxyde de fer dont les traces, quelques faibles qu'elles soient, suffisent pour que l'oxydation continue, même sous un enduit protecteur, ainsi que nous l'avons vu ci-dessus.

Dès lors, puisqu'il est prouvé que l'existence d'une très petite quantité d'oxyde de fer suffit pour que la corrosion continue dans une cavité pustulaire, il paraît raisonnable d'admettre que l'oxydation, une fois commencée, par l'action des gaz dissous dans l'eau, se continue sous l'influence d'un couple électrique constitué par l'oxyde de fer et le métal, et agissant sur l'eau pour la décomposer en hydrogène et en oxygène; ce dernier se porte alors sur le métal pour l'oxyder. Les expériences de M. Grace-Calvert que

nous avons citées permettent d'inférer que les phénomènes se passent ainsi en réalité.

On a quelquefois pris pour des pustules des cavités qu'on rencontre dans toutes les parties des chaudières, aussi bien dans les endroits les plus chauffés que les plus froids. Ces cavités sont dues à l'enlèvement spontané, après un certain temps de marche, de petits morceaux de laitier qui se sont imprimés dans la tôle lors du laminage. Ces cavités ont donc une cause toute différente de celle des pustules ; elles ne présentent d'ailleurs pas les mêmes caractères de formation ; elles ne sont pas surmontées de champignons et ne contiennent pas d'oxyde de fer.

Action des pustules sur les différents métaux. — On n'est pas d'accord sur la facilité plus ou moins grande avec laquelle les pustules se forment sur le fer et l'acier. Certains auteurs prétendent que l'acier est plus sujet que le fer à ce genre de corrosion et d'autres affirment ne constater aucune différence dans la manière dont se comportent ces deux métaux. La vérité est qu'ils se corrodent tous deux, mais il ne me paraît pas possible d'affirmer que l'un se corrode plus que l'autre. Il est d'ailleurs assez difficile de se faire une opinion exacte sur ce point. Il y a une dizaine d'années, on avait une tendance à dire que les réchauffeurs en fer se corrodaient plus que les réchauffeurs en acier, mais il convient de remarquer qu'à ce moment, on commençait seulement à employer l'acier pour la construction des générateurs ; il y avait donc fort peu de réchauffeurs en acier ; par contre, il y avait beaucoup de réchauffeurs en fer : il n'était donc pas surprenant qu'on trouvât plus de ces derniers corrodés ; on oubliait de tenir compte de la proportion des uns par rapport aux autres.

Aujourd'hui, certaines personnes trouvent que l'acier se corrode plus vite que le fer. C'est, je crois, le même

raisonnement qui aboutit à cette conclusion que je considère comme une impression plutôt que comme une réalité.

Il est un fait certain, c'est que la fonte se corrode beaucoup moins rapidement que le fer ou l'acier. Dans les réchauffeurs munis de bouchons en fonte intérieurs

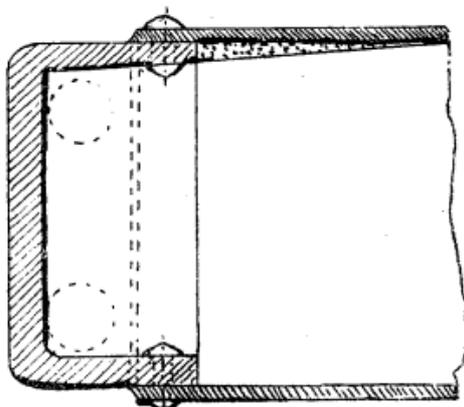


FIG. 3.

aux viroles (fig. 3) les gaz abandonnés par l'eau d'alimentation se trouvent arrêtés par la saillie que fait, à l'intérieur du réchauffeur, le rebord du bouchon en fonte. La tôle s'oxyde assez rapidement le long de l'arête du bouchon tandis que la fonte résiste très bien.

Il est logique, *a priori*, de penser que l'acier, qui est un métal fondu obtenu de la même manière que la fonte, doit être moins sensible que le fer à la corrosion. La surface d'une tôle de fer, présente, en raison des opérations de martelage et de corroyage qu'elle a subies, des aspérités plus nombreuses et plus accentuées qu'une tôle d'acier. La nature irrégulière de la surface peut donc paraître plus propice à l'action des gaz. Les défenseurs du fer estiment au contraire que l'acier, n'ayant pas subi les opérations de martelage et de corroyage dont nous venons

de parler, forme un assemblage de molécules moins comprimés, d'une texture plus poreuse, dont l'attaque est plus facile que celle du fer.

Tout en reconnaissant la valeur de ces deux théories, je ne pense pas qu'on puisse formuler une opinion certaine. D'ailleurs, en admettant même que l'acier soit plus sensible que le fer à la corrosion il faudrait s'accommoder de cette infériorité eu égard aux qualités très supérieures qu'il possède à d'autres points de vue.

Quelques ingénieurs ont émis l'avis que les métaux entrant dans la composition du fer et de l'acier jouaient un certain rôle dans la corrosion; le manganèse favoriserait, paraît-il, l'oxydation alors que le cobalt et le nickel l'entraveraient.

M. Yarrow a, par des expériences directes, comparé l'acier doux et l'acier au nickel au point de vue de la manière dont ces métaux se comportaient en présence des agents corrosifs. Il a reconnu que l'acier au nickel était beaucoup plus difficile à entamer lorsqu'il contenait environ 20 à 25 p. 100 de nickel. Au dessous de cette proportion, il apparaît que l'acier nickelé n'offre guère plus de résistance que l'acier doux aux agents destructeurs.

Les expériences de M. Yarrow ont surtout eu pour but de rechercher la manière dont se comportaient les aciers nickelés ou non sous l'action des acides, du feu et de la vapeur. Les aciers nickelés ont manifesté une supériorité très marquée.

M. Yarrow n'a pas étudié la corrosion par pustules, mais il est logique de croire que les tubes d'acier au nickel auraient conservé également leur avantage dans ce genre de corrosions.

Influence de la pression et de la température. — Les pustules étant occasionnées par l'action des gaz dissous dans l'eau, on peut se demander si la pression et la

température ne jouent pas un certain rôle dans ce genre de corrosion.

La pression n'a aucune influence sur la formation des pustules; nous avons, en effet, eu l'occasion de surveiller depuis plusieurs années des générateurs timbrés à 12 et 15 kilogrammes et nous avons constaté dans ces générateurs les mêmes pustules que dans les anciennes chaudières timbrées à 4 et 5 kilogrammes. On peut donc affirmer que la pustulence est indépendante de la pression de marche d'un générateur.

La température exerce, au contraire, une certaine influence; dans les générateurs à foyer intérieur, par exemple, les parties inférieures sont attaquées par les pustules alors que les régions supérieures sont intactes. Or, il existe dans ce type de générateurs une région située au-dessous du bas des foyers dans laquelle l'eau se trouve à une température de beaucoup inférieure à celle de la vaporisation, et c'est dans cette région que se forment les pustules.

Les grandes chaudières verticales de 10 mètres de hauteur, qu'on rencontre souvent dans les forges, présentent les mêmes phénomènes.

Les chaudières munies de réchauffeurs sont exemptes de pustules parce qu'elles contiennent de l'eau à haute température, tandis que les réchauffeurs en sont atteints, et ce d'autant plus qu'ils sont moins chauffés. Le nombre de réchauffeurs desservant un générateur varie, suivant les installations, de un à trois; il existait même autrefois en Alsace des batteries de six réchauffeurs par chaudière. Si nous examinons une batterie de trois réchauffeurs latéraux, nous constatons, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, que le réchauffeur qui est le plus chauffé est au contraire le moins attaqué; le réchauffeur intermédiaire que les gaz lèchent en second lieu présente un plus grand nombre de pustules que le réchauffeur supérieur; enfin,

le réchauffeur inférieur, qui est le moins chauffé, et qui reçoit l'eau d'alimentation la plus froide, est de beaucoup plus corrodé. C'est lui qui se trouve hors de service le plus vite, et sa durée est notablement moindre que celle du réchauffeur intermédiaire.

Dans le cas d'une batterie de deux réchauffeurs, le réchauffeur inférieur s'attaque avant l'autre, mais sensiblement moins, et moins vite que le réchauffeur inférieur d'une batterie de trois.

La raison en est que ce second réchauffeur est plus chauffé que ne l'est le troisième de la batterie précédente, et l'eau, bien qu'elle arrive à une même température initiale, se trouve plus rapidement chauffée et se débarrasse plus rapidement de ses gaz.

La corrosion est donc retardée ou diminuée par l'élévation de la température.

Moyens employés pour éviter les corrosions par pustules. — On peut éviter les corrosions par pustules :

ou bien en employant pour construire les chaudières un métal inoxydable ;

ou encore en protégeant le métal à l'aide d'enduits ou de peintures contre l'action des gaz dissous dans l'eau ;

ou enfin en chassant de l'eau les gaz qu'elle contient.

Nous avons vu par les expériences de M. Yarrow, que l'acier au nickel présentait une grande résistance à l'oxydation lorsqu'il contenait 20 à 25 p. 100 de nickel. Quel que soit l'avantage qu'offrirait l'emploi d'un semblable métal à ce point de vue, son prix élevé suffirait à l'éliminer momentanément du moins.

Le procédé consistant à badigeonner les tôles et rivures d'un enduit protecteur a donné quelquefois des résultats ; dans certaines régions, on emploie des résidus de goudron ou de pétrole qu'on étend à l'aide d'un pinceau ou d'une brosse sur les surfaces intérieures, mais cette opé-

ration présente de réelles difficultés; l'enduit doit en effet être très fluide pour pénétrer dans tous les interstices des rivures, des têtes de rivets et dans toutes les rugosités de la tôle. C'est dans ce but qu'on faisait autrefois chauffer le goudron pour l'appliquer, mais cet échauffement n'était pas sans présenter de dangers, attendu que les vapeurs de goudron s'enflammaient ou rendaient l'atmosphère irrespirable dans l'intérieur des réchauffeurs.

Il faut de plus se rendre compte que la surface des tôles et des rivures, n'est pas précisément très convenable pour permettre une adhérence complète et durable d'un enduit. Ces surfaces ont été mouillées lors de la construction par divers liquides (huile, eau de savon) qui ne constituent pas un mordant approprié; d'autre part, le métal est recouvert d'une grande quantité de parcelles d'oxyde de fer ou de laitiers qui ont été imprimées dans la tôle au moment du laminage. Sous l'influence de la chaleur et des dilatations, ces parcelles se détachent en laissant à nu le métal qu'elles recouvraient et l'oxydation commence en ce point pour se propager à la première occasion qui lui sera offerte de la même manière.

Nous connaissons cependant quelques exemples de réussite de cette opération. On est même arrivé à enrayer tout à fait une oxydation par pustules dans un réchauffeur en extrayant complètement, à l'aide d'une brosse métallique, la poudre brune d'oxyde de fer des cavités qui la contenaient et en passant une couche de goudron après nettoyage parfait.

Lorsqu'une légère couche d'incrustation peut se former sur les tôles avant que l'oxydation ait pris naissance, elle forme un enduit protecteur généralement efficace, mais si certains points ont été attaqués, la corrosion continuera sous l'incrustation, ainsi que nous l'avons constaté souvent.

D'ailleurs, ce procédé qui consisterait à laisser s'incrus-

ter un réchauffeur pour le protéger contre la corrosion n'est réellement pas pratique. Si, en effet, une légère couche de calcaire ne présente pas d'inconvénient, il en est autrement lorsque ce calcaire atteint une épaisseur de plusieurs millimètres et on n'a d'autre moyen pour enlever cette incrustation nuisible que le marteau à piquer dont l'effet est bien de débarrasser les tôles du calcaire qui les recouvre, mais aussi de créer sur la surface de la tôle des aspérités qui faciliteront l'oxydation aussitôt la mise en marche de l'appareil.

Dans tous les cas, quel que soit le moyen employé, il convient de disposer le générateur de manière que la circulation de l'eau et des gaz dissous puisse s'opérer avec la plus grande facilité. Cette préoccupation doit notamment entrer en ligne de compte dans la construction et l'installation des réchauffeurs. On les fabriquera à l'aide de viroles tronconiques dont les assemblages n'arrêteront pas les gaz dissous dans l'eau. Les bouchons seront extérieurs afin de ne pas créer d'obstacle à la circulation ; les réchauffeurs seront inclinés pour la même raison, etc...

Dans toutes les régions, la corrosion par pustules se produit, et partout on a cherché à en arrêter, atténuer ou retarder les effets ; aussi, les *Bulletins* de nos Associations contiennent-ils tous des dispositifs destinés à obtenir ce résultat. Ils sont très connus, et je ne pense pas qu'il soit utile de les rappeler ici.

On peut enfin lutter contre la corrosion par pustules en chassant de l'eau les gaz qu'elle contient. On est arrivé à ce résultat en alimentant dans les parties chaudes des chaudières et même dans la vapeur ; mais ce procédé rend inutile l'emploi des réchauffeurs. On peut toutefois réaliser en partie ce but en diminuant la surface de chauffe des réchauffeurs par rapport à celle du générateur proprement dit. Étant donné, par exemple, un générateur déterminé, si on lui adjoint une batterie de deux réchauffeurs,

le réchauffeur recevant l'eau d'alimentation sera moins vite corrodé que ne le serait le réchauffeur inférieur d'une batterie de trois réchauffeurs desservant le même générateur.

C'est en somme la répétition du fait que nous avons signalé plus haut. Toutefois, la diminution de la surface des réchauffeurs entraîne la plupart du temps une baisse correspondante du rendement économique, et il y a rarement avantage à recourir à ce moyen.

On a recommandé l'emploi du carbonate de soude pour corriger les eaux riches en oxygène et en acide carbonique en leur donnant une réaction légèrement alcaline.

Je connais beaucoup de générateurs dont les eaux d'alimentation contiennent du carbonate de soude, et je n'ai pas constaté que les réchauffeurs en fussent moins attaqués.

Je ne pense pas, en somme, qu'on puisse s'opposer par des moyens chimiques à la corrosion par pustules. Comme tous les réchauffeurs sont sujets à ce genre de détérioration, il convient, si on ne veut pas les supprimer, de retarder, d'atténuer la formation ou le développement des pustules en badigeonnant les tôles avec des enduits protecteurs. Encore, faut-il prendre la précaution d'éliminer ceux de ces enduits qui seraient susceptibles de provoquer des avaries dans les générateurs s'ils s'y trouvaient entraînés, comme les huiles par exemple; on arrivera ainsi à prolonger d'une manière notable l'existence de ces réchauffeurs.

Chaudières en arrêt. — Les chaudières en arrêt sont également sujettes à se corroder. Il faut, autant que possible, ne pas laisser les chaudières remplies d'eau parce que les tôles peuvent s'attaquer aussi bien dans les parties non mouillées que dans les autres. Les parois recouvertes d'eau s'oxydent et se rouillent comme de simples

réservoirs ; mais, de plus, l'eau contenue dans la chaudière s'évapore soit naturellement, soit par l'effet de la chaleur si cette chaudière se trouve chauffée par les voisines, et cette vapeur va se condenser sur les parois supérieures et former ainsi des pustules.

Même lorsqu'une chaudière est complètement vide et fermée, la pustulence peut se produire par la vapeur condensée qui s'infiltré dans la chaudière arrêtée à travers les valves. Il convient donc de s'assurer à ce point de vue de l'étanchéité des valves.

Corrosions par l'acide chlorhydrique.

Depuis longtemps, on sait que certains chlorures ont une action corrosive sur les tôles des générateurs. Cette action résulte de la décomposition de ces chlorures dans l'intérieur des chaudières ; l'acide chlorhydrique, mis en liberté, se porte sur le fer, en y provoquant des corrosions de caractères variables suivant son mode d'action.

Chlorure de magnésium. — Le chlorure de magnésium est le plus dangereux parce qu'il est très facilement décomposable. En effet, à l'état sec, la température de 120° suffit pour dissocier ses éléments. En dissolution, il est un peu plus stable ; toutefois, M. Stapfer a reconnu, par des expériences directes, qu'au delà de 150°, le chlorure de magnésium devenait décomposable. Dès lors, une eau peut devenir corrosive dans un générateur lorsqu'elle contient du chlorure de magnésium et que la pression de marche y est supérieure à 4 kilogrammes. Néanmoins, c'est toujours sur les parties les plus chauffées, celles qui reçoivent le coup de feu, que l'attaque par les chlorures en dissolution est la plus vive. Ce genre de corrosion a fait l'objet de nombreuses constatations, et il en a été plusieurs fois question dans les Congrès des Ingénieurs en chef des Asso-

ciations de propriétaires d'appareils à vapeur. M. Bour, dans le 11^e Congrès (1), signale un cas très intéressant et qui montre la rapidité avec laquelle un générateur ou plutôt les tôles de coup de feu d'un générateur peuvent être mises hors de service sous l'action du chlorure de magnésium.

En moins de quatre mois, toute une batterie de générateurs à foyers intérieurs eut ses foyers tellement détériorés par le sel qu'on dut les remplacer. Et cependant, ces chaudières avaient été trouvées, avant cette époque, indemnes de toute corrosion. L'eau d'alimentation provenait d'un puits et, avant l'apparition du mal, avait la composition suivante :

Résidu à 150°.....	1 ^g ,035 par litre.
Carbonate de chaux.....	0 ^g ,319
Autres sels de chaux (en sulfate).....	0 ^g ,506
Magnésie (en sulfate).....	0 ^g ,0307
Degré hydrotimétrique.....	78°

Traces de matières organiques, d'ammoniaque, de nitre et de sulfate de fer. Présence de chlorures. Absence de sulfures.

Mais, à proximité de l'usine, se trouvait une fabrique de produits chimiques dont les infiltrations avaient pu contaminer l'eau du puits. L'analyse de cette eau fut donc faite au moment où les corrosions furent constatées, et elle révéla les éléments ci-dessous :

Densité.....	1,030
Chlore total.....	0,310 par litre.
Chaux totale.....	0,450
Acide sulfurique.....	pas de traces.
Acide phosphorique.....	pas de traces.
Chlorure de calcium.....	0,480
Chlorure de magnésium.....	0,070
Carbonate de chaux.....	0,370

(1) 11^e Congrès des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur. (1886).

La modification considérable apportée à la composition de l'eau du puits provenait, en effet, de ce que la fabrique de produits chimiques avait, un an environ auparavant, fait écouler dans les carrières avoisinantes des eaux chargées de chlorure de calcium et de chlorure de magnésium. Ces eaux s'étaient infiltrées, peu à peu, dans les terrains voisins du puits et avaient fini par amener dans ce dernier une proportion notable de chlorures qui provoquèrent les défauts ci-dessus signalés.

Les foyers seuls furent attaqués, principalement à la partie supérieure et sur les flancs qui sont les parties les plus exposées au feu, et comme l'un d'eux se trouvait en acier et les autres en fer, on put constater que les deux métaux se trouvaient également sensibles à l'action de l'agent corrosif. Il n'est pas douteux que les corrosions aient été occasionnées par les chlorures contenus dans l'eau de la chaudière ; elles cessèrent, en effet, lorsqu'on changea l'eau d'alimentation.

La teneur en chlorures de l'eau était, dans l'exemple que nous venons de rapporter, très importante, (0^g,550 par litre), et l'on s'explique ainsi la rapidité avec laquelle le métal fut attaqué ; mais, il n'en faut pas moins se défier des eaux qui ne renfermeraient qu'une petite quantité de chlorures, car bien que corrosives à un degré moindre, elles détruisent, à la longue, le métal en se décomposant par la chaleur et en mettant en liberté de l'acide chlorhydrique qui se porte sur le fer.

Les chlorures occasionnent quelquefois la corrosion des chambres de vapeur dans les générateurs, et, notamment, aux environs du plan d'eau. Lorsque, par l'ébullition dans les chaudières, d'une eau contenant des chlorures en dissolution, des gouttelettes se trouvent projetées sur les parois des chambres de vapeur, l'eau s'évapore rapidement au contact de ses parois chaudes et le sel se dépose ; il se produit alors par décomposition une attaque locale du métal,

différente de celle que nous avons citée plus haut, et qui affecte une grande partie de la surface des foyers intérieurs.

Chlorure de calcium et de sodium. — Bien que plus difficilement décomposable par la chaleur, le chlorure de calcium ne paraît pas être inoffensif pour les chaudières. Notre collègue, M. Dubiau, a signalé, en effet (1), un cas de corrosion d'une chaudière semi-tubulaire, dans lequel les chlorures de calcium et de sodium paraissent avoir été les agents destructifs.

L'eau d'alimentation ne contenait aucune trace de magnésie ; elle renfermait 0^g,003 de chlorure de sodium et 0^g,030 de chlorure de calcium.

L'eau de la chaudière contenait 0^g,009 de chlorure de sodium et 0^g,09 de chlorure de calcium.

Le faisceau tubulaire de cette chaudière était complètement entartré ; l'incrustation ne formait plus qu'un bloc compact entourant les tubes, de sorte qu'il fallut détuber la chaudière pour l'enlever.

C'est alors qu'on s'aperçut que le corps cylindrique était corrodé et que l'épaisseur des tôles était réduite de 9^{mm}. Le dépôt d'incrustation présentait la particularité d'être déliquescent, vraisemblablement à cause des chlorures qu'il contenait. Notre collègue attribue la corrosion à la décomposition des chlorures par la chaleur en raison de la forte épaisseur du bloc de tartre qui a permis à la tôle de se surchauffer.

Il résulte de ce fait, que le chlorure de calcium et même le chlorure de sodium sont susceptibles de provoquer des corrosions en se décomposant. Nous possédons, à l'Association du Nord, un certain nombre de générateurs situés

(1) 23^e Congrès des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur. (1899).

le long de la côte, et alimentés avec des eaux saumâtres contenant une assez forte quantité de chlorure de sodium. Les tôles de ces générateurs ne paraissent pas souffrir beaucoup de la présence de ce sel : néanmoins, il est préférable de ne pas faire usage de ces eaux, ne fût-ce que pour éviter les dépôts qui peuvent se former lorsque le degré de concentration du sel est trop élevé.

Corrosions sous l'incrustation. — Il n'est d'ailleurs pas nécessaire que l'incrustation qui recouvre les parois intérieures des chaudières atteigne une aussi forte épaisseur pour que la décomposition des chlorures, sous l'influence de la chaleur, amène la corrosion du métal. On trouve souvent, en effet, sur les tôles de coup de feu ou plutôt d'une manière générale sur les parties les plus chauffées, des corrosions sous une couche de quelques millimètres d'incrustation. Les chlorures, bien que très solubles dans l'eau, sont cependant entraînés dans la cristallisation des autres sels insolubles, tels que les sels de chaux, et viennent se déposer en même temps qu'eux sur les parois métalliques. Il arrive même que la quantité de chlorure ainsi entraîné est considérable. M. Compère a trouvé, en effet, sur un tube de chaudière semi-tubulaire transpercé par corrosion, une couche d'incrustation contenant 22,41 p. 100 de chlorure de magnésium.

On comprend, dès lors, que si ce chlorure ne rencontre pas dans l'eau du générateur la température suffisante pour le décomposer, il en sera autrement quand il se trouvera en contact avec la tôle, sous une couche d'incrustation dont la mauvaise conductibilité opposera au passage de la chaleur provenant du foyer une résistance d'autant plus grande qu'elle sera plus épaisse. Sous l'influence de cette surchauffe légère provoquée par l'incrustation, les éléments constitutifs du chlorure se sépareront, et l'acide chlorydrique mis en liberté se portera sur le fer pour

donner lieu à une corrosion générale de la tôle, mais qui cependant sera plus profonde à certains endroits qu'à d'autres parce que les cristaux de chlorures, emprisonnés dans les sels insolubles, ne se trouveront pas répartis en égale quantité en tous les points.

La corrosion par chlorures est fréquente dans les chaudières marines. Bien que les navires soient munis de condenseurs par surface qui leur permettent d'alimenter avec de la vapeur condensée, exempte, par conséquent, de chlorures, il arrive cependant que l'eau de mer est introduite dans les chaudières soit parce que les condenseurs sont en mauvais état et la laissent passer à l'intérieur du faisceau tubulaire, soit parce qu'on l'emploie pour combler les pertes de vapeur des différentes machines qui sont à bord.

Une fois dans la place, les chlorures agissent plus ou moins rapidement et de la même manière que dans les chaudières fixes.

On a constaté que certaines eaux de mer étaient plus corrosives que les autres. M. Boucher, pharmacien principal de la Marine, a été conduit, par cette remarque, à analyser différentes eaux de mer et il a remarqué qu'en effet, leur teneur en chlorures variait. C'est ainsi que l'eau prise à 5 milles de Cherbourg n'a décelé qu'une salure totale de 32^g,78 par litre, tandis que l'eau prise vis-à-vis du Havre a donné 32^g,70.

L'eau de l'océan Atlantique prélevée sous des latitudes différentes a donné 31^g,14 et 35^g,70. Enfin, l'eau de Marseille titre 40^g,70.

M. Boucher a, de plus constaté que le magnésium entrainait pour 1^g,2035 dans la salure de l'eau recueillie au Havre et pour 3^g,0037 dans celle de Marseille.

Ces analyses sont très intéressantes, car elles permettent de distinguer le rôle que joue le magnésium dans l'attaque par les chlorures.

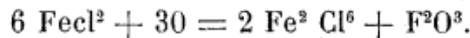
Régénération de l'acide chlorhydrique. — Dans une note récente publiée dans le *Génie civil* (23 et 26 décembre 1899 - 6 janvier 1900) M. H. de la Coux exprime l'opinion que l'acide chlorhydrique introduit dans un générateur ne disparaît pas par suite des combinaisons qu'il forme avec le fer, mais que sa présence donne lieu à une série de réactions qui constituent un cycle ayant pour résultat la régénération continue de cet acide.

Voici d'ailleurs, d'après M. de la Coux, les formules des réactions successives auxquelles donne lieu l'acide chlorhydrique dans les chaudières :

« En présence du fer, cet acide forme un chlorure de fer avec dégagement d'hydrogène :

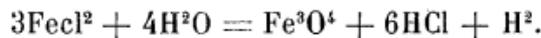


« Il se produit donc un sel ferreux soluble qui ne tarde pas, à son tour, à s'oxyder pour donner naissance à un sel de fer au maximum :



« Dans cette deuxième réaction, il s'est produit un doublement du chlorure ferreux en chlorure ferrique et en oxyde ferrique.

« Une autre réaction peut se produire, grâce à la vapeur d'eau du générateur, et mettre de nouveau l'acide chlorhydrique en liberté :



« Nous voyons donc que le terme final de ces deux réactions est formé de trois composés du fer, dont deux au maximum Fe^2O^3 et Fe^3Cl^6 , et un oxyde intermédiaire Fe^3O^4 .

« Le chlorure ferrique Fe^3Cl^6 se décompose lui-même

« très facilement, grâce au concours de la vapeur d'eau :



« Nous sommes, par suite, amené à considérer la résultante des actions diverses de l'acide chlorhydrique sur le fer des générateurs à vapeur, comme la formation continue des oxydes de fer Fe^2O^3 et Fe^3O^4 avec mise en liberté d'acide chlorhydrique qui se trouve régénéré.

« Il se produira donc, par la présence de l'acide chlorhydrique dans l'eau, un cycle d'attaque perpétuel du fer, par suite de la régénération de cet acide chlorhydrique, substance éminemment corrosive. »

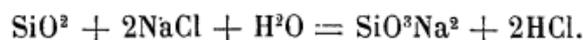
L'introduction dans les chaudières de chlorures qui, en se décomposant, mettront l'acide chlorhydrique en liberté, doit donc être évitée avec soin, puisque cet acide une fois introduit exerce sur les tôles une action corrosive continue dont on ne peut se rendre maître qu'en vidant la chaudière.

Action de l'acide carbonique et de la silice. — Dans la même note, M. de la Coux exprime l'opinion que les chlorures de calcium et de sodium, bien que beaucoup plus stables que le chlorure de magnésium, provoquent cependant sans l'intervention d'autres substances des attaques du fer en donnant lieu à une oxydation.

Il ajoute que la présence de l'acide carbonique et la haute température influent d'une façon considérable sur cette action corrosive.

Enfin, d'après lui, la silice et les silicates contribueraient beaucoup à augmenter l'action corrosive du chlorure de sodium.

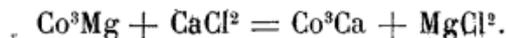
Sous l'influence de la chaleur, l'acide chlorhydrique serait mis en liberté suivant la réaction ci-dessous :



Chlorure de baryum. — L'épuration préalable des eaux d'alimentation se fait quelquefois à l'aide de la baryte ou de la chaux et du chlorure de baryum. Les carbonates sont précipités par la base employée (chaux ou baryte) et le chlorure de baryum agit sur les sulfates pour les transformer en sulfates de baryte insolubles et en chlorures correspondants.

Si donc l'eau contient des sulfates de chaux et de magnésie, il se formera des chlorures de sodium et de magnésium solubles, qui seront entraînés dans les chaudières où ils provoqueront les dégâts que nous avons signalés précédemment. Il est donc prudent de s'abstenir de ce mode d'épuration en raison des chlorures qui se forment et de leur action corrosive sur le métal des générateurs.

Magnésie. — On se sert également de magnésie pour épurer les eaux. Cette base agit, en effet, sur les carbonates de calcium pour les transformer en carbonates de magnésium insolubles ; mais si l'eau contient des chlorures, il est à craindre que ceux-ci ne réagissent sur le carbonate de magnésium pour former du chlorure de magnésium dont nous connaissons la nocivité. La formation de ce sel se ferait, d'après la réaction ci-dessous :



L'emploi de la magnésie, dans ce cas, aurait pour effet, de transformer le chlorure de calcium en un chlorure de magnésium beaucoup plus décomposable et dont l'action sur le fer est plus énergique.

Il est donc préférable, pour cette raison, de ne pas faire usage de magnésie pour l'épuration des eaux qui contiennent des chlorures.

En résumé, il faut, autant que possible, éviter pour l'alimentation des générateurs les eaux contenant des chlorures. Si, cependant, on ne peut s'en procurer d'autres, il

conviendra d'atténuer, à l'aide d'un réactif approprié, les effets corrosifs des chlorures qu'elles contiennent, c'est-à-dire les chlorures de sodium, de calcium et de magnésium. Les deux premiers sont plus stables que le dernier qui est très facilement décomposable. Il convient donc d'employer une base pour saturer l'acide chlorhydrique mis en liberté par cette décomposition. Si nous mettons de côté la chaux dont l'emploi donnerait lieu à des incrustations, nous pouvons faire usage de potasse ou de soude, ou encore des carbonates correspondants. Le moins cher étant le carbonate de sodium, on obtiendra par sa réaction sur le chlorure de magnésium, du chlorure de sodium et du carbonate de magnésium insoluble.

On paralysera ainsi l'action du chlorure de magnésium, mais on restera encore exposé à celle des chlorures de sodium et de calcium contre laquelle nous ne connaissons pas de remède.

Le nickel résistant beaucoup mieux à l'acide chlorhydrique que le fer, certains ingénieurs ont conseillé l'emploi d'acier nickelé pour les tubes des chaudières multitubulaires.

M. Yarrow a présenté, lors de la session d'été de 1899 de l'institution des « Naval Architects », les résultats d'expériences qu'il avait effectuées comparativement sur les tubes en acier et sur des tubes en nickel, afin de juger la façon dont ils se comporteraient au feu et vis-à-vis des acides.

Il a plongé des tubes en acier ordinaire et des tubes en acier au nickel contenant 20 à 25 p. 100 de nickel dans un bain d'eau contenant une partie d'acide chlorhydrique pour deux parties d'eau. Après 533 heures d'immersion, les tubes au nickel ont perdu à peine 3,2 p. 100 en moyenne de leur poids, tandis que les tubes en acier ordinaire avaient perdu 53 p. 100, soit 16 fois 1/2 plus que les premiers.

Bien que les tubes en acier au nickel coûtent notablement plus cher que les autres, il peut y avoir avantage, dans certains cas, à les employer. Toutefois, l'usage de cet acier dans les tôles de chaudières n'a pas encore été essayé à notre connaissance. Aussi, avons-nous cité ces expériences, non pas en vue d'une application actuelle, mais parce qu'elles nous ont paru très intéressantes.

Acide chlorhydrique libre. — On fait souvent usage, dans les sucreries, d'acide chlorhydrique dilué pour nettoyer les faisceaux tubulaires des appareils d'évaporation. Si on ne prend pas le soin d'éliminer les eaux acides provenant de cette opération, ces eaux peuvent être amenées dans les générateurs et y provoquer les mêmes corrosions que les chlorures.

Notre collègue, M. Schmidt, a autrefois appelé, avec raison, l'attention des fabricants de sucre sur cette cause de destruction des générateurs, et il convient de tenir grand compte de son avertissement.

Eau de pluie. — On peut citer comme un curieux exemple de corrosion celui qu'a signalé M. Compère dans un des Congrès des Ingénieurs en chef des Associations (1).

La chaudière qui a fait l'objet de ses observations est verticale, à bouilleurs croisés et à foyer intérieur, du genre Hermann-Lachapelle; elle était située à la Plaine-Saint-Denis et alimentée avec de l'eau de pluie recueillie sur des toits en zinc de grande surface. Il semblait que cette chaudière aurait dû être à l'abri des corrosions autres que celles auxquelles donne lieu l'eau très aérée, c'est-à-dire la corrosion par pustules; il n'en était rien, car la visite fit découvrir l'existence de sillons peu profonds, à l'aspect

(1) 17^e Congrès des Associations des Propriétaires d'appareils à vapeur. (1893).

vermiculaire, et différent complètement des pustules.

L'eau de pluie analysée donna une réaction nettement acide, et révéla la composition suivante :

Chlore.....	0 ^g ,017 par litre.
Acide sulfurique.....	0 ^g ,156
Zinc.....	0 ^g ,186

L'eau de pluie s'était donc chargée, soit en tombant, soit en séjournant sur les toits, de vapeurs acides provenant des usines de produits chimiques situées à la Plaine-Saint-Denis. Le zinc avait, en partie atténué son acidité, mais pas complètement puisque, malgré sa présence, la réaction de l'eau se trouvait encore nettement acide. C'est donc à l'action des acides chlorhydrique et sulfurique qu'il fallait attribuer les corrosions constatées.

Il convient encore de signaler un cas analogue de corrosion, cité par M. Desjuzeur (1).

Un générateur se trouva corrodé par suite de l'introduction, dans cet appareil, de vapeurs acides par la purge à air libre d'un injecteur. Lorsqu'on faisait fonctionner cet injecteur, la purge aspirait fortement de l'air qui se trouvait entraîné par le jet d'eau vers la chaudière. Or, à proximité de cet injecteur, on produisait du chlorure de fer en versant sur de la tournure de l'acide chlorhydrique. Cet acide émettait des vapeurs qui se sont trouvées aspirées par la purge de l'injecteur en quantité suffisante pour rendre acide l'eau du générateur et provoquer la corrosion.

On peut encore rattacher à l'action de l'acide chlorhydrique les corrosions provoquées par les mastics métalliques, qu'on employait autrefois pour faire les joints des communications à emboîtement, aujourd'hui heureuse-

(1) Association lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur. *Bulletin* de 1898.

ment délaissées ; certains chaudronniers en font encore usage pour étancher les fuites résultant des rivures mal faites. On trouve ce mastic dans les jonctions des communications ou des dômes avec les parties cylindriques sur lesquelles ils s'assemblent. Ce mastic est composé le plus souvent de limaille de fer et de chlorhydrate d'ammoniaque. Lorsqu'il se trouve dans des parties suffisamment chauffées pour amener la décomposition du chlorhydrate d'ammoniaque, l'acide chlorhydrique, mis en liberté se porte sur le fer et le ronge.

Les cas de corrosions de ce genre sont nombreux. Nous connaissons une explosion de chaudière locomobile survenue, il y a deux ans environ, par amincissement excessif de la tôle, et dans laquelle le mastic de fer a joué le rôle d'élément destructeur.

Heureusement, son emploi diminue au fur et à mesure des progrès réalisés dans la construction des chaudières. C'est un agent de corrosion qui disparaît ; on ne peut que s'en féliciter sous tous les rapports.

Corrosions par l'acide sulfurique.

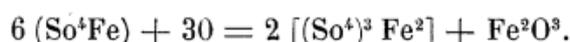
De même que l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique peut être introduit dans les générateurs sous forme de sulfates ou de sulfures. Cet acide se trouve d'ailleurs dans la plupart des eaux à l'état de sulfate de calcium, mais dans ce cas, il n'est pas corrosif ; il est seulement incrustant.

Dans les eaux extraites des terrains miniers on trouve, en plus : du sulfate de fer, du sulfate d'aluminium, du sulfate de magnésium et des sulfates de potassium et de sodium. Ces deux derniers sont inoffensifs, mais les autres peuvent provoquer des corrosions en se décomposant dans les chaudières.

M. de la Coux explique de la manière suivante la façon dont les sulfates se transforment :

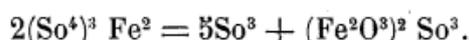
Sulfate de fer. — « Le sulfate ferreux ne produirait
« pas d'action s'il restait continuellement à l'état de sel
« au minimum ; mais, dans les chaudières, ce sulfate se
« trouve presque toujours dans un milieu oxydant formé
« par l'air ou les azotates en dissolution dans l'eau, et
« dont l'action est encore augmentée par la haute tem-
« pérature.

« Il s'ensuivra une transformation du sulfate ferreux
« en sulfate ferrique normal, avec précipitation d'oxyde
« ferrique :



« Le sulfate ferrique est un corps éminemment cor-
« rosif. Il peut agir par deux actions différentes qui amènent
« une nouvelle attaque du fer.

« Dans les générateurs de vapeur, la température fait
« que l'eau qui tient en dissolution ce sulfate ferrique
« normal, en provoque la décomposition en acide sulfu-
« rique libre et en sulfate ferrique basique :



« Ce sulfate ferrique basique se précipite et l'acide
« sulfurique libre à son tour produira une nouvelle attaque
« du métal qui amènera encore la formation de sulfate
« ferreux, lequel s'oxydera pour former du sulfate fer-
« rique, et ainsi de suite.

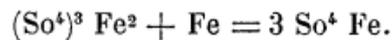
« Il est une réaction commune à tous les sels ferriques et
« très importante au point de vue qui nous intéresse,
« c'est l'action réductrice qu'exerce le fer sur les sels
« ferriques. Cette réaction se fera au détriment du fer de

« la chaudière pour donner naissance à un sel de fer au minimum : le sulfate ferreux.

« Donc, le sulfate ferrique normal est susceptible de corroder la tôle en se dédoublant en acide sulfurique qui se porte sur les parois des générateurs, et en sulfate de fer basique qui agit par réduction à la faveur du fer métallique.

« Cette réduction que fait subir le fer au sulfate ferrique basique est commune à tous les sels ferriques, et peut avoir lieu en particulier pour le sulfate ferrique normal.

« Nous avons donc une action réductrice pouvant se traduire par l'équation :



« C'est encore du fer pris au générateur qui servira à obtenir cette réduction. »

Les eaux contenant des sulfates de fer sont donc très dangereuses.

Sulfate d'alumine. — Le sulfate d'alumine se comporte dans les chaudières comme le sulfate de fer. La chaleur en dissocie les éléments en produisant de l'alumine et de l'acide sulfurique, lequel se portera sur le fer pour former du sulfate ferreux, puis du sulfate ferrique, ainsi qu'il a été indiqué plus haut.

En somme, l'acide sulfurique, véhiculé par les sulfates de fer et d'alumine facilement décomposables dans les chaudières, agit de la même manière dans les deux cas en se portant, quand il est mis en liberté, sur le fer et en le transformant en sulfates de fer décomposables à leur tour indéfiniment.

Pour neutraliser les effets désastreux de l'acide sulfurique, on peut avoir recours à la chaux ou à la baryte,

mais comme les sulfates ainsi formés constituent des corps incrustants et adhérant aux parois des générateurs, il est préférable d'employer le carbonate de sodium, qui formera avec le sulfate de fer du sulfate de sodium soluble et un précipité d'oxyde de fer.

Sulfate de magnésium. — Le sulfate de magnésium est par lui-même inoffensif, mais s'il se trouve dans les chaudières en présence de chlorures, il peut se former du chlorure de magnésium, dont l'action corrosive est intense et rapide.

Le carbonate de sodium sera encore employé utilement dans cette circonstance en donnant lieu à du sulfate de sodium et du carbonate de magnésium insoluble. L'acide chlorhydrique opérera, à la vérité, sur le carbonate de magnésium, mais son action sera empêchée par le carbonate de sodium, même mis en léger excès pour permettre la formation du chlorure de sodium incomparablement plus fixe que le chlorure de magnésium.

Acide sulfurique libre. — Nous n'avons envisagé, dans ce qui précède, que l'action de l'acide sulfurique à l'état de sulfate et non à l'état libre; il est évident en effet que si des eaux se trouvaient normalement acides, on ne les emploierait pas pour l'alimentation des générateurs, ou du moins on les neutraliserait avant d'en faire usage.

Nous avons cependant été témoins, dans trois usines différentes, de cas de corrosions par de l'acide sulfurique libre introduit dans les générateurs destinés à fournir de la vapeur aux chambres de plomb pour la fabrication de cet acide. Chacune de ces usines possédait une chaudière affectée uniquement à cet objet, et isolée des autres. On laissa s'écouler, par mégarde, des eaux chargées d'acide dans le réservoir d'eau d'alimentation. On s'aperçut assez vite de l'erreur commise dans deux des usines, et nous

fûmes appelé pour nous rendre compte des avaries occasionnées par cette alimentation anormale; les tôles étaient profondément corrodées, et leur épaisseur était tellement réduite qu'elles furent mises hors de service. Pour la troisième, l'attention du chauffeur fut attirée par les sifflements discontinus de l'appareil magnétique indiquant le manque d'eau alors que le tube de verre accusait au contraire un niveau plus que suffisant dans la chaudière.

On en conclut que le flotteur en tôle était percé et on arrêta la chaudière immédiatement pour le réparer. On s'aperçut alors que ce flotteur était réduit à l'état de pellicule et qu'un trou s'était formé qui avait permis à l'eau de pénétrer à l'intérieur de la lentille. Celle-ci n'avait pas été seule atteinte, et toutes les tôles présentaient des corrosions qui auraient vite rendu la chaudière impropre au service si on ne s'était aperçu presque immédiatement du fait. L'acide sulfurique y avait été introduit de la même manière que dans les usines précédentes et y avait occasionné des dégâts analogues.

Ce ne sont évidemment là que des exceptions, mais il convient de tirer de ce fait un enseignement précieux pour les usines de produits chimiques et de faire en sorte d'éviter la possibilité d'une fausse manœuvre dont les conséquences seraient particulièrement graves. Ces chaudières se trouvaient heureusement isolées dans chacune des usines, c'est ce qui fait qu'elles ont été seules attaquées, mais si elles s'étaient trouvées en batterie, accolées à d'autres ayant la même alimentation, toutes les chaudières constituant la batterie auraient pu être mises hors d'usage.

Acide sulfureux. — On fait quelquefois usage, dans les fabriques de sucre, d'acide sulfureux pour blanchir le sucre. Cet acide sulfureux, introduit dans les générateurs, s'y transformerait facilement en acide sulfurique

et agirait comme ce dernier sur les tôles. Il faut donc éviter son accès dans les chaudières et éliminer avec soin les eaux qui peuvent en contenir.

Corrosions par l'acide tannique.

Les industriels se servent souvent de désincrustants dont ils ignorent la composition et qui contiennent parfois des extraits de bois et notamment du tannin. Or, l'acide tannique attaque le fer; il n'est donc pas étonnant qu'introduit dans les générateurs en quantité suffisante, il y produise des corrosions. Nous avons signalé dans une note écrite en collaboration avec M. Olry (1) un cas de corrosion survenu à une chaudière dans laquelle on faisait entrer un désincrustant contenant, par litre :

Tannin.....	174 ^s ,60
Matières extractives organiques.....	48 ^s ,45
Cendres solubles (sels de potasse).....	4 ^s ,05
Cendres insolubles (chaux, alumine)....	3 ^s ,30
Total.....	<u>230^s,40</u>

Ce produit était introduit à raison de deux litres à la fois dans la chaudière, alors que le fournisseur avait recommandé de n'en mettre qu'un demi-litre et encore en faisant pénétrer le liquide peu à peu dans l'eau d'alimentation. L'arrivée du désincrustant dans la chaudière en rendait l'eau suffisamment acide pour permettre l'attaque du métal. Cette attaque se présentait sous une forme toute particulière en ce sens que, dans les rivures, la tôle seule était rongée, alors que les rivets étaient intacts. Nous avons émis, à cette occasion, l'hypothèse très vraisemblable de la formation d'un couple électrogène entre

(1) Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord. 14^e *Bulletin*, 1897, page 64.

l'oxyde de fer et le métal à la faveur de l'acidité et de la température, régnant dans la chaudière.

Comme il n'existait ni dans l'eau, ni dans les dépôts recueillis aucune trace de corps susceptible de provoquer les corrosions constatées, nous avons été amenés à incriminer l'acide tannique que des faits antérieurs, signalés déjà par quelques-uns de nos collègues, avaient rendu suspect à nos yeux.

M. Compère avait notamment constaté un cas de corrosion d'un générateur (1) provoquée par la sciure de bois. Dans le but de séparer la graisse de l'eau d'alimentation, un industriel faisait passer les eaux de condensation à travers un filtre en sciure de bois de charme dont le rôle était de retenir les matières grasses en suspension. Les résultats obtenus dans cet ordre d'idées furent assez satisfaisants, mais le générateur se corroda et on dut le remplacer. Notre collègue, voulant s'assurer si la sciure de bois ne jouait point un rôle dans les avaries, fit passer de l'eau chaude sur des copeaux du même bois, c'est-à-dire du charme, et soumit à l'ébullition, en présence de la tournure de fer, l'eau ainsi recueillie. Cette eau prit une teinte noire, et les copeaux de fer furent attaqués; le même résultat fut obtenu avec du bois de chêne.

Il faut donc se défier de l'action corrosive des extraits de bois avec lesquels on colore souvent les produits vendus dans le commerce sous le nom de désincrustants.

Corrosions par les graisses.

On connaît depuis longtemps la corrosion des tôles par les huiles et les graisses introduites dans les générateurs avec l'eau d'alimentation. On fait souvent usage, pour alimenter

(1) 13^e Congrès des Associations des Propriétaires d'appareils à vapeur. (1888).

les chaudières, d'eau provenant des condenseurs et contenant déjà une certaine quantité de chaleur. Or, les condenseurs reçoivent naturellement avec la vapeur condensée tous les corps gras, huiles ou suifs qui ont servi à lubrifier les cylindres. Dans les condenseurs par mélange, lorsque l'eau ne fait que les traverser une seule fois pour être rejetée ensuite à l'égout, les pompes aspirent avec l'eau d'alimentation très peu d'huile, car celle-ci se trouve disséminée dans un volume de liquide considérable dont la majeure partie est évacuée. On n'introduit donc par ce moyen qu'une très petite quantité de corps gras à la fois ; comme ils restent à demeure dans la chaudière, ils finissent évidemment par se concentrer un peu plus tous les jours, mais néanmoins leur quantité est, au moment de la vidange, c'est-à-dire lorsque l'eau en contient sa teneur maxima, généralement trop faible pour occasionner une attaque sensible.

Il en est autrement dans les usines manquant d'eau et obligées d'avoir recours à des appareils réfrigérants pour économiser l'eau de condensation. Dans ces usines, l'eau ayant traversé le condenseur est rejetée sur un réfrigérant dont l'effet est d'abaisser sa température par évaporation ; cette eau est ramenée au condenseur pour faire retour ensuite au réfrigérant, et ainsi continuellement.

On ne se sert d'eau nouvelle que pour parer aux pertes dues à l'évaporation. On comprend que dans ces conditions, cette eau qui passe indéfiniment dans le condenseur se charge de plus en plus de suif et d'huile provenant des cylindres de la machine, si bien que, lorsqu'on l'introduit à l'aide des pompes alimentaires dans les générateurs, elle y amène avec elle une quantité notable de corps gras.

Lorsqu'on fait usage de condenseurs par surface, on renvoie intégralement aux chaudières toute l'huile et la graisse provenant des cylindres, et ces corps gras ne tar-

dent pas à se concentrer et se déposent contre les parois en une couche quelquefois épaisse.

Si donc, les corps gras sont corrosifs, le métal se trouvera attaqué d'autant plus vite et avec d'autant plus d'intensité que ces agents seront en plus grande quantité. C'est pourquoi la corrosion des chaudières marines a été autrefois, quand on a commencé à faire usage des condenseurs à surface, si rapide et si grave. D'ailleurs, les corps gras produisent également une surchauffe des tôles en les isolant de l'eau, de sorte que ces générateurs subissent à la fois la double influence des corps gras : déformations résultant de la surchauffe, et corrosions par leur décomposition.

Nous laisserons de côté, comme étrangères à notre sujet, les avaries très fréquentes occasionnées par la présence de l'huile sur les tôles, et nous ne nous occuperons que de l'action chimique de ces huiles et graisses.

Pour expliquer le mode d'action des corps gras sur les tôles, il suffit de se rappeler que ces corps sont constitués par deux éléments qui sont : la glycérine et les acides gras.

Pour obtenir la saponification, c'est-à-dire la séparation des acides d'avec la glycérine, il suffit de mélanger les corps gras avec de l'eau et de porter le tout à la température convenable. Il se produit alors une décomposition des corps gras par la chaleur analogue à celle du chlorure de magnésium, du carbonate de chaux, etc.. On peut faciliter l'opération en ajoutant au liquide une base quelconque qui déplace la glycérine ; on n'a pas besoin dans ce cas d'une température aussi élevée ; c'est ainsi qu'on forme soit un savon mou en employant la soude, soit un savon dur en employant la chaux.

On comprend dès lors que les corps gras introduits dans un générateur y rencontrent tous les éléments nécessaires à leur décomposition, la température d'une

part, suffisante d'ailleurs pour mettre l'acide gras en liberté, et des sels de soude de chaux ou de magnésie d'autre part, dont l'action combinée favorise l'opération comme cela se passe dans les fabriques d'acide stéarique par exemple, dans lesquelles on emploie plutôt un oxyde métallique.

Les acides mis en liberté corrodent le métal ainsi que nous l'avons expliqué dans une note publiée en collaboration avec M. Olry (1).

On trouve dans les dépôts recueillis sur les tôles des chaudières ainsi corrodées le fer sous forme d'oxyde. Il faut donc que le savon ferreux se soit décomposé après avoir de nouveau mis en liberté l'acide gras qui l'avait formé.

M. le professeur V. Wartha, de Budapest, a démontré par une série d'expériences qui ont été publiées dans la *Gazette polytechnique de Dingler* en 1875, qu'il en était réellement ainsi. Il constata en effet dans des dépôts recueillis sur les parois d'une chaudière la présence de l'oxyde de fer et de l'acide oléique libre.

Il faut conclure de là que les acides gras, une fois introduits dans les chaudières, s'y régénéreraient, et qu'une petite quantité d'acide serait capable de provoquer, avec le temps, des dégâts importants.

On trouve des exemples de corrosion par les huiles et les graisses dans les machines à vapeur. Nous avons vu, en effet, plusieurs guides d'obturateurs de machines Corliss profondément rongés sur la plus grande partie de leur longueur ; ce fait prouve que la température de la vapeur admise dans les cylindres est suffisante pour provoquer la décomposition de certaines huiles animales ou végétales ; à plus forte raison l'eau contenue dans les

(1) Corrosion d'un récipient en cuivre. — Difficulté d'en apprécier l'importance. — 16^e *Bulletin* de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord (1899).

chaudières qui alimentent la machine, et dont la température est naturellement plus élevée, amènera le même phénomène.

Les explications précédentes ne s'appliquent naturellement qu'aux corps gras saponifiables, c'est-à-dire décomposables. Tels sont les graisses et huiles animales, et les huiles végétales; mais les huiles minérales, dont l'usage se répand de plus en plus, ne présentent pas ces inconvénients, du moins lorsqu'elles sont pures. Il arrive malheureusement souvent qu'on les mélange avec des suifs avariés, des saindoux de mauvaise qualité, ou encore, lorsqu'elles coûtent très cher, à des huiles décomposables dans le but d'augmenter le bénéfice du vendeur. Nous avons vu aussi des huiles contenant une forte proportion de résine. Il est clair que de pareilles huiles amèneront des corrosions comme celles que nous avons signalées, mais il ne faudra pas les imputer à l'huile minérale, qui n'a pas d'action nocive.

Le remède le plus efficace à apporter à ce genre de corrosions consiste à ne plus faire usage d'huiles susceptibles de se décomposer à la température de vaporisation. Puisque, d'après M. le professeur Wartha, les savons qui se forment dans les chaudières s'y décomposent, il serait inutile d'essayer de former un savon différent de celui du fer en y introduisant une autre base, par exemple la soude. Il convient de ne se servir que d'huiles minérales pour le graissage des cylindres et des autres parties léchées par la vapeur, mais comme cette huile minérale peut, par sa présence seule, occasionner des avaries d'un autre genre, il est vrai, mais non moins graves, c'est-à-dire la surchauffe des tôles, il faut proscrire des chaudières les eaux chargées de corps gras. On arrivera à ce résultat, soit en n'utilisant pas les eaux de condensation pour alimenter les chaudières, soit en débarrassant ces eaux des graisses qu'elles contiennent. Les filtres dont on fait usage dans

l'industrie ne sont pas parfaits ; ils laissent en effet généralement passer une partie de l'huile qu'ils ont mission d'arrêter ; aussi, faut-il les surveiller avec soin et ne pas hésiter, lorsque l'aspect de l'eau dénote une quantité trop grande d'huile, d'évacuer cette eau complètement et de la remplacer par de l'eau fraîche. L'omission de cette surveillance occasionne quelquefois de très graves mécomptes ; récemment encore, nous avons vu deux chaudières mises en même temps hors de service par suite d'une surchauffe des tôles de coup de feu provoquée par une couche d'huile minérale qui les tapissait. Cette couche était peu épaisse, mais les tôles ne s'en sont pas moins bosselées et déformées au point de nécessiter leur remplacement.

Bien que l'huile recouvrit toutes les parois et le faisceau tubulaire de ces chaudières (il s'agit de chaudières semi-tubulaires à deux bouilleurs timbrées à 12 kilogrammes) nous n'avons constaté, après avoir fait râcler toutes les surfaces, aucune trace de corrosion. Cette remarque corrobore ce que nous disions plus haut, à savoir que l'huile minérale ne s'est pas décomposée à la température correspondante à la pression de 12 kilogrammes, soit 191°.

Corrosions par le sucre.

On a souvent l'occasion de constater dans les générateurs de sucrerie, de raffinerie, de fabrique de glucose et, en général, des usines dans lesquelles on procède à l'évaporation de jus sucrés, la présence du sucre ou plutôt le résultat de la décomposition des matières sucrées, sous forme de dépôts de couleur brune, renfermant une grande proportion d'oxyde de fer et exhalant,

lorsqu'on les calcine, une odeur de caramel. Ce dépôt se rencontre généralement sous l'aspect pulvérent, et réparti sur les parois les plus chauffées de la chaudière; quelquefois même, il se trouve en quantité suffisante pour constituer un isolant susceptible d'occasionner la surchauffe des tôles et leur déformation.

L'alimentation des chaudières se fait en majeure partie à l'aide des eaux condensées provenant ou bien des serpentins de chauffage, ou bien des vapeurs formées dans les appareils d'évaporation à effets multiples, ou enfin des calorificateurs de diffusion.

Dans le premier cas, il suffit qu'un serpentin se perce ou qu'un joint de raccord cesse d'être étanche pour que le jus sucré soit entraîné dans la chaudière.

Dans le second cas, un fonctionnement anormal de l'appareil ou l'usure d'un tuyau des faisceaux tubulaires peut encore amener des jus chargés de sucre à l'intérieur des chaudières.

Quelle que soit d'ailleurs la manière dont le sucre est introduit dans les chaudières, sa présence ne fait pas de doute; et, comme des corrosions ont été constatées en même temps que l'existence de produits sucrés, on s'est demandé si ces corrosions n'étaient pas occasionnées par l'action du sucre sur le métal constitutif des générateurs.

Différentes expériences ont été faites à ce sujet qui démontrent qu'en effet le sucre est susceptible d'attaquer le fer.

En 1886, MM. Daniel Klein et A. Berg, professeurs à la Faculté des sciences de Marseille (1) se sont livrés à des essais très intéressants consistant à soumettre différents métaux à l'action du sucre à une température se rapprochant de celle des chaudières (115 à 120°).

(1) *Bulletin* de la Société scientifique industrielle de Marseille. Tome XIV. Année 1886.

Ils ont constaté que les liquides sucrés chauffés au contact du fer, à une température supérieure à 100°, deviennent d'un brun verdâtre et ne tardent pas à présenter une réaction acide fort prononcée. En même temps le fer se dissout en proportions notables et d'autant plus grandes que la quantité de sucre en dissolution est elle-même plus importante. Il n'y a toutefois pas proportionnalité entre la quantité de métal dissous et la teneur en sucre du liquide.

L'état de la surface métallique influe sur la réaction.

MM. Klein et Berg ont renouvelé les mêmes expériences avec la dextrine, la gomme arabique et l'amidon, et ont constaté que ces produits avaient une action corrosive très faible sur le fer.

En Allemagne on s'est beaucoup occupé de l'action du sucre dans les générateurs et, à cet égard, la lecture des publications de ce pays est très intéressante.

En 1890, M. le docteur B. Drenckmann publia dans la *Revue de l'Union des Ingénieurs du district de Thuringe* un article relatif aux corrosions intérieures et extérieures des générateurs et cita le sucre comme susceptible d'attaquer le métal.

Lorsque le sucre pénètre dans un générateur, même en très petite quantité, il se forme, dit le docteur Drenckmann, une masse brunâtre, ressemblant un peu à du marc de café, contenant principalement des combinaisons caraméliformes. Si la température est suffisante, il se fait de l'acide formique, et si le sucre arrive d'une manière continue, des corrosions ne tardent pas à se produire avec d'autant plus d'intensité que les sels de fer formés au détriment du métal de la chaudière se décomposent à leur tour; il se produit alors des combinaisons et des décompositions successives dont le résultat final aboutit à la destruction du générateur.

En 1892, dans les « *Mittheilungen aus der Praxis des*

Dampfkessel-und Dampfmaschinen betriebes » de Berlin et Breslau, la Magdeburger Verein signale des corrosions dans quelques chaudières et les attribue à l'action du sucre. Tantôt le métal est attaqué d'une manière uniforme, tantôt les tôles sont percées de trous isolés, sans que les surfaces qui les séparent paraissent atteintes. On trouve dans les chaudières un résidu brun ressemblant à une fine couche de charbon, composé généralement de 75 p. 100 d'oxyde de fer et 25 p. 100 de charbon de sucre. Cette poudre apparaît d'ailleurs aussitôt que le sucre est introduit dans les chaudières, et avant que l'attaque des tôles ne soit sensible.

M. l'inspecteur Mladek de Prague, dans le « *Zeitschrift der Dampfkessel untersuchungs und Versicherungs Gesellschaft* » de Vienne, de septembre 1897, cite des corrosions occasionnées par le sucre dans des générateurs à foyers intérieurs et munis de faisceaux tubulaires. Ce sont les parties les plus chauffées qui souffrent le plus, c'est-à-dire les ciels des foyers intérieurs dans les chaudières du premier type, et les tubes dans le second. L'action corrosive fut telle dans un générateur tubulaire que, sur 186 tubes constituant le faisceau, 156 furent trouvés tellement amincis à la fin d'une campagne qu'il fallut les remplacer.

Le laboratoire de l'Union de Magdebourg a procédé à deux séries d'expériences analogues à celles qu'avaient faites MM. Klein et Berg; nous en trouvons le résumé dans un article publié dans le « *Mittheilungen aus der Praxis des Dampfkessel-und Dampfmaschinen betriebes* » de Berlin et de Breslau, par M. Cario.

Le premier essai se fit sur un générateur dans l'eau d'alimentation duquel on introduisit chaque jour un poids déterminé de sucre en pain (166 gr. par mètre cube). Au bout de quelque temps, l'eau de la chaudière prit une coloration légèrement jaunâtre qu'on aperçut à l'indica-

teur à tube. Après quatre semaines de marche, l'appareil fut vidé et examiné; on trouva sur les tôles et les rivures une poudre brune, que l'auteur décrit dans le même article de la manière suivante :

« Cette poudre est, dit-il, surtout composée d'oxyde de
« fer mélangé à du charbon de sucre; la nature du fer se
« reconnaît à sa facilité d'être attiré par un aimant et le
« charbon de sucre se distingue par sa combustibilité. Si
« l'on comprime un peu de ce résidu et qu'on en approche
« un copeau incandescent, toute la masse se met à rougir
« et la combustion, une fois commencée, se propage de
« proche en proche, comme pour l'amadou, jusqu'à ce
« que le charbon ait complètement brûlé. »

Cette première expérience avait été faite avec l'eau ordinaire d'alimentation de la chaudière à laquelle on avait simplement ajouté du sucre, ainsi que nous venons de le dire. On crut bon de la recommencer avec de l'eau distillée afin d'éliminer les matières autres que le sucre qui auraient pu avoir une certaine influence sur la formation de la poudre résiduaire. On se servit alors d'une petite chaudière de 300^{mm} de diamètre et de 600^{mm} de hauteur dans laquelle on introduisit une solution de sucre dans de l'eau distillée. Un serpentín placé à l'intérieur de la chaudière permettait d'échauffer, à l'aide d'un courant de vapeur, le liquide qu'elle contenait.

La solution de sucre une fois introduite, la chaudière fut fermée hermétiquement et chauffée pendant trois mois consécutifs par de la vapeur à la température constante de 140°, correspondant à 3 kilogrammes de pression environ.

L'examen de la chaudière amena les mêmes constatations que lors du premier essai; on trouva, répartie d'une manière générale sur les parois, la même poudre brune et des traces sensibles de corrosions.

Ces deux expériences montrent donc que le sucre est

susceptible, en se décomposant, d'attaquer le métal des générateurs.

En mars 1898, M. le docteur H. Claasen avait signalé, dans la même publication, les dégâts que pouvait occasionner le sucre dans les générateurs, suivant qu'il s'y trouvait en grande ou en petite quantité. Lorsque le sucre arrive en grande quantité, il se fixe sur les parois métalliques, brûle au contact des parties les plus chauffées en donnant lieu à une couche de charbon d'épaisseur croissante, jusqu'au moment où cette couche est suffisante pour isoler complètement la tôle de l'eau. Il se produit alors une surchauffe de la tôle qui, sous l'influence de la pression intérieure, s'emboutit ou se fend suivant la qualité du métal.

Lorsqu'au contraire, le sucre pénètre dans la chaudière en petite quantité, il se décompose au fur et à mesure de son arrivée en donnant naissance à des acides organiques qui agissent sur le métal. La corrosion est d'autant plus intense que la proportion de sucre en dissolution est plus grande, la température et par suite la pression de la chaudière plus élevée. Dans les chaudières à basse pression (2 à 3 kilogrammes), la décomposition du sucre se fait lentement ; elle est au contraire beaucoup plus vive et plus rapide à la pression de 6 kilogrammes.

En France, la corrosion des chaudières de sucrerie préoccupe depuis longtemps les Ingénieurs des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur, principalement ceux qui ont dans leur rayon d'action un nombre important de fabriques de sucre à surveiller. Les expériences effectuées en 1886 à Marseille, et dont nous avons parlé plus haut avaient été entreprises par MM. Klein et Berg, à l'instigation de notre collègue M. Dubiau, Ingénieur en chef de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeurs de Marseille. Notre collègue, M. Schmidt, Ingénieur en chef de l'Association de la Somme, de l'Aisne et de

l'Oise, qui a parmi ses associés beaucoup de fabricants de sucre, a suivi cette question avec intérêt et, dès 1893, il communiquait aux Congrès des Ingénieurs des Associations françaises le résultat des recherches qu'il avait faites dans cette voie. Nous avons nous-mêmes, à cette époque, rédigé en collaboration avec M. Olry une note (1) sur un cas de corrosion de chaudière dans une sucrerie présentant cette particularité que, parmi les huit chaudières installées dans l'usine, l'une d'elles était beaucoup plus attaquée que les autres bien qu'elle fût cependant du même type que celles-ci et alimentée avec les mêmes eaux. Nous avons donné l'explication de ce fait qui provenait de ce que le rapport du volume à la surface de chauffe $\frac{V}{S}$ étant beaucoup plus petit pour la chaudière la plus avariée que pour les voisines, les sels corrosifs atteignaient dans cette chaudière un degré de concentration plus élevé qui rendait leur action plus rapide.

Nous avons attribué la corrosion à l'action du sucre et du chlorure de calcium, n'osant pas encore être trop affirmatif sur la prépondérance d'un des agents sur l'autre. Notre collègue M. Schmidt partageait d'ailleurs notre hésitation au sujet de l'influence nocive du sucre contestée d'ailleurs par quelques-uns de nos collègues.

La constatation qu'il fit dans deux usines que la suppression des entraînements de sucre dans les chaudières, obtenue à l'aide d'appareils appropriés, avait amené l'arrêt des corrosions, lui permit d'être, l'année suivante, plus affirmatif, et il conclut à ce moment à l'action sur le fer des acides provenant de la décomposition du sucre.

De notre côté, une étude que nous fîmes de concert avec M. Olry et dont nous avons rendu compte dans

(1) Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord. 10^e *Bulletin*, 1893, page 97.

notre *Bulletin* de 1898 (1), nous conduisit à attribuer nettement les corrosions à l'action des acides résultant de la décomposition, dans les générateurs, des matières sucrées contenues dans les eaux de retour. Il s'agissait de chaudières semi-tubulaires dont les tôles, et surtout les faisceaux tubulaires s'étaient rapidement corrodés au point même d'amener la rupture d'un tube par suite d'amincissement excessif. Les échantillons d'eau prélevés dans la chaudière donnaient une réaction acide ; leur analyse décela la présence d'acides organiques provenant de la décomposition des matières sucrées ; à l'étuve, ces eaux subissaient une fermentation butyreuse, reconnaissable à l'odeur ; bref, l'action du sucre, ou du moins des acides résultant de sa décomposition, nous a semblé cette fois tout à fait nette.

Les corrosions affectaient d'ailleurs les parties les plus chauffées, ainsi que l'avait fait remarquer M. Schmidt.

Nous eûmes à ce moment l'occasion de constater une proportion notable de 4,55 p. 100 de cuivre dans les dépôts trouvés à l'intérieur des générateurs. Déjà, la présence de ce métal avait été signalée antérieurement et M. Vivien avait, en 1894, indiqué un exemple de corrosion qu'il avait attribuée à l'action du cuivre introduit dans les générateurs à l'état d'ammoniaque formé par la dissolution du cuivre des appareils d'évaporation par l'ammoniaque contenu dans les jus sucrés.

Cet ammoniaque pouvait se transformer dans les chaudières en sulfates ou chlorures de cuivre, lesquels donnaient lieu à des sels de fer avec précipitation de cuivre à l'état métallique.

M. Schmidt, de son côté, avait signalé dans la note dont nous avons déjà parlé et que nous avons publiée

(1) Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord. 16^e *Bulletin*, page 66.

dans le 17^e Congrès (1) la présence de 6 p. 100 d'oxyde de cuivre dans un dépôt recueilli sur les tôles d'un générateur. Il paraissait dès lors acquis que le sucre peut, en se décomposant dans le générateur, occasionner des corrosions et que le cuivre apparaît le plus souvent, pas toujours cependant, dans les dépôts recueillis dans les chaudières corrodées. Il était donc très intéressant de rechercher d'une manière certaine comment le sucre d'une part et le cuivre d'autre part arrivaient dans les générateurs, et le moyen à employer pour cela consistait à suivre à la fois, pendant une campagne, la composition des eaux des chaudières et des eaux d'alimentation.

Il semblerait que les études de cette nature, qui ont pour objet de rechercher une cause grave de destruction des chaudières et d'en trouver le remède, dussent être très faciles, dans nos Associations, en raison des relations que nous avons avec les industriels ; c'est une grande erreur, car les indications qui nous sont fournies par nos associés, sur la foi de leur personnel, sont bien rarement précises. D'une manière générale, les fabricants de sucre prétendent que le sucre n'arrive jamais dans les générateurs ; quelques-uns conviennent toutefois que le fait peut se produire, mais très exceptionnellement et seulement à la suite d'une fausse manœuvre dans les appareils.

D'ailleurs, disent-ils, chaque fois que nous avons analysé l'eau prélevée dans nos générateurs, nous n'avons jamais trouvé de sucre. Cette dernière assertion est exacte, mais la raison en est que, lorsque le sucre pénètre dans un générateur, il se trouve décomposé et les analyses faites à ce moment sont impuissantes à découvrir la pré-

(1) 17^e Congrès des Ingénieurs en Chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur, — 1893.

sence des jus sucrés autrement que par les produits auxquels ont donné lieu leurs éléments en se séparant.

Il faut donc constater la présence du sucre avant son introduction dans les chaudières, et le seul moyen d'arriver à ce résultat est d'analyser fréquemment les eaux d'alimentation. Nous avons dans ce but recommandé à plusieurs de nos associés auxquels le temps et le personnel manquaient pour faire ces analyses, de prélever de temps à autre des échantillons d'eau et de les conserver pour les soumettre à l'essai. Ces recommandations, bien que rappelées au cours de la campagne, n'ont pas abouti. Les ordres avaient bien été donnés par les fabricants, mais le personnel avait omis de les exécuter.

Heureusement, dans certaines usines, on a pris la précaution de surveiller la composition des eaux, et le propriétaire de l'une d'elles, dans laquelle la surveillance a été particulièrement sérieuse, nous a fourni des renseignements précieux : il nous a déclaré que les eaux d'alimentation provenant des appareils à évaporer et dont les échantillons étaient prélevés très fréquemment, contenaient des traces de sucre, mais qu'à certains moments, rares d'ailleurs, la proportion augmentait notablement pour redevenir bientôt normale. Le même industriel a trouvé, après la campagne, des quantités considérables d'ammoniaque de cuivre dans certains serpentins de chauffage dont les tuyaux étaient d'ailleurs notablement diminués et réduits à une épaisseur insignifiante. Cette double constatation permet de se rendre compte de la manière dont le sucre et l'ammoniaque de cuivre arrivent dans les générateurs.

Or, l'usine à laquelle nous faisons allusion possède un grand nombre de générateurs dont les uns sont du type De Naeyer à tubes d'eau, et les autres du type Cail, à tubes à fumée. Pendant la campagne de 1899-1900, quelques tubes de chaudières multitubulaires furent

percés complètement par la corrosion, et quatre générateurs se trouvèrent mis hors de service en quelques jours pour cette raison. Brusquement, un mince filet d'eau se mettait à jaillir d'un tube par un orifice à peine perceptible ; en peu de temps, l'orifice d'une forme tantôt circulaire, tantôt elliptique, augmentait au point d'atteindre 9^{mm} suivant son plus grand diamètre.

Les tubes examinés sont tapissés à l'intérieur d'une couche de matière noirâtre un peu onctueuse à la surface, et recouvrant une pellicule d'incrustation dure, se détachant difficilement sous le grattoir ou le marteau à piquer, d'une épaisseur variable, répartie très inégalement sur la surface des tubes. De ci, de là, apparaissent, disséminées dans la couche noirâtre dont nous avons parlé, et sans qu'en ces endroits le dépôt soit d'une nature différente, quelques cavernes irrégulières, fort espacées les unes des autres, dont les parois sont très peu inclinées, presque verticales, et de profondeurs différentes. Ces cavernes creusées dans le métal contiennent une poudre brune composée presque en totalité d'oxyde de fer ; lorsqu'elles ont envahi toute l'épaisseur du tube, l'eau s'échappe par l'orifice sous la forme d'un jet de diamètre variable dont les sifflements appellent l'attention du chauffeur ou qui éteint le charbon lorsqu'il est dirigé vers la grille.

Il ne semble pas que la corrosion se porte de préférence à certains endroits de la périphérie du tube, ni que les trous soient orientés suivant certaines génératrices ; on rencontre en effet des trous sur toute la circonférence des tubes ; en revanche, ceux qui sont les plus profonds sont situés dans la partie la plus chaude des faisceaux tubulaires, c'est-à-dire à l'endroit où les gaz émanant de la grille échappent la première chicane horizontale et font retour de l'arrière vers l'avant.

Nous avons râclé des dépôts à l'intérieur de deux tubes, et leur analyse a révélé la composition suivante :

Dépôt A.

Humidité.....	1,88
Matières grasses neutres.....	3,03
Silice.....	5,30
Fer en peroxyde.....	25,40
Alumine.....	1,10
Sulfate de chaux.....	4,32
Chaux.....	57,00
Magnésie.....	3,74
Cuivre métallique.....	19,00
Oxyde de plomb.....	0,35
Acide carbonique, matière organique, oxygène.....	30,88
Total.....	100,00

Dépôt B.

Humidité, acide carbonique et matières organiques.....	28,82
Matières grasses.....	0,88
Silice.....	7,80
Oxyde de fer.....	15,07
Alumine.....	1,93
Sulfate de chaux.....	4,93
Chaux.....	5,58
Magnésie.....	4,21
Oxyde de cuivre.....	29,66
Oxyde de plomb.....	1,11
Non dosé.....	0,01
Total.....	100,00

Ces analyses ne diffèrent pas notablement l'une de l'autre en ce sens que les matières organiques, les sels de chaux, de magnésie, la silice et les matières grasses y apparaissent en quantités à peu près égales, les oxydes métalliques, fer et cuivre forment dans chacun des dépôts une proportion de 45 p. 100 environ; toutefois, il convient de remarquer que dans le dépôt A, l'oxyde de

fer intervient pour 25,40 p. 100 et l'oxyde de cuivre pour 23,77 (correspondant à 19 p. 100 de cuivre métallique), tandis que dans le dépôt B, la proportion d'oxyde de fer n'est que de 15,07 p. 100 contre 29,66 p. 100 d'oxyde de cuivre.

Dans l'un et l'autre, la proportion de cuivre est considérable, et je n'ai pas connaissance qu'une aussi grande quantité ait été signalée encore. Ce cuivre est entré dans les chaudières sous la forme d'ammoniaque de cuivre ; le fait n'est pas douteux puisque ce sel a été trouvé en très grande quantité dans certains serpentins en cuivre, ainsi que nous le disions plus haut.

Les matières organiques sont aussi en grande proportion, 30 p. 100 environ, et sont constituées par du sucre décomposé.

Quant aux matières grasses, elles sont neutres ; aussi, nous ne pensons pas qu'elles aient joué un rôle dans la corrosion. D'ailleurs, elles sont en proportion minime, surtout dans le dépôt B, puisqu'elles n'apparaissent que pour 0,88 p. 100.

Avant de rechercher l'influence du sucre et du cuivre sur la formation des corrosions, nous examinerons de quelle manière celles-ci se présentent dans les chaudières tubulaires Cail.

Dans ces chaudières, les tubes sont en général très propres ; certains d'entre eux sont même complètement exempts de dépôts. Les trous de corrosion sont disséminés sur la surface des tubes, mais ne présentent pas tous le même aspect. Sur quelques-uns on remarque, à certains endroits, des proéminences différant beaucoup comme forme et comme couleur des pustules de réchauffeurs, mais présentant cependant avec celles-ci une certaine analogie en ce sens que, lorsqu'on soulève à l'aide d'une lame le chapeau faisant saillie, on voit que ce chapeau présente au-dessous un aspect rougeâtre semblable

à de la rouille, et qu'il recouvre une cavité remplie de poudre brune. Ces monticules ont une hauteur de 5 à 7^{mm}, un diamètre de 10^{mm} et le trou qu'ils recouvrent est un peu plus petit. Ils se rencontrent un peu partout sur le tube, et aussi sur les parois de la chaudière.

Dans les parties les plus chaudes, notamment à proximité des emmanchements des tubes dans la plaque tubulaire d'arrière, les trous se manifestent en très grande quantité. Ils ont un diamètre de 1 à 4^{mm}. Contre les parois adhère une sorte de poussière brillante, aux reflets métalliques, également répartie sur la surface interne; si on enlève à l'aide d'une brosse la poussière qui tapisse les trous, le métal apparaît, mais strié et non lisse, et présente l'aspect d'une surface creusée par un acide. Les trous sont très rapprochés les uns des autres. Leur profondeur atteint 2 à 3^{mm}; les cloisons qui les séparent se rongent au fur et à mesure que la cavité s'agrandit et finissent par disparaître en réunissant leurs trous juxtaposés. De sorte que sur une longueur de 3 à 4 centimètres à partir de la plaque tubulaire, le tube paraît *a priori* avoir été corrodé d'une manière générale sur toute la circonférence, tandis qu'en réalité, la surface attaquée n'est que la réunion d'une infinité de trous dont les cloisons séparatrices ont disparu, comme nous le disions plus haut. En s'éloignant de la plaque tubulaire d'arrière, les trous sont moins nombreux et, par suite, plus espacés; leur profondeur est cependant la même.

Enfin, certains tubes présentent un grand nombre de corrosions sur toute leur surface, et ces corrosions, bien qu'un peu disséminées partout, apparaissent cependant infiniment plus nombreuses suivant une bande de 5 à 6 centimètres parallèle à l'axe des générateurs. La manière dont ces trous prennent naissance est la suivante : il se forme d'abord sur le tube une petite tache rougeâtre semblable à une piqûre d'épingle. Peu à peu, cette tache

grandit ; si on la perce avec une pointe, on rencontre une matière friable qui se désagrège au moindre effort pour former une poudre brune.

Pour quelles raisons l'agent corrosif qui se trouve dans les chaudières se porte-t-il en certains points plutôt qu'en d'autres ? Pourquoi, dans un faisceau tubulaire par exemple, un tube est-il attaqué d'une manière différente que son voisin immédiat se trouvant cependant dans les mêmes conditions ? Nous ne saurions l'indiquer d'une manière certaine, mais il y a lieu de croire que le manque d'homogénéité du métal sur laquelle tous les micrographes ont depuis quelque temps appelé l'attention des métallurgistes joue un rôle important dans la répartition des corrosions.

On comprend que l'action d'un agent corrosif varie suivant les circonstances, qu'elle soit par exemple plus rapide dans les parties chauffées que dans les parties froides ; que, dans un même régénérateur, certains tubes se corrodent plus vite que leurs voisins parce qu'en raison du montage, les gaz les traversent de préférence.

Il est également rationnel d'admettre que la corrosion augmente avec le degré de concentration de l'élément destructeur ; mais, quelle que soit la nature de cet élément, la corrosion devrait évidemment se manifester sur toute une surface à la fois et non en des points isolés, ainsi que nous le constatons. Il est donc logique de chercher l'explication du fait dans le manque de régularité dans la composition du métal, ou en d'autres termes, dans l'absence d'homogénéité qui ferait que certaines parties seraient plus sensibles que d'autres à l'action destructive.

Je crois d'ailleurs que la masse entière du métal finirait par être atteinte avec le temps, et qu'il n'existe pas, sur un tube attaqué par exemple, de points complètement à l'abri de l'oxydation. Ce qui le prouve, c'est que parmi

les trous qui affectent en grand nombre une surface déterminée, et de la manière dont nous l'avons indiquée, tous n'ont pas la même profondeur; les uns traversent toute l'épaisseur de la tôle tandis que d'autres commencent seulement; l'agent corrosif s'est donc porté d'abord aux endroits où son action pouvait plus facilement débiter, et ce n'est que plus tard, par le temps et peut-être aussi par sa concentration, qu'il a eu raison des parties contre lesquelles il avait d'abord été impuissant.

Une fois le trou commencé, il augmente aussi bien en profondeur que suivant son diamètre, et la poudre brune qui s'y trouve ou bien facilite par sa porosité l'accès de l'agent corrosif dans les parties internes, ou bien devient elle-même un élément destructif en formant avec le métal un couple électrogène comme nous sommes assez tentés de le croire.

Nous avons fait analyser un échantillon de poudre extraite avec beaucoup de soins des cavernes creusées par la corrosion dans un tube de chaudière tubulaire Cail, de manière à éliminer les matières étrangères qui auraient pu se trouver sur la surface du tube.

La composition de cette poudre est la suivante :

Silice.....	6,30
Alumine.....	0,80
Peroxyde de fer.....	75,30
Oxyde de cuivre.....	3,81
Sulfate de chaux.....	0,11
Chaux.....	0,46
Magnésie.....	0,75
Oxyde de plomb.....	3,36
Eau et acide carbonique.....	7,40
Matières grasses et pertes.....	1,71
Total.....	100,00

L'oxyde de fer constitue, comme on le voit, la plus grande partie de cette poudre; les sels de chaux et de

magnésie n'apparaissent qu'en proportions négligeables, et le fait n'a rien d'étonnant car le tube est très propre ; la silice a filtré à travers la poudre poreuse ; l'oxyde de plomb provient, sans doute, du minium des joints. Quand à l'oxyde de cuivre, il se trouve en quantité relativement faible par rapport à la proportion accusée dans les analyses des dépôts provenant des chaudières De Naeyer.

L'intensité de la corrosion ne suit donc pas la teneur en cuivre attendu que le tube dont nous avons extrait la poudre ci-dessus était beaucoup plus corrodé que le tube de la chaudière multitubulaire dont provenaient les dépôts qui contenaient une proportion de cuivre de 20 à 30 p. 100.

De tout ce que nous venons d'exposer, il résulte que l'on a introduit dans les générateurs :

1° Du sucre en faible quantité à la fois, mais qui s'est concentré au fur et à mesure de l'évaporation ;

2° De l'ammoniaque sous forme d'ammoniure de cuivre et, peut-être aussi, de phosphate d'ammoniaque. Cet ammoniaque, provenant de l'évaporation des jus sucrés, se trouve en proportions variables suivant la nature et la quantité d'engrais employés pour cultiver la betterave ;

3° Du cuivre sous forme d'ammoniure de cuivre ;

4° Des matières grasses, mais non saponifiables ;

5° Des sels de chaux, plomb, magnésie, et de la silice qui ont été apportés un peu à la fois, par l'eau d'alimentation.

Trois cas peuvent se présenter :

1° Ou bien l'ammoniaque se trouve seul dans les chaudières à l'état de phosphate ou d'ammoniure de cuivre. En présence du fer ou de la chaux, le cuivre se précipite à l'état métallique et nous n'oserions pas affirmer qu'il en résulte une corrosion résultant du contact du cuivre et du fer.

Une grande partie du faisceau des chaudières tubu-

laires Cail a, en effet, été raboutée avec des bagues en cuivre brasées, et il n'apparaît aucune attaque à l'endroit de la soudure des deux métaux, cuivre et fer ; il est donc logique de penser que le cuivre métallique déposé sur le fer dans ces conditions ne développe pas d'action corrosive ;

2° Ou bien, postérieurement à l'arrivée de l'ammoniaque, le sucre pénètre dans les chaudières ; sous l'influence de la chaleur, les acides du sucre sont mis en liberté et sont d'abord saturés par l'ammoniaque qui n'aurait pas été entraîné par l'évaporation ; l'excès d'acide se porterait, de préférence, sur les parties non protégées par le cuivre et les attaquerait. Le fer est, en effet, beaucoup plus sensible à l'action des acides du sucre que le cuivre ; à ce moment, le cuivre réagirait sur des sels de fer pour donner lieu à l'oxyde de cuivre que l'analyse révèle dans les dépôts et les poudres recueillis.

3° Ou enfin le sucre se trouve introduit dans les chaudières avant l'ammoniaque ; dans ce cas le fer se trouverait d'abord attaqué par les acides du sucre et l'ammoniaque tempèrerait l'attaque en neutralisant une partie des acides. — Dans ce cas encore, le cuivre réagirait sur les sels de fer pour donner lieu à de l'oxyde de cuivre.

De toutes manières, la réaction finale, avec une liqueur acide, aboutira à la formation d'oxyde de cuivre que l'on trouve en plus ou moins grande quantité, mais sans cependant que l'intensité ou le nombre des corrosions paraissent liés à la proportion du cuivre.

Il est possible que l'oxyde de cuivre qui se trouve enfermé avec l'oxyde de fer dans les cavités résultant de l'attaque du métal, joue un rôle dans le développement de la corrosion en formant un couple électrogène, mais cette action n'apparaît pas comme certaine.

En revanche, il paraît probable que l'oxyde de fer et le fer, en présence d'une liqueur légèrement acide, réagis-

sent l'un sur l'autre pour décomposer l'eau formée d'hydrogène qui se trouve mis en liberté et d'oxygène qui se porte naturellement sur le fer pour le faire passer à l'état d'oxyde. Dans ce cas, les cavités, comme nous le disions plus haut, s'augmenteraient d'elles-mêmes, et l'action corrosive serait favorisée par la chaleur puisque c'est dans les parties les plus chauffées que la corrosion est plus grande et plus rapide.

Que ce soit cette action galvanique qui désagrège le métal, ou que ce soit la porosité de l'oxyde formé d'abord qui facilite l'arrivée du liquide acide sur des parties décupées par l'oxydation initiale, le remède qui nous paraît indiqué est le même.

Il faut empêcher l'arrivée du sucre dans les chaudières en surveillant attentivement l'état des appareils d'où il peut provenir. Cette précaution permettra, en même temps de se rendre compte si les appareils ne sont pas attaqués par l'ammoniaque ; elle aura donc un double but : 1° s'opposer à la corrosion des chaudières et 2° éviter la perte d'une proportion notable de cuivre.

Si malgré l'attention apportée dans cet ordre d'idées, le sucre arrive dans les chaudières, il convient d'enrayer son action par l'introduction du carbonate de soude qui saturera les acides formés par sa décomposition.

Il faudra donc extraire assez fréquemment du générateur des échantillons d'eau afin de rechercher si cette eau n'est pas acide, et, dans l'affirmative, d'avoir recours au carbonate de soude pour changer son acidité en légère alcalinité ; il ne faudrait pas en effet exagérer la quantité de carbonate de soude car on s'exposerait à provoquer la formation de mousses qui se trouveraient entraînées dans les conduites de vapeur ou dans les machines.

On peut se demander pour quelles raisons les tubes des chaudières De Naeyer ont été moins corrodés que ceux

des chaudières tubulaires Cail. En effet, les trous de corrosion que présentent les tubes De Naeyer sont beaucoup plus rares que ceux des tubes des chaudières Cail ; bien que certains d'entre eux aient été suffisamment profonds pour amener la perforation des tubes, ils sont plutôt isolés et non rapprochés au point de se toucher comme dans certains tubes Cail. Ce fait provient de ce que les tubes De Naeyer étaient tapissés d'une couche d'incrustation qui a protégé une grande partie de la surface contre l'action de l'agent corrosif. Or, quelque parfait que soit le raclage des tubes, il est impossible de décaper complètement la surface intérieure à l'aide de l'appareil dont on se sert ; il est resté dans l'espèce une épaisseur d'incrustation très faible qui, après nettoyage, présentait un aspect brillant résultant du polissage de l'incrustation et a fait supposer que le métal était à nu. Les acides se sont donc vraisemblablement portés aux endroits où les écailles d'incrustation avaient été détachées par le râclage et la corrosion ne s'est manifestée qu'en ces endroits.

Il n'est cependant pas moins nécessaire d'employer pour ces chaudières le même remède que pour les autres ; si en effet dans les chaudières tubulaires dont les flammes passent à l'intérieur des tubes, l'un d'eux vient à se percer, on peut momentanément tamponner le tube avarié comme on le fait journellement dans les chaudières locomotives, tandis que si un tube De Naeyer se crève, il faut nécessairement le remplacer, ce qui exige un approvisionnement d'éléments de rechange d'abord, et ensuite le démontage du faisceau tubulaire pour atteindre le tube avarié.

Acide sulfureux. — Depuis un certain temps, comme nous l'avons dit plus haut, on fait usage, dans certaines sucreries, d'acide sulfureux dans le but de décolorer les sucres, et nous nous sommes demandé si, dans le cas que

nous venons de rappeler, cet acide facilement transformable en acide sulfurique, n'était pas la cause des corrosions.

Nous avons pu nous assurer qu'il n'en était rien car les eaux d'évaporation des jus traités par l'acide sulfureux sont rejetées immédiatement à l'égout sans possibilité de s'introduire dans les générateurs.

Il n'en est pas moins vrai qu'il convient de veiller avec beaucoup d'attention à l'emploi de cet acide, car par suite d'une inadvertance, on pourrait très bien l'introduire dans les chaudières, soit à l'état d'acide sulfureux qui détériorerait le fer en le transformant en sulfure de fer, soit à l'état d'acide sulfurique résultant de sa transformation dans les appareils où son action s'est exercée.

Acide chlorhydrique. — L'acide chlorhydrique peut également, à la suite d'un manque de soins, être amené dans les générateurs de sucreries ; on procède en effet généralement au nettoyage des appareils d'évaporation à l'aide d'eau acidulée renfermant une quantité variable d'acide chlorhydrique. Si on ne prend pas la précaution de laver à fond les appareils après cette opération cette eau acidulée peut être introduite dans les chaudières et attaquer les tôles.

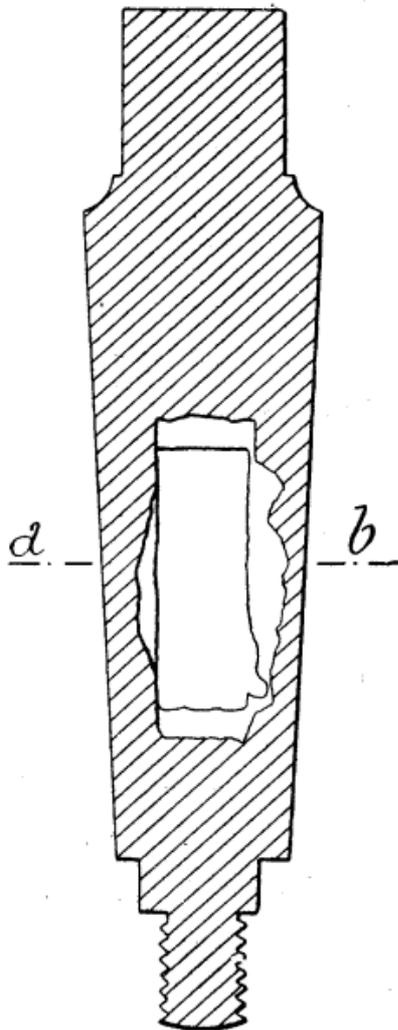
Notre collègue M. Schmidt a signalé cette cause de corrosion dans un de ses bulletins. Il convient donc de prendre ses précautions pour éliminer complètement l'acide chlorhydrique lors des nettoyages des appareils ; dans le cas où une certaine quantité s'introduirait dans les chaudières, le carbonate de soude est tout indiqué, comme pour l'acide sulfureux, dans le but de paralyser l'action de ces acides.

Corrosions mécaniques.

On donne quelquefois le nom de corrosions à l'usure de certaines parties de chaudières, provoquées par le

Usure d'un robinet par la vapeur

Coupe par l'axe



Coupe par ab

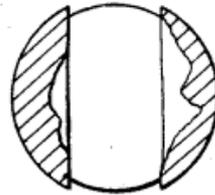


FIG. 4.

frottement de la vapeur animée d'une grande vitesse. Il existe ainsi de nombreuses clefs de robinets dont les parois se trouvent réduites à l'état de dentelle par le

*Usure d'un papillon régulateur
et de son enveloppe par le courant
de vapeur*

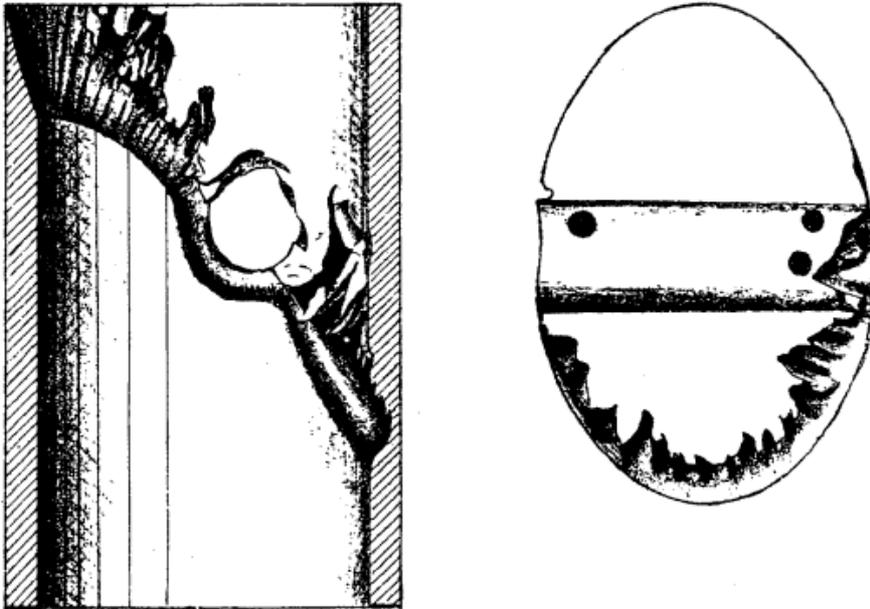


FIG. 5.

passage continu aux mêmes endroits de la vapeur ou de l'eau. Les registres à charnière, appelés souvent papillons, qu'actionnaient autrefois les régulateurs pour laminer la vapeur avant son entrée dans le cylindre de la machine, présentaient fréquemment, sur leurs bords, des sillons profonds occasionnés par le passage de la vapeur; des soupapes de sûreté, qui perdent constam-

*Vue d'une soupape rongée
par la vapeur*

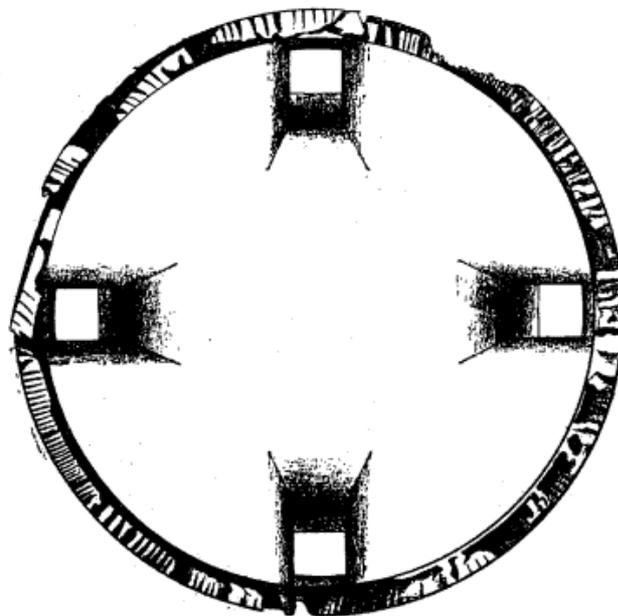
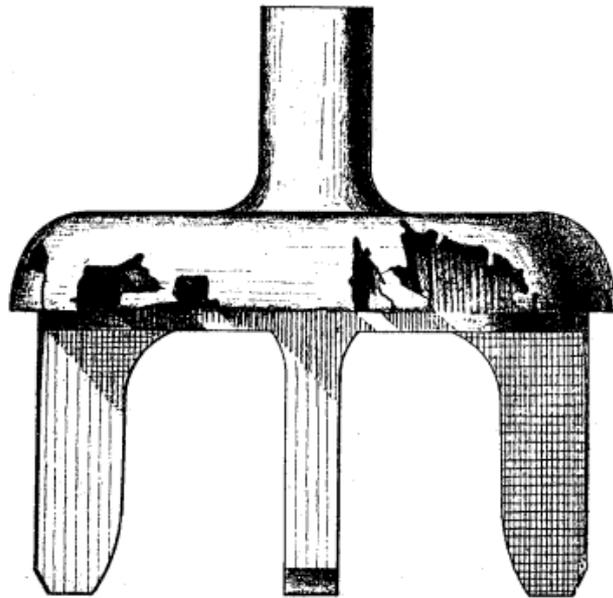


FIG. 6.

ment, soit qu'elles soient mal construites ou mal équilibrées, sont également l'objet de ce genre de sillons et de dentelures causés par la vapeur. Les figures, 4, 5, 6 donnent des exemples de ce genre de corrosion.

Notre collègue, M. Walther-Meunier, a cité dans le 17^e Congrès des Ingénieurs en chef des Associations (1893) un exemple de corrosion très remarquable d'un tuyau d'alimentation en cuivre découpant dans la tôle d'un bouilleur un disque parfait et atteignant presque toute l'épaisseur de la tôle.

Dans le 9^e Congrès (1884), M. Bour mentionne la corrosion d'une communication dans une chaudière Havrez à bouilleurs très écartés. La vapeur frottant contre les parois très inclinées de cette communication avait creusé dans la tôle des sillons profonds.

Nous avons connu un exemple très curieux de deux tubes d'une chaudière semi-tubulaire corrodés par une petite clef en fer oubliée dans le générateur par un ouvrier. Cette clef se trouvait appuyée sur deux tubes voisins, et l'allongement et le raccourcissement de ces tubes, provoqués par la dilatation, avaient occasionné un frottement continu de la clef sur les tubes dont le résultat fut la perforation complète d'un des tubes, une usure moins forte du second, et la disparition d'une quantité importante du métal constituant l'une des têtes de la clef.

On pourrait citer de très nombreux cas analogues, mais comme ils sont dus, non pas à une corrosion proprement dite ni à une attaque chimique, mais bien à une action purement mécanique, nous ne croyons pas devoir nous y arrêter davantage.

Corrosion du cuivre. — Les robinets en cuivre sont exposés à se ronger lorsqu'ils sont en contact avec des eaux fort chargées de soude. Ce fait se produit parfois

chez les industriels qui opèrent l'épuration préalable de leurs eaux, lorsque leur personnel règle mal la quantité de soude nécessaire pour l'épuration. Mais c'est surtout dans les peignages de laines, alors qu'on a commencé à pratiquer l'épuration, que nous avons constaté cet inconvénient. Les peigneurs épurent en effet leurs eaux, non seulement pour l'usage des chaudières, mais aussi pour la rendre plus propre au lavage de la laine. Ayant remarqué que l'eau de lavage venant de l'épurateur était d'autant plus douce et nécessitait moins de savon qu'elle contenait plus de soude, ils en mirent une quantité exagérée dans les épurateurs; et c'est en voyant la façon dont la robinetterie de cuivre se détériorait qu'ils diminuèrent la proportion du réactif. Pas suffisamment, dans tous les cas, car nous entendons encore quelquefois dans les peignages des plaintes motivées par la corrosion trop rapide des robinets.

Le remède est facile à appliquer : il suffit de ne pas employer un excès de soude dans l'épuration pour être à l'abri de cet inconvénient.

12° Question

FABRICATION DES CHAUDIÈRES

Matériaux employés.

**Leur mise en œuvre dans la construction
et la réparation.**

PAR

M. CH. COMPÈRE

Ingénieur-directeur de l'Association parisienne de propriétaires
d'appareils à vapeur (1).

PREMIÈRE PARTIE

**Matériaux employés dans la construction
des chaudières : tôles, tubes, etc.**

Tôles.

Les tôles employées dans la construction des chaudières
sont en fer ou en acier extra-doux.

Une étude complète sur les considérations et les faits

(1) La deuxième partie de cette note a été rédigée avec la collaboration
de M. Truchot, inspecteur principal de l'Association parisienne de proprié-
taires d'appareils à vapeur.

qui ont amené les chaudronniers à employer plus généralement l'acier extra-doux serait hors du cadre de ce travail. Nous ne ferons ici que résumer l'état de la question en la restreignant à l'application spéciale aux tôles des chaudières, et nous nous en tiendrons dans ce résumé, aux travaux publiés sur la question dans les Congrès annuels des ingénieurs en chef des Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur.

Depuis 1879, la question était à l'ordre du jour. Elle avait été soulevée par M. Roland, ingénieur en chef de l'Association normande; en Normandie, en effet, les constructeurs employaient l'acier pour les tôles de coup de feu de préférence au fer, et cela pour éviter les criques qui se produisent au coup de feu, par suite des dédoublements et des pailles soulevées dans les tôles en fer.

En 1881, M. Cornut, ingénieur en chef de l'Association du Nord, écrivait :

« Il faudra aussi qu'on en arrive à l'emploi de l'acier, car, dans le fer, on rencontre souvent des pailles qu'on n'aurait pas avec l'acier. Du reste, l'acier pour chaudières n'est pas de l'acier, mais du fer fondu; c'est une matière extrêmement malléable. Seulement, le moment n'est pas encore venu de l'employer couramment. La métallurgie n'est pas en mesure de fournir aux constructeurs de chaudières des produits dont elle soit absolument sûre, ou bien il faudrait y mettre le prix; de plus, les constructeurs eux-mêmes ne savent pas encore travailler l'acier avec toutes les précautions voulues. »

En 1882, le Congrès chargea MM. Vinçotte, directeur de l'Association belge, et Cornut d'étudier la question complètement.

En 1883, M. Vinçotte présenta un résumé très complet sur l'emploi de l'acier pour la construction des chaudières.

Son enquête avait porté sur les faits constatés en

France, en Belgique, en Allemagne, en Angleterre, en Autriche et aux États-Unis.

M. Vinçotte résumait son travail en disant :

« En somme, malgré les qualités d'acier très doux que l'on emploie, on en est encore, dans une certaine mesure, dans l'incertitude où l'on se trouvait les premières années; suivant mon opinion personnelle, l'acier est un métal d'autant moins avantageux à employer, qu'il est plus coûteux que le fer; et, en pratique, je ne vois pas d'avantage, même si les inconvénients que nous avons signalés n'existent pas, ce qui est encore à démontrer. »

De son côté, M. Cornut disait :

« Il me paraît dangereux d'employer un métal de cette nature. Pour ce qui concerne la différence d'épaisseur, on s'est toujours placé au point de vue de la traction; mais dans une chaudière, la résistance à la flexion joue un rôle considérable; et une tôle mince résistant aux efforts de traction peut être insuffisante pour les effets de flexion. En somme, la question se résume en ce qui suit :

1° On a amélioré le métal; on est arrivé à fabriquer un produit qui présente toutes les conditions désirables; mais on se trouve en présence de défauts dont la cause même est inconnue;

2° A mesure que l'on avance, on s'aperçoit qu'il faut très peu diminuer l'épaisseur de l'acier par rapport à celle du fer. »

En 1884, M. Schmidt, ingénieur en chef de l'Association d'Amiens, entretint ses collègues d'une déformation survenue à une tôle de coup de feu en acier dans une chaudière semi-tubulaire à deux bouilleurs.

La déformation avait des dimensions considérables : 1^m 10 de longueur et 175^{mm} de profondeur; malgré cet emboutissage énorme, la tôle ne présentait que 3 petites oriques longitudinales de 20 à 30^{cm}, ne laissant percer qu'une légère fuite.

M. Cornut disait à ce sujet que si la tôle avait été en fer, la surchauffe qui avait amené une telle déformation aurait certainement entraîné une explosion.

En 1886, M. Cornut reprend définitivement la question. Il rappelle tout d'abord dans un tableau les charges de rupture, l'allongement et la diminution d'épaisseur accordés à l'acier suivant les époques.

Ce tableau est reproduit ci-après.

Conditions imposées à différentes époques pour l'emploi de l'acier dans les générateurs.

ANNÉES		Résistance à la rupture par mm. carré de la section primitive	Allongement % sur 200 mm.	Diminution d'épaisseur admise en faveur de l'acier par rapport au fer
1855	Petin-Gaudet.....	80 ^k	9 %	»
1861	Circulaire ministérielle.....	60 ^k	7 %	50 %
1863	Petin-Gaudet (p ^r la C ^e d'Orléans)...	73 ^k à 62 ^k ,50	10 à 7 %	40
1863	Cail et C ^e (p ^r la C ^e du Midi).....	62 ^k	14 %	33
1864	Compagnie d'Orléans.....	60 à 55 ^k	10 à 7 %	33
1868	— Transatlantique.....	50 à 45 ^k	20 à 14,5 %	»
1872	— de l'Ouest.....	55 ^k	15 %	21
1874	Creusot.....	48 ^k	22 %	17
1876	Marine F ^{te} (c ^{te} 11 mai 1876).....	42 ^k	26 %	20
1878	C ^e Lloyd anglais.....	46 à 41 ^k	25 à 22 %	20
1880	Ing. en chef Webb.....	53 ^k	25 %	16
1880	Navire le (Livadia) c ^{te} anglaise....	48 à 45 ^k	25 à 18 %	16
1884	Marine française.....	42 ^k	26 %	15
1885	Compagnie Véritas.....	50 à 42 ^k	20 %	Enveloppe cylindrique ext ^{re} des chaudières. 20 Tôles intérieures ou plates. 12,5
1885	C ^e Llyod angl. accepte les aciers à. (Cette C ^e refuse les aciers à 50 ^k à la rupture et 20 % d'allg ^t .)	45 à 42 ^k	29 à 24 %	20
1885	C ^e de l'Ouest.....	45 ^k	18 %	»
1885	Marine F ^{te} (c ^{te} 9 février 1885).....	42 ^k minimum	26 %	20
1887	Ingénieur en chef (E. Cornut).....	40 ^k maxima	28 %	Variable suivant les diamètres

M. Cornut s'exprime ainsi :

« Le tableau précédent, qui résume ces données, présente, à mon avis, un intérêt historique de premier ordre.

On remarquera que, pendant les premières années de l'apparition de l'acier Bessemer, vers 1856, on a recherché un métal dur, ayant une grande résistance 60 à 70 kilog. par mm^2 à la rupture et peu de ductilité, les allongements étant compris entre 7 p. 100 et 10 p. 100. Ce métal présentait donc les qualités absolument inverses de celles nécessaires à la construction des générateurs. Pour les chaudières, il faut un métal avant tout très malléable, très doux, c'est-à-dire présentant un grand allongement avant rupture ; la résistance du métal n'a qu'une importance très relative, puisque, dans les générateurs, le fer travaille à 3 ou 4 kilogrammes ; il importe donc bien peu que le métal résiste à 35 ou à 70 kilogrammes, le minimum, 35 kilogrammes, est même plus que suffisant pour parer aux efforts ordinaires de flexion et de dilatation.

Dans nos différentes notes sur l'emploi de l'acier, nous avons souvent cité des faits de cassures incompréhensibles qui, probablement, doivent se rapporter à cette époque de fabrication qui s'étend jusque vers 1869. Cette période a eu de bien funestes conséquences sur la généralisation de l'emploi de l'acier, par suite de l'incertitude qu'avait le consommateur sur la qualité du métal qu'il devait employer.

Conclusions. Nous avons démontré qu'en modifiant les fortes épaisseurs correspondant au corps cylindrique d'environ 13 p. 100, les générateurs construits en acier doux ou fer homogène ne coûtent pas plus cher qu'avec les spécifications de tôles adoptées par l'Association, que nous persistons à considérer comme le minimum des qualités exigibles. Je suis convaincu que, du moment que les fabricants d'acier surveilleront avec soin leur fabrication, que

les chaudronniers voudront bien prendre les précautions, peu importantes du reste, nécessitées par l'emploi de ce métal, il faut abandonner, pour la construction des générateurs, les tôles de fer de qualité inférieure, et leur substituer l'acier doux. On n'aura rien fait de plus important depuis bien longtemps pour diminuer les dépenses d'entretien et assurer la sécurité publique, car on n'ignore pas qu'un grand nombre d'explosions graves n'ont d'autres causes que la mauvaise qualité du métal employé. »

En 1887, M. Cornut présente des résultats d'essais à la traction sur des tôles de fer et d'acier, et il fait ressortir la comparaison entre le fer et l'acier au point de vue de la régularité de fabrication des tôles destinées à la construction des générateurs.

Après avoir montré l'irrégularité des résultats obtenus avec des tôles de fer pour lesquelles la résistance présente des différences de 25 à 26 p. 100, et les allongements, de 70 à 80, M. Cornut conclut ainsi :

« Un nombre important d'explosions de générateurs n'ont d'autre raison que la mauvaise qualité des tôles employées ; on ne saurait donc trop appeler l'attention des constructeurs et des industriels sur les faits mis en relief par ces expériences et qui peuvent se résumer dans cette prescription :

« Toutes les tôles employées à la confection des générateurs doivent être soumises à des essais préalables ; les numéros de qualité ne donnant pas assez de garantie. »

Sur les tôles d'acier extra-doux au contraire, M. Cornut n'a pas trouvé plus de 7 p. 100 de différence pour la résistance et l'allongement.

Il résume ainsi sa communication :

« Si on veut employer l'acier dans la construction des chaudières, il ne faut accepter que des tôles d'acier de première qualité, de qualité similaire aux deux aciers que nous venons d'étudier. Je refuse donc de m'occuper de la

construction d'une chaudière si je ne suis à même de faire l'essai de chaque tôle ; et, dans ce but, j'oblige le constructeur à faire fabriquer les tôles avec une longueur supplémentaire de 0^m,120. C'est dans ces bandes de 0^m,120 que sont découpées les éprouvettes. Une des causes d'échec de l'acier dans l'emploi qui nous occupe a peut-être été la trempe ; je veux dire une trempe locale et anormale. Elle peut provenir de la manière dont l'acier est travaillé, peut-être aussi du recuit. Selon moi, le recuit est absolument bon, à la condition qu'il soit bien fait ; mais s'il est mal fait, je le crois plus dangereux que si la tôle n'avait pas été recuite. Ainsi, dans l'affaire du « Livadia », deux faits indéniables ont été reconnus : certaines tôles avaient été fort mal recuites, et l'acier que le fabricant avait livré était de l'acier au convertisseur, au lieu d'être de l'acier Martin.

En somme, j'admets qu'en dépit de toutes les précautions, la tôle d'acier puisse prendre une trempe spéciale, mais qu'aura-t-on à dire si ce métal est encore supérieur au fer généralement employé ? On aura, par exemple, 20 p. 100 d'allongement à la rupture au lieu de 30 p. 100, mais cet allongement est encore suffisant et n'oublions pas que nous rencontrons dans les générateurs des tôles de fer qui s'allongent de moins de 1 p. 100. Dans le Nord, nous sommes envahis par de mauvaises tôles de fer. Nous avons bien relevé un peu les qualités, en obligeant les constructeurs à employer le n° 3 et le n° 5, mais combien il est difficile de lutter contre des habitudes de soixante ou quatre-vingts ans. En poussant à l'emploi de l'acier, nous espérons tourner cette difficulté ; et, au point de vue de la sécurité, il y a intérêt à arriver à faire abandonner l'emploi des tôles de qualité inférieure. C'est dans ce but que, cette année, j'ai fait faire un certain nombre de chaudières en acier. »

En 1888, M. Cornut présente un étude sur les tôles

d'acier après plusieurs années de service. On avait objecté qu'au feu, les tôles d'acier se dénaturent, qu'elles deviennent aigres, cassantes, se trempent facilement et perdent leur élasticité.

M. Cornut se rendit compte par des expériences directes de la qualité des tôles d'acier après plusieurs années de service.

Il fit des essais de traction sur des tôles de coup de feu ayant subi des avaries spéciales appelées coups de feu ; et il constata dans 4 séries d'essais, qu'après 7 ans, 13 ans, et 18 ans de service, les tôles essayées présentaient encore les qualités de résistance et d'allongement de la tôle primitive.

C'est alors que l'Association du Nord rédigea un cahier des charges pour la construction des chaudières en acier extra-doux.

Ce cahier des charges a été adopté généralement par les Associations, et il est d'usage courant actuellement.

Le métal admis dans la construction doit répondre aux conditions suivantes :

Cahier des charges pour la réception des tôles en acier extra-doux. Modèle janvier 1899.

M. (le constructeur) devra adresser à l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur, dès la remise de sa commande de tôles aux forges, une copie de cette commande.

Toutes les tôles d'acier, sans exception, sauf celles devant subir un travail de forge, tel que étirage de collerettes, fonds, etc., seront commandées par M. (le constructeur) 10 centimètres plus longues sur le travers de manière à ce qu'on puisse prélever au moins deux éprouvettes de traction, conformes au modèle de l'Asso-

ciation des propriétaires d'appareils à vapeur, et une éprouvette pour le pliage après trempe.

Les essais à la traction et au pliage seront faits par les soins de l'Association, et *sur chaque tôle* : la confection des éprouvettes sera à la charge de M. (le constructeur).

Aux essais à la traction, chaque tôle d'acier devra remplir les conditions suivantes :

Essais sur les tôles au naturel, après recuit chez le fabricant :

1° Résistance à la rupture : maxima 40 kilogrammes par millimètre carré, minima 35 kilogrammes par millimètre carré.

2° Allongement p. 100 sur 200^{mm}, à la rupture : minima 28 à 30 p. 100.

Essais sur les tôles, les éprouvettes ayant été trempées dans l'eau à 28°, après avoir été portées au rouge cerise :

1° Résistance à la rupture : maxima, 47 kilogrammes par millimètre carré.

2° Allongement p. 100 sur 200^{mm}, à la rupture : minima 18 p. 100.

Les essais de pliage se feront sur des morceaux de tôles de 20 centimètres de longueur et 4 centimètres de largeur ; après avoir été trempés comme il est dit ci-dessus, ils devront pouvoir être repliés en deux, bord à bord, sans que sur le dos et les côtés latéraux paraisse aucune crique ou gerçure.

Toute tôle qui ne remplirait pas ces conditions serait refusée.

Les essais pour la réception des tôles seront faits en forges par l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur, qui poinçonnera toutes les tôles à sa marque.

Les tôles seront livrées à M. (le constructeur) après avoir subi, chez le fabricant, un recuit total après laminage et cisailage.

Le bulletin de livraison des tôles portera devant chaque

tôle le numéro de la coulée et la composition chimique de chaque coulée.

En dehors des essais à la traction et des essais de pliage, la reconnaissance des tôles pourra être faite à leur arrivée dans les ateliers de M. (le constructeur) par l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur et M. (le constructeur) mettra à la disposition de cette dernière toutes les pièces justificatives établissant la nature et la provenance des tôles.

Toute tôle qui ne porterait pas la marque à chaud des forges et les poinçons de l'Agent réceptionnaire serait rigoureusement refusée.

Après fabrication de la chaudière, les empreintes des poinçons apposées sur les tôles devront se retrouver à l'extérieur et n'être pas recouvertes de peinture.

La chaudronnerie avait suivi ces diverses étapes dans la construction des chaudières. La tôle d'acier n'avait été adoptée tout d'abord que pour les tôles de coup de feu, ainsi que cela avait été fait en Normandie, puis elle a été étendue aux bouilleurs, et enfin à toutes les parties des chaudières.

Il y a lieu de relever ici un fait important : c'est que la même qualité de tôles d'acier est appliquée aussi bien aux parties embouties et travaillées qu'aux viroles simplement cintrées ; ces viroles sont donc faites avec un métal qui peut subir le travail de forge et d'emboutissage ; il y a là une garantie importante pour la construction des chaudières.

Au contraire, pour les tôles de fer, l'usage, en chaudronnerie, est d'adopter des qualités différentes suivant l'endroit où la tôle doit être assemblée ; ainsi, les corps non chauffés sont en N° 3, les corps chauffés, en N° 4 et les parties travaillées, en N° 5 ou 6.

Tubes.

L'emploi des tubes permet d'augmenter la surface de chauffe des chaudières sous une faible capacité, et il constitue un élément important de la construction des générateurs.

Les tubes sont utilisés sous deux formes : soit comme tubes à fumée, soit comme tubes à eau.

Pour les tubes à fumée, la pression agit à l'extérieur des tubes, et une rupture de tube a ordinairement pour conséquence l'aplatissement du tube lui-même, ce qui peut n'entraîner qu'un faible dégagement d'eau et de vapeur, et par suite des accidents peu importants.

Au contraire, pour les tubes à eau, la pression agit à l'intérieur, et une fissure longitudinale tend à créer une plaie de large section, et des bâillements plus ou moins forts ; les conséquences de l'accident peuvent être graves, en raison de l'importance possible de la plaie.

Cette question a été étudiée dans mon rapport sur les *chaudières à petits éléments*, présenté également à notre Congrès.

On conçoit que pour ces deux utilisations, les garanties à demander pour une bonne fabrication des tubes peuvent être différentes.

Pour les tubes à fumée, on se contente d'un essai hydraulique variant de 25 à 50 kilogrammes, suivant les différents cahiers des charges.

Pour les tubes à eau, cet essai est accompagné du martelage le long de la soudure, puis d'un relevé de la largeur des recouvrements des soudures aux extrémités et parfois du passage au boulet.

L'examen de ces méthodes d'essai a été fait dans les études que j'ai présentées à la Société des Ingénieurs civils en novembre 1891 et août 1893.

Ces études nous ont amené à rédiger le cahier des

charges suivant, applicable plus spécialement à la réception des tubes des chaudières multitubulaires.

Cahier des charges
pour la réception des tubes en acier extra-doux destinés
à la construction de chaudières à tubes d'eau.

Le métal servant à la fabrication des tubes proviendra exclusivement de lingots d'acier obtenus dans les fours genre Martin-Siemens.

Les duplicata des commandes des lingots ou des plats destinés à la confection des tubes seront communiqués à l'agent réceptionnaire.

Tous les tubes seront réceptionnés un à un.

La résistance effective de la soudure sera vérifiée de la manière suivante :

On passera, à l'intérieur et à froid, un boulet en acier trempé qui augmentera le diamètre de $1/40$. La soudure devra résister sur toute sa longueur pendant cette opération. Toute apparence de crique ou dédoublement sera une cause de rebut.

Après le passage du boulet, les tubes seront soumis à un étirage à chaud (et non à froid) pour les ramener à leur diamètre initial.

Les bouts des tubes seront ensuite coupés nettement et d'équerre.

Les tubes seront tous soumis à une pression hydraulique de 50 kilogrammes, et martelés sous pression.

Pendant cette épreuve, les tubes ne devront présenter aucune trace de suintement ni de déformation.

Les tubes seront droits, bien calibrés, exempts de pailles, gerçures, dessoudures ou autres défauts.

Ils auront en longueur, diamètre et épaisseur, les dimensions indiquées dans la commande,

Il sera toutefois accordé une tolérance :

Sur la longueur, de 5^{mm} en plus seulement;

Sur le diamètre extérieur, de un millimètre en moins, seulement;

Sur l'épaisseur moyenne 6 p. 100 en moins, et 8 p. 100 en plus, l'épaisseur moyenne sera mesurée par des pesées en prenant 7. 8 pour chiffre de la densité du métal.

Sur l'épaisseur en un point quelconque, 15 p. 100 en moins et 20 p. 100 en plus.

Enfin, depuis quelques années les tubes sans soudure ont été introduits dans la construction des générateurs.

Toutefois, leur prix plus élevé en limite actuellement l'extension; c'est ainsi qu'on les adopte plus particulièrement pour ceux exposés directement à l'action du feu.

Pour terminer cette première partie de notre travail sur les matériaux employés dans la construction des générateurs, nous signalons que les pièces en fonte, telles que les bouchons des bouilleurs, des dômes, etc., tendent de plus en plus à disparaître pour être remplacées par l'acier coulé ou mieux par des pièces en tôle emboutie, pièces que l'industrie, maintenant bien outillée, livre couramment. La fonte est en effet un métal cassant n'ayant aucune des qualités de malléabilité des tôles.

Enfin nous signalons que pour les soupapes et autres pièces analogues, l'acier coulé tend à se substituer également à la fonte.

DEUXIÈME PARTIE

**Construction et réparation des chaudières
à vapeur.**

Dans cette partie, nous allons passer en revue les diverses phases de la construction des chaudières. Nous nous contenterons d'indiquer sommairement les procédés employés sans en discuter les mérites, car les résultats dépendent souvent, non seulement de ces procédés, mais aussi des conditions particulières dans lesquelles se fait le travail.

Laissant de côté la question du traçage des rivures, qui ressort plutôt de la mécanique appliquée, nous examinerons successivement les opérations suivantes :

Chanfreinage des tôles. Étirage des pinces. Perçage et alésage des rivures. Cintrage et envirolage. Rivetage. Matage. Divers : travail des pièces forgées et soudées.

Chanfreinage. — Le chanfreinage des tôles a pour but, d'abord, de faire disparaître les bavures et les inégalités des bords résultant du cisailage en forge, et qui nuirait à un bon accostage lors de l'envirolage, puis de permettre le matage.

Aussi dans la construction ordinaire, les bords des tôles qui doivent se trouver à l'extérieur et qui sont destinés à être matés sont seuls chanfreinés. Dans la construction plus soignée, où le matage se fait à l'intérieur, comme à l'extérieur, les tôles sont chanfreinées sur leurs quatre bords.

Le chanfreinage des tôles s'effectue soit à la main, soit à la machine, soit à la meule.

Le chanfreinage à la main se fait au burin, et sa bonne

exécution dépend naturellement de l'habileté de l'ouvrier.

Le chanfreinage à la machine se fait au moyen d'une sorte de raboteuse, dont l'outil travaille soit d'un seul sens, soit dans les deux sens; c'est le procédé le plus généralement usité.

Enfin pour le chanfreinage à la meule, la tôle est inclinée sur le champ de la meule de manière à obtenir pour le chanfrein le degré d'inclinaison voulu, et elle roule dans un mouvement de va-et-vient sur une série de galets; le chanfreinage mécanique est complété par une légère passe à la main.

Étirage des pinces. — Après avoir effectué le chanfreinage, on procède à l'étirage des pinces dans les parties qui doivent être envirolées à recouvrement.

L'étirage des pinces se fait presque toujours à chaud; les tôles sont pour ce travail chauffées au rouge clair, et l'étirage se fait au marteau.

Les pinces peuvent également se faire à froid; dans ce cas, elles ne sont pas étirées, mais taillées dans le métal au moyen d'une fraise.

Les pinces étirées offrent une plus grande surface de contact que celles fraisées; mais par contre, leurs surfaces, en pratique, étant moins unies, l'étanchéité avant le matage est moins assurée.

Nous aurons, du reste, à revenir plus loin sur ce sujet, en traitant du matage.

Dans le cas de chaudières de grand diamètre, où, par conséquent, les tôles atteignent de fortes épaisseurs, l'envirolage et l'assemblage se font par rapprochement, et au moyen de couvre-joints; il n'y a pas alors de pinces à étirer sur les tôles, mais seulement sur les couvre-joints. Les couvre-joints peuvent d'ailleurs être simples ou doubles; dans ce dernier cas, les pinces sont étirées sur

celui des couvre-joints qui se trouve pris dans un recouvrement.

Perçage et alésage. — Le perçage des trous de rivets s'effectue soit à la poinçonneuse, soit à la machine à percer.

Dans le premier cas, l'opération précède nécessairement le cintrage; de plus, les tôles devant être poinçonnées séparément, la juxtaposition des trous n'est plus aussi assurée. Dans le cas où, au contraire, on fait usage de la machine à percer, le cintrage peut précéder le perçage, et de plus, celui-ci peut être fait d'un seul coup sur les deux tôles, préalablement assemblées. Lorsque l'on perce ainsi deux tôles à la fois, il est nécessaire d'ébarber les trous pour permettre un meilleur contact, et assurer une étanchéité plus parfaite.

En général, on fait usage d'un procédé mixte, c'est-à-dire que l'on poinçonne les trous de rivets sur tôle plate, à un diamètre inférieur à celui que devront avoir les rivets; puis après envirolage des tôles et assemblage des viroles, les trous sont alésés au diamètre voulu à la machine à percer, munie le plus souvent d'une mèche américaine.

Dans la construction ordinaire, les trous sont simplement poinçonnés; il est bien évident que, par ce procédé, la concordance des trous ne peut être parfaite; aussi les ouvriers, pour ramener les trous en regard l'un de l'autre, se servent-ils de broches coniques qu'ils enfoncent jusqu'à ce que le rivet puisse passer; on conçoit que ce procédé fatigue considérablement le métal et détermine des criques autour des trous de rivets et que les tôles, au cours du rivetage, tendant à reprendre leur place, les rivets se cisailent; ce mode de travail doit être prohibé de tous les ateliers.

Cintrage et envirolage. — Le cintrage des tôles se fait généralement à l'aide d'une machine-outil à trois cy-

lindres. Le plus souvent les cylindres sont horizontaux.

Dans certains types, c'est le cylindre supérieur qui est fixe, et reçoit le mouvement de la transmission, les deux cylindres inférieurs se déplaçant l'un et l'autre à l'aide d'un volant, de façon qu'on puisse régler leur position suivant le rayon de cintrage à obtenir. Dans d'autres types, ce sont les deux cylindres inférieurs qui sont fixes, et c'est le cylindre supérieur, placé au-dessus et au milieu des deux premiers, qui se déplace verticalement pour obtenir le rayon de cintrage à donner à la tôle.

Il existe aussi des machines à cintrer, à cylindres verticaux ; la tôle est toujours guidée par le bas et ne risque pas à se déformer par son propre poids, comme cela peut se produire sur des machines horizontales dans le cas de tôles de grande surface à cintrer sur de grands diamètres. De plus, l'enlèvement du rouleau entouré par la virole cintrée est plus facile.

Il existe aussi des machines à cintrer à quatre cylindres, le quatrième cylindre est alors placé entre les deux cylindres inférieurs des machines ordinaires ; ce système qui permet le passage de la tôle plate sous les rouleaux, supprime l'amorçage de cintrage ; il est néanmoins peu répandu.

Le cintrage peut encore se faire tout au marteau ; il est évident que ce mode de procéder est fort long ; aussi n'est-il employé que dans de petits ateliers, où pour des réparations faites sur place par les industriels eux-mêmes, qui emploient des ouvriers chaudronniers pour l'entretien de leurs générateurs.

Avant de procéder au cintrage à la machine, il est nécessaire de recourber préalablement les bouts de la tôle en se réglant avec un calibre au rayon définitif : c'est l'amorçage du cintrage.

Cet amorçage, nécessaire pour permettre le passage de

la tôle sous les rouleaux de la machine, se fait généralement au marteau, sur les rouleaux mêmes de la machine à cintrer, ou sur des rouleaux *ad hoc*. Il y a là divers modes d'opérer dont la description suffira pour permettre de comparer la valeur des résultats obtenus.

En effet, dans certains ateliers, l'amorçage se fait en frappant avec la panne du marteau ; cela va évidemment plus vite ; mais, surtout avec des tôles de qualité médiocre, on fatigue le métal, et il peut en résulter des fissures imperceptibles qui, par la suite, peuvent causer des déchirures.

Les faits ont été du reste décrits dans un Mémoire (1).

L'amorçage se fait encore au marteau, et en frappant, non de la panne, mais de la table.

On le fait encore, sans frapper directement sur la tôle, au moyen de chasses-rondes ou dégorgeoirs.

Enfin on peut aussi amorcer le cintrage au moyen de la presse hydraulique, avec des matrices spéciales, dont il n'est pas nécessaire d'avoir un grand nombre, une même matrice pouvant donner des rayons de cintrage différents au moyen de cales appropriées.

L'amorçage une fois terminé, on fait avancer la tôle, qui se cintré au voisinage de l'amorce. On vérifie la courbure au moyen du calibre, en le guidant d'abord sur l'amorce, et l'on déplace le ou les cylindres mobiles jusqu'à ce que l'on ait obtenu le rayon convenable : lorsqu'il en est ainsi, l'opération est assurée par la simple rotation des rouleaux.

Le calibrage, qui suit le cintrage, est la rectification, par le même mode opératoire, des parties de la virole qui ne sont pas bien au calibre.

Le cintrage des tôles peut se faire :

(1). Étude de chaudronnerie présenté par M. Frémont et publié dans le *Bulletin de la Société des ingénieurs civils de France*, en novembre 1897.

1° A froid : il devient difficile avec des tôles épaisses, celles-ci offrant une grande résistance au passage sous les rouleaux.

2° A chaud : on objecte à ce mode de cintrage qu'il permet d'employer des tôles de qualité médiocre, qui ne résisteraient pas au cintrage à froid.

3° Les tôles simplement dégourdies : ce procédé est défectueux, car la température obtenue en chauffant le métal au-dessus d'un feu de forge est forcément inégale ; il faut, dans ce cas, surtout pour les tôles d'acier, éviter avec soin d'atteindre la température correspondante au bleu, vers 300° à 350°, où le métal devient fragile et casse facilement.

Le cintrage à chaud et le cintrage à froid présentent donc chacun leurs avantages et leurs inconvénients ; toutefois le cintrage à froid est plus fréquemment employé, pour diverses raisons : d'abord, avec les tôles de grandes dimensions, couramment employées aujourd'hui, il serait nécessaire d'avoir des fours nécessitant un grand emplacement ; en outre, pour ces tôles, l'opération du cintrage étant assez longue, il peut arriver que le cintrage ne soit pas encore terminé lorsque la tôle arrive à la température critique, qui la rend cassante ; comme à ce moment on ne peut la remettre au four, on est exposé à des mécomptes sérieux, et nous pourrions citer tels ateliers de chaudronnerie qui ont dû, de ce fait, renoncer au cintrage à chaud pour en revenir au cintrage à froid.

Rivetage. — Le rivetage se fait soit à la main, soit à la machine. Le rivetage à la main peut être fait complètement au marteau, ou seulement amorcé au marteau, pour remplir le trou et commencer l'écrasement de la deuxième tête, puis terminé à la bouterolle ; le procédé de la bouterolle, plus rapide, et aussi d'un meilleur

aspect, a remplacé presque partout le rivetage fait complètement au marteau.

Le rivetage à la main, se faisant par coups successifs, est plus long que le rivetage à la machine ; il y a, par suite, une plus grande différence de température entre le moment où le rivet est introduit et celui où il est rivé.

Certains constructeurs préfèrent, néanmoins, le rivetage à la main, l'ouvrier, disent-ils, sentant ainsi ce qu'il fait, et donnant au rivet juste le degré de serrage qui lui est nécessaire.

Le travail nécessité par le rivetage mécanique est de beaucoup inférieur à celui correspondant au rivetage à la main ; cette différence s'explique par suite du moindre intervalle de temps nécessaire, et, comme conséquence, du moindre refroidissement du rivet, et aussi par le moins de travail lui-même, le choc étant remplacé par la pression ; par l'emploi de la machine, les pertes dues à l'élasticité sont en partie annulées. Toutefois, le rivetage à la machine, pour être bien fait, nécessite certains soins : la pression d'écrasement doit être bien réglée, car un effort trop énergique détermine un allongement de métal dans le voisinage du rivet, qui peut être nuisible à l'étanchéité, et à la concordance des trous de rivet non encore garnis.

Les bouterolles doivent être bien serrées dans leur logement, car au moindre jeu, les pièces à river étant presque toujours suspendues et mobiles, on risque de déterminer un écrasement oblique par rapport à l'axe du rivet, et, par suite, des têtes excentrées ; enfin, il ne faut pas tolérer, comme nous l'avons vu déjà faire, que l'ouvrier mette en place 5 ou 6 rivets d'avance, qui se refroidissent avant d'être écrasés, ce qui peut les faire fendre dans la tige ou casser dans la tête.

Matage. — Le matage consiste à refouler, au moyen d'un outil spécial, appelé matoir, le bord des tôles, le long

des chanfreins, afin de parfaire l'étanchéité des rivures.

Il se fait généralement à la main ; mais, depuis quelques années, on emploie aussi une sorte d'outil mù par l'air comprimé et beaucoup plus rapide. — Dans le matage dit à l'anglaise, le chanfrein est beaucoup moins incliné que dans le matage ordinaire : il est presque droit. Le matage termine donc la construction.

Nous reparlerons plus loin de l'importance qu'il faut lui attribuer et de la façon dont on doit l'effectuer.

Divers. — Pièces forgées ou soudées. — La bonne confection de ces pièces dépend naturellement de l'habileté de l'ouvrier chargé de leur exécution ; toutefois, des usines spéciales sont maintenant créées, qui fabriquent les pièces de formes spéciales permettant un travail mécanique, tels que fonds emboutis, bouchons de têtes de bouilleurs, dômes, tampons, barrettes, etc., au moyen de presses hydrauliques.

Ce mode de travail présente le grand avantage de s'effectuer d'un seul coup sur toute la surface de la tôle, préalablement chauffée au four, ce qui évite les chaudes locales et donne à la pièce fabriquée une plus grande régularité que celle travaillée à la main tout en étant plus rapidement exécutée.

Essai hydraulique. Épreuve. Expériences spéciales sur le matage. — La construction étant ainsi terminée, la sanction de sa bonne exécution consiste simplement à soumettre le générateur à un essai hydraulique auquel procède le Service des mines, conformément à l'article 2 du décret du 30 avril 1880.

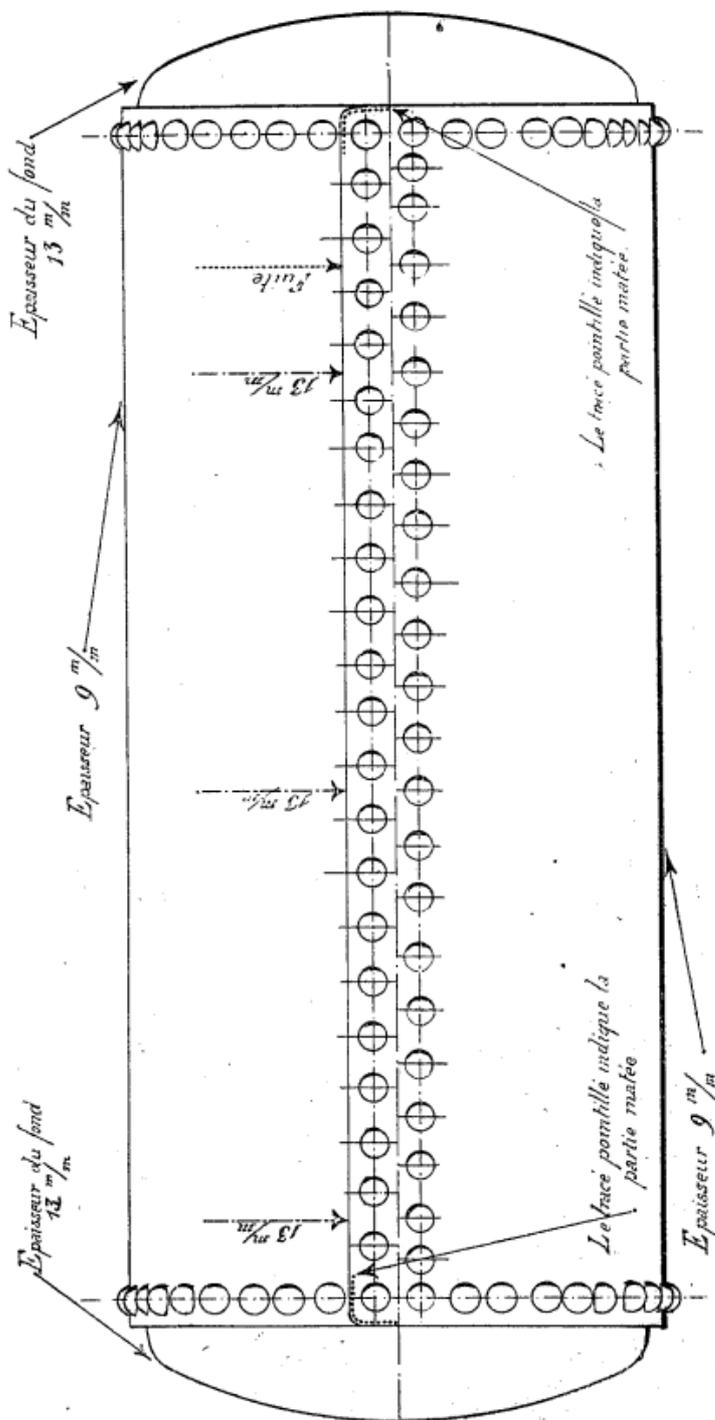
Or, jusqu'à ce que l'on procède au rivetage, toutes les phases du travail peuvent être suivies et vérifiées ; mais le rivetage lui-même n'a, comme garantie de sa bonne exécution que l'essai hydraulique, qui vient montrer le degré d'étanchéité obtenu.

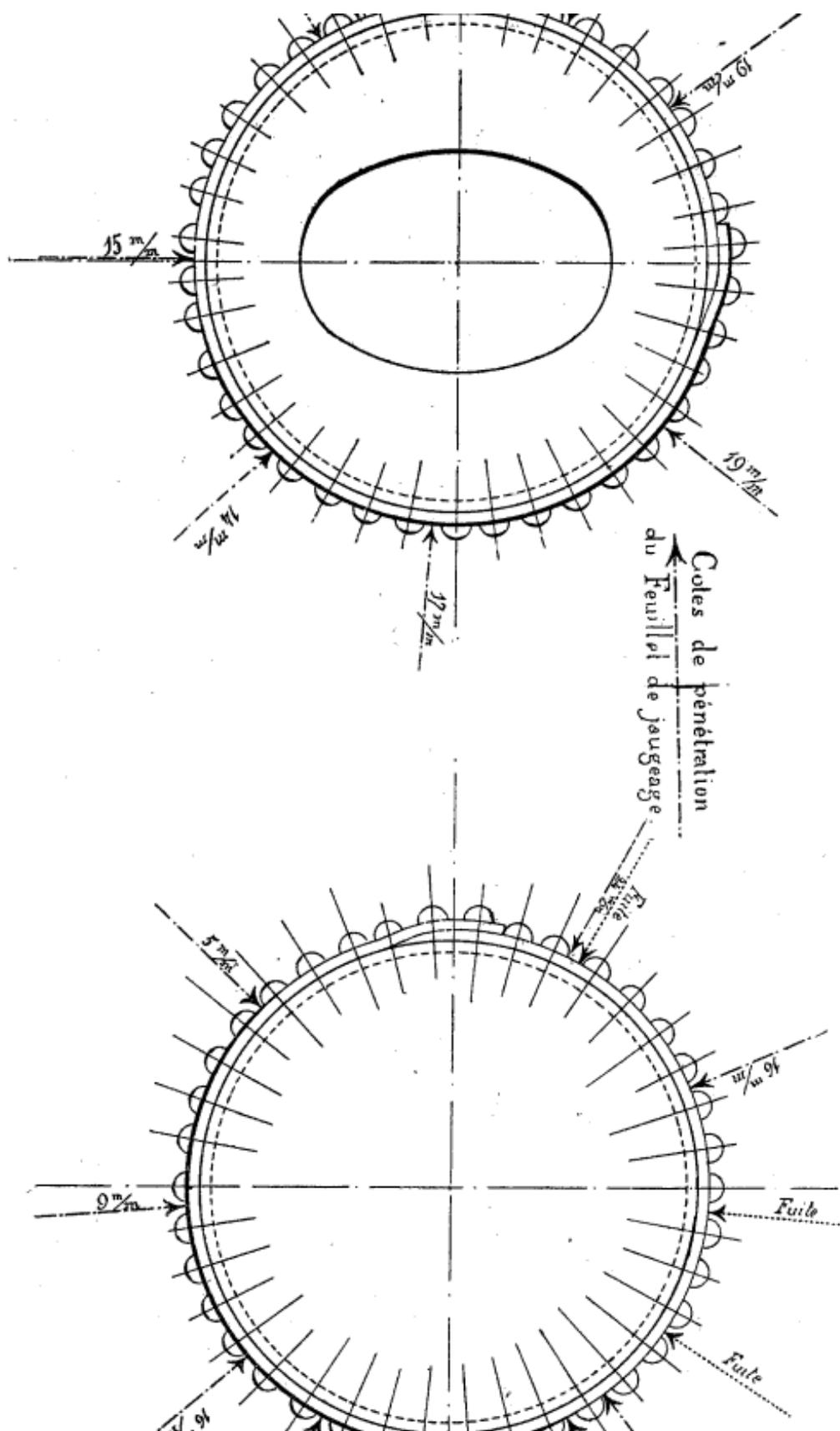
Mais cette étanchéité, si elle n'est pas absolue par le rivetage exclusivement, on peut la compléter par le matage des chanfreins et des rivets. Il en résulte que, dans la pratique, on ne vérifie pas le rivetage lui-même, le matage étant toujours effectué avant que l'on procède à l'essai hydraulique. Nous avons alors cherché à nous rendre compte, par plusieurs expériences, que nous poursuivons encore actuellement, dans quelle proportion le matage est nécessaire pour rendre étanches les assemblages des diverses parties d'un générateur.

Première expérience. — A cet effet, nous avons procédé à l'essai hydraulique d'un réservoir de vapeur dont les assemblages n'avaient subi aucun matage des chanfreins ou des rivets, sauf au croisement des pinces, aux extrémités de la clouure longitudinale, sur une longueur de 10^{cm}. Ce réservoir, de 60^{cm} de diamètre, et 1^m 50 de longueur, est constitué par une virole, en une seule tôle de 9^{mm} d'épaisseur, à double clouure longitudinale, fermée à ses deux extrémités par des fonds de 13^{mm} emboutis à la presse et maintenus par une clouure simple. Les trous de rivets, tant sur la tôle que sur les fonds, ont été percés à la mèche américaine, en même temps sur les deux tôles assemblées au préalable; les pinces n'ont pas été étirées à chaud; mais taillées à la fraise. Le rivetage a été fait hydrauliquement. Les rivets employés mesuraient 17^{mm} 5.

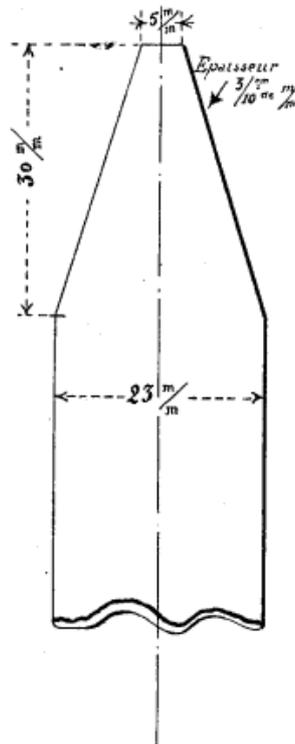
Nous avons soumis ce réservoir, au moyen d'un accumulateur hydraulique, à une pression de 26 kilogrammes par centimètre. Sous cette pression des fuites se sont produites aux clouures des fonds emboutis, et en un point du chanfrein de la clouure longitudinale, entre les 2^e et 4^e rivets de la rangée supérieure; les emplacements de ces fuites sont indiqués sur le croquis ci-joint.

Il est à remarquer que les fuites aux chanfreins se sont toujours produites entre les rivets, et non en face des





rivets eux-mêmes; cela montre qu'aux points de serrage des rivets, l'étanchéité est parfaite, mais cela montre aussi que le serrage énergique des rivets allonge la tôle entre ces rivets, et la fait bâiller légèrement; on peut, du reste,



vérifier ce fait, en regardant en enfilade le chanfrein de la tôle : celui-ci est, en effet, légèrement ondulé.

Nous avons recherché sur quelle profondeur le bâillement se produisait, au moyen d'une jauge en acier de 3 dixièmes de millimètres d'épaisseur, ayant la forme ci-dessus, et nous avons reconnu que le long du chanfrein de la clouure longitudinale, la pénétration était uniformément de 13^{mm}. Autour des fonds emboutis, la pénétration n'était pas la même partout; elle variait de 9^{mm} à 28^{mm}.

En somme, on peut admettre que sur la clouure longi-

tudinale, l'étanchéité était bien assurée par le rivetage seul ; au contraire, sur les clouures des fonds emboutis, le rivetage seul était insuffisant et nécessitait le matage comme correctif ; cela peut s'expliquer, par ce fait que les fonds, étant emboutis à la presse, présentaient sur tout leur pourtour des stries provenant du travail même d'emboutissage, lesquelles empêchaient une parfaite superposition de la tôle sur les fonds.

Deuxième expérience. — Nous avons répété cette expérience sur un réchauffeur de 0^m,650 de diamètre et de 7^m,80 de long.

Ce réchauffeur était constitué par trois viroles en deux tôles de 12^{mm} ; les clouures longitudinales étaient à double rivure, les clouures circulaires à simple rivure. Dans la construction, les tôles avaient été poinçonnées à 6^{mm} au-dessous du diamètre des rivets, puis, après assemblage, les trous avaient été alésés au diamètre définitif à la mèche américaine, travaillant à la fois sur les deux tôles en contact. Le rivetage a été fait à la main.

La pression d'épreuve devait être portée à 12 kilogrammes, chiffre réglementaire correspondant au timbre, 6 kilogrammes.

Cette épreuve ne put être concluante, car effectuée en hiver, par un temps de grand froid, le réchauffeur étant dans une cour, l'eau dans la conduite se congela, et le manomètre ne put monter au delà de 3 kilogrammes, quelque effort que l'on fit sur la pompe.

Ayant fait placer un réchaud sous la conduite du manomètre, l'aiguille de celui-ci sauta instantanément à l'extrémité de la graduation : on avait donc atteint une pression indéterminée, et excessive ; aussi, des fuites importantes s'étaient-elles déclarées à toutes les clouures, tant longitudinales, que transversales.

Néanmoins, on put constater ce fait, que les fuites atteignaient leur plus grande intensité en face des rivets qui

remplaçaient les boulons d'assemblage, ce qui s'explique par l'allongement des tôles entre deux boulons d'assemblage, provoqué par le rivetage même ; nous n'avons pas constaté ici de sinuosités le long des chanfreins, l'effort d'écrasement des rivets étant moins considérable que par le rivetage hydraulique.

Sauf aux pinces, le jaugeage a donné une pénétration peu importante : de 4 à 9^{mm}.

Troisième expérience. — La même expérience a été effectuée sur deux bouilleurs de 0^m,800 de diamètre et 5^m,500 de longueur.

Ces bouilleurs étaient constitués par deux viroles : la première en 2 tôles, la seconde, en une seule tôle, les assemblages étaient à double clouure.

Les trous de rivets avaient été poinçonnés à 6^{mm} au-dessous du diamètre des rivets, puis, après assemblage, alésés à la mèche américaine. Le rivetage avait été fait à la main, comme dans l'expérience précédente. Le timbre étant 8 kilogrammes, la pression a été portée à 14 kilogrammes.

A cette pression, les pinces seules ont donné lieu à des fuites, les clouures, tant longitudinales que transversales, sont restées étanches.

Les tôles, bien accotées, ne permettaient aucune pénétration de la lame de jauge en acier.

Quatrième expérience. — Sur deux autres bouilleurs de 0^m,80 de diamètre et 7^m environ de long, les résultats sont venus confirmer ceux obtenus dans les expériences précédentes. Les bouilleurs, en tôle d'acier, étaient constitués en trois viroles : la première, en deux tôles, les deux autres, en une seule tôle ; les clouures étaient à double rivure ; les fuites provenant des pinces étaient très fortes, et nous n'avons pu dépasser, à l'essai hydraulique, la pression de 10 kilogrammes, au lieu de monter à 14 kilogrammes, chiffre réglementaire correspondant

au timbre 8 kilogrammes. Le rivetage avait été fait hydrauliquement, sauf la clouure arrière de la première virole, dont l'assemblage a dû être fait à la main, la disposition de la machine à river ne permettant pas d'atteindre la longueur nécessaire. Les trous de rivets avaient été poinçonnés sur tôle plate à 6^{mm} au-dessous du diamètre des rivets, puis alésés, après envirolage, à la mèche américaine.

La clouure arrière de la première virole à l'un des bouilleurs s'est bien comportée, tandis que l'autre a fui abondamment. La pénétration d'une lame de jauge, en acier, de 15 centièmes de millimètre, a été de 2 à 5^{mm} aux clouures longitudinales, tandis qu'elle atteignait 15 à 35^{mm} aux clouures transversales. Il est bien certain qu'après matage toutes les clouures seraient devenues parfaitement étanches.

Il n'en est pas moins vrai que de l'essai hydraulique fait avant matage, on pouvait déduire que l'accostage des pinces n'était pas aussi bon que nous l'avions reconnu, par exemple, dans le cas précédent, et que sur les deux clouures arrière des viroles de coup de feu, l'une était mieux que l'autre, déductions qu'il eût été impossible de faire si l'essai avait été fait après matage.

Cinquième expérience. — Autre essai effectué, toujours dans les mêmes conditions, sur une calandre de chaudière à foyer amovible.

Cette calandre était constituée par trois viroles en deux tôles; les clouures longitudinales étaient chevauchées, et non dans le prolongement l'une de l'autre. Les clouures étaient à double rivure, sauf celle du fond arrière et celle de la cornière du joint avant. Le rivage avait été fait hydrauliquement. Outre les pinces, la cornière du joint avant avait été matée.

Là aussi nous n'avons pu, en raison de l'importance des fuites aux pinces, atteindre la pression réglementaire

d'épreuve ; sauf sur la clouure longitudinale de droite de la virole avant, nous n'avons pas relevé de fuite importante.

Mais nous avons pu faire des constatations fort intéressantes au moyen " de la tige de jauge de pénétration aux chanfreins.

Dans le cas particulier, cette tige, en acier, mesurait 2/10 de millimètre d'épaisseur, sur 8^{mm} de large.

Sur le fond arrière, qui était étanche, la pénétration était de 10 à 15^{mm}, et n'atteignait pas par conséquent la rivure ; il en était de même sur les autres clouures, sauf deux : la clouure longitudinale de droite, qui a fui fortement, et la clouure circulaire arrière de la première virole qui est restée à peu près étanche ; à la première, la pénétration variait de 30 à 50^{mm}, et entamait par conséquent la deuxième ligne de rivets ; à la seconde, la pénétration variait de 30 à 40^{mm}, et dépassait la première ligne de rivets, mais sans atteindre la seconde ; il y avait donc pour ces deux rivures insuffisance de serrage.

Là encore, lors de l'essai hydraulique après matage, aucune fuite ne se serait manifestée, et cependant certaines parties prêtaient à la critique.

Il est donc permis de déduire de ces expériences qu'un rivetage fait avec soin pourrait presque assurer par lui-même l'étanchéité des assemblages, sauf en ce qui concerne les croisements de tôles, où l'étirage des pinces ne peut, en pratique, être suffisamment précis pour donner une superposition parfaite des parties en contact.

En conséquence, le matage des chanfreins et des rivures ne doit être considéré, en construction soignée, que comme un correctif du rivetage, et non comme son complément indispensable.

Le matage doit donc être fait très légèrement, sans bourrage de métal, et, pour ainsi dire, uniquement pour

parer les chanfreins et donner à la construction un bel aspect.

Nous relèverons incidemment que les essais avant matage dont nous avons rendu compte semblent montrer que l'on pourrait rechercher dans la construction une plus grande précision dans l'étirage des pinces, qui sont souvent trop courtes et insuffisamment étirées.

Réparations des chaudières. — Matage en cas de fuite. — Les indications d'ensemble que nous venons de rappeler pour la construction des chaudières s'appliquent également à leur réparation.

Cette remarque m'amène à revenir et à insister tout particulièrement sur le matage qui est d'un usage courant pour l'entretien des appareils présentant des fuites.

Cette question de matage a été étudiée tout particulièrement depuis quelque temps à propos d'explosions provenant de fissurations longues et profondes dans des clouures longitudinales de chaudières.

M. Walckenaer, ingénieur en chef des mines, a tout d'abord présenté, en 1896, une note sur un mode particulier d'avarie le long des rivures de chaudières (*Annales des Mines*, livraison de septembre 1896) dans laquelle il citait trois cas d'explosions provenant de fissures dans la rivure longitudinale de bouilleurs. Puis M. Frémont, dans son mémoire (*Études de chaudronnerie*) — publié dans le *Bulletin* de la Société des Ingénieurs civils de France de novembre 1897 — rend compte des observations qu'il a faites dans deux cas : l'un à la suite d'explosion, l'autre chez un constructeur. Ensuite dans la *Revue de Mécanique* (Littérature des Périodiques, janvier 1898), se trouve résumée une observation analogue faite après explosion et relatée dans l'*American Machinist* du 16 décembre 1897. Enfin, dans le *Génie Civil*

du 16 juillet 1898 et du 16 janvier 1899, M. Baclé a résumé les comptes rendus parus, sur diverses explosions analogues dans les publications des Associations d'inspection de chaudières de Bavière, d'Autriche et de Hartford.

Les auteurs de ces divers travaux imputent les crises soit au matage, soit au cintrage, tantôt au poinçonnage, tantôt au rivetage.

Dans tous les cas, dans presque tous les exemples cités, le métal des appareils était de qualité inférieure; toutefois, dans un cas (explosion de Roubaix en 1885), le métal était en fer de bonne qualité (36 kilogrammes de résistance et 13 p. 100 d'allongement dans le sens du laminage, 34 kilogrammes et 11 p. 100 dans le sens transversal). Dans ce cas, d'ailleurs, l'accident ne s'est pas propagé; il s'est limité à une fissuration de 1^m,20 de longueur à la clouure longitudinale gauche du bouilleur de droite, les bords de la plaie étant soutenus par un métal suffisamment ductile.

Dans le 23^e Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, tenu en 1899, j'ai ajouté, aux exemples cités, un cas de fissure analogue dans une clouure longitudinale de bouilleur, mais survenue à une chaudière en tôle d'acier extra-doux de très bonne qualité.

Nous avons constaté l'avarie dans les conditions suivantes :

La chaudière était du type semi-tubulaire à deux bouilleurs; les assemblages de ses tôles étaient faits à double rang de rivets; elle avait été timbrée à 7 kilogrammes après sa construction, le 11 février 1893. Le métal employé était de l'acier extra-doux, provenant des forges de Denain, et il répondait aux conditions de notre cahier des charges, à savoir sur métal naturel, 40 kilogrammes maxima de résistance et 30 p. 100 minima

d'allongement De plus, également selon notre cahier des charges, après envirolement des tôles, les trous de rivets avaient été alésés avec une mèche travaillant en une seule fois sur les deux tôles correspondantes, celles-ci ayant été au préalable poinçonnées à un diamètre inférieur de 6^{mm} à celui des rivets à poser.

Au cours d'une visite que je fis, pour une autre question, à l'usine où cette chaudière avait été installée, mon attention fut appelée sur une fuite qui s'était produite au bouilleur de droite, à la clouure longitudinale de gauche, vers le milieu de la longueur de la tôle de coup de feu. Un dépôt de tartre s'était formé extérieurement au droit de la fuite.

Lors de ma visite, la chaudière était arrêtée ; elle fut vidée ensuite et un de nos inspecteurs en fit la visite intérieure pour rechercher les causes de la fuite. Il constata que la rivure était recouverte intérieurement d'une épaisseur de tartre de 6 à 7^{mm} ; le matage intérieur était décollé et le tartre qui recouvrait le chanfrein intérieur s'était détaché. Les rivets n'étaient pas desserrés, sauf deux à la partie antérieure de la fuite.

Ce premier examen pouvait faire supposer que la rivure avait été l'objet d'une surchauffe locale, d'autant plus qu'au moment où on s'était aperçu de la fuite, la grille était fortement chargée avec des copeaux de bois très secs provenant de déchets de charpentes, alors que le chauffage se fait ordinairement avec du charbon ; la fuite s'était d'ailleurs produite au-dessus de l'autel. Enfin le tartre recouvrant les rivets ne s'était craquelé à l'intérieur qu'au droit de la fuite.

Autant qu'on pouvait s'en rendre compte par suite de la présence du tartre, il ne paraissait s'être produit aucune cassure, et *un simple matage pouvait paraître suffisant pour assurer l'étanchéité*. Mais nous avons poussé plus loin notre enquête ; nous avons alors demandé l'enlè-

vement des deux rivets desserrés et le détartrage complet de la tôle à cet endroit de la rivure.

Une nouvelle visite de la chaudière fut faite après l'enlèvement d'un premier rivet. A ce moment, nous avons relevé à l'intérieur, dans la tôle supérieure, une fente traversant toute l'épaisseur de la tôle, et qui était visible dans le trou du rivet.

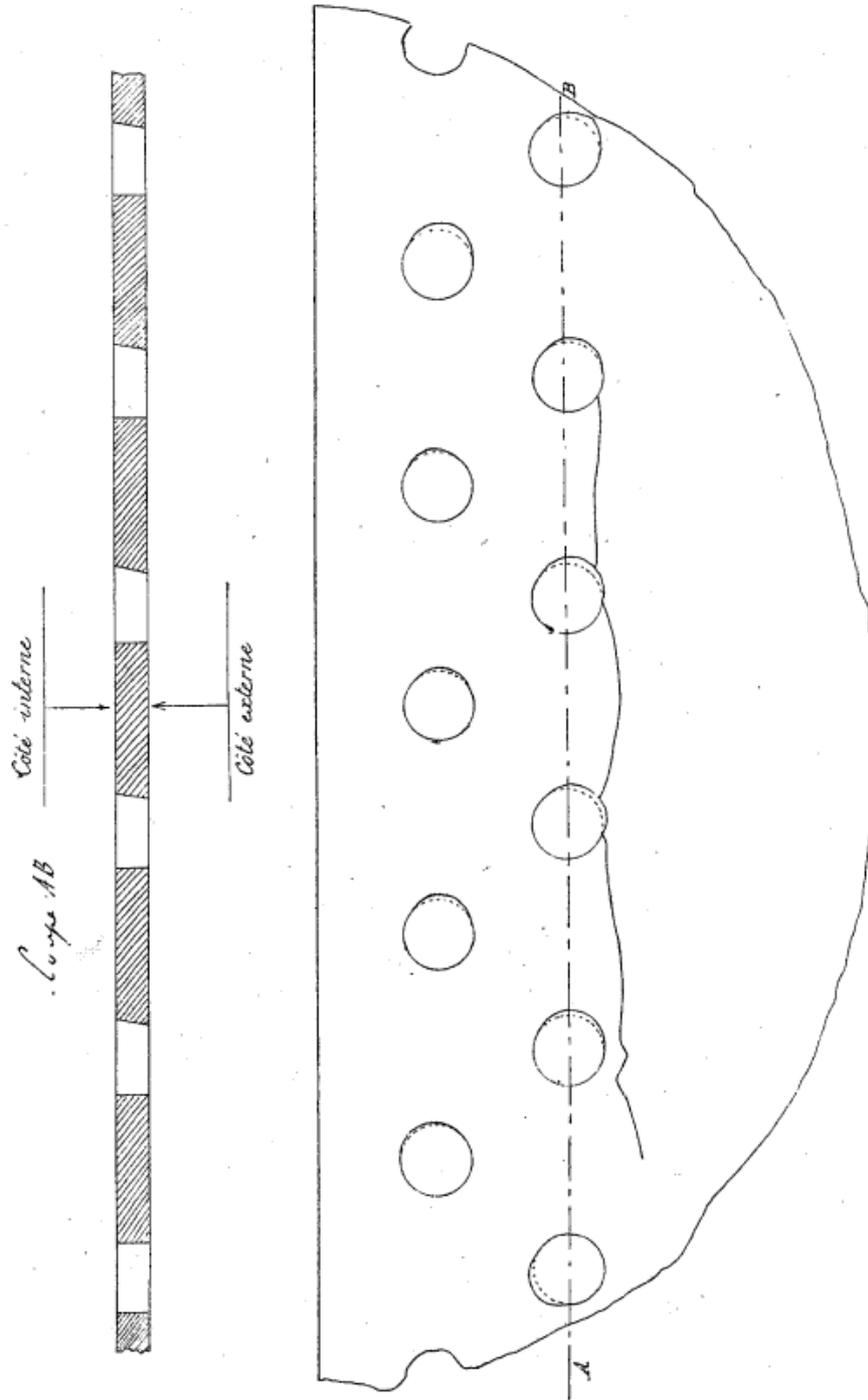
De plus, cette fente s'étendait à droite et à gauche jusqu'au rivet voisin, mais elle était impossible à voir à l'œil nu et il a fallu avoir recours à la loupe tellement elle était mince.

Les rivets voisins furent ensuite enlevés successivement et l'on constata que la fente s'étendait suivant le profil indiqué ci-après.

J'ai cru devoir entrer dans quelques détails sur cette avarie, pour en tirer des conséquences utiles au point de vue du matage ; la chaudière avariée présentait des fuites pour la première fois, il aurait pu se faire que l'on se contentât simplement de mater le chanfrein au droit de la fuite, sans se douter qu'il y avait une fente intérieure ; ce n'est que la position de la fuite, à une clouure longitudinale, qui a fait craindre une fissuration.

Mais si la fuite est persistante, malgré plusieurs matages réitérés, il est indispensable pour un entretien rationnel de rechercher, en enlevant des rivets comme nous l'avons indiqué plus haut, s'il n'y a pas de fissure intérieure ; il y a des chances pour que l'on se trouve en présence de fentes anciennes, et dont l'existence n'a été révélée que par une fuite.

En effet, les fentes aux rivures, dans le recouvrement des tôles, qu'elles proviennent soit de l'amorce de cintrage, soit du poinçonnage des trous de rivets, soit du brochage des rivures, qui se pratique malheureusement encore beaucoup trop, soit d'un matage excessif, soit de matages répétés, soit enfin de l'usage même, ne se révèlent



qu'après un usage plus ou moins long, lorsqu'elles ont traversé toute l'épaisseur du métal.

En résumé, en matière de réparation, il ne faut avoir recours au matage qu'avec prudence.

En présence de fuites persistantes, avant de mater, il est utile de vérifier la rivure en enlevant un ou plusieurs rivets au droit de la fuite.

ANNEXES

ANNEXES

NOTE SUR L'EMPLOI

D'UN ÉLASTICIMÈTRE

POUR MESURER

LES DÉFORMATIONS DE CHAUDIÈRES PENDANT LEURS ÉPREUVES

PAR

M. J.-F. de RADINGER

Professeur à l'École polytechnique de Vienne.

Souvent on entend dire, et des ingénieurs très compétents sont de cet avis, que l'épreuve hydraulique n'a, par elle-même, qu'une valeur limitée. Elle ne peut que révéler des cassures traversant le métal de part en part, et l'on se déclare satisfait si la chaudière reste étanche sous la pression.

Messieurs, je dois vous dire que j'ai été plus de vingt ans commissaire officiel de Vienne pour faire des épreuves de générateurs, et environ 8000 de ces épreuves ont eu lieu sous mes ordres.

Parmi les chaudières que j'ai eu à examiner, une grande quantité (environ 500) appartiennent au type à foyers intérieurs (fig. 1), qui est le système en faveur chez nous pour les grandes chaudières à vapeur. Dans les dernières années

de ma fonction, pendant 10 ou 12 ans, j'ai toujours utilisé dans les épreuves de ces générateurs un élasticimètre, ap-

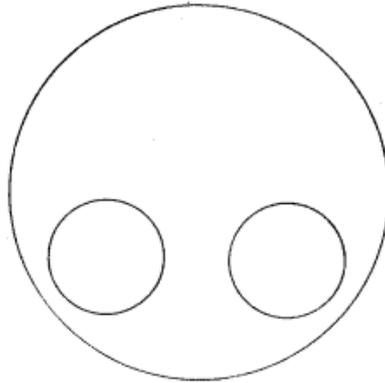


Fig. 1.

pareil de précision, permettant d'évaluer les petites déformations comprises de $\frac{1}{100}$ à $\frac{5}{10}$ de millimètre, ce qu'il serait impossible de faire à l'œil nu.

Cet instrument, de la grandeur et de la forme d'un manomètre, est ajustable par des pièces à vis pour remplir

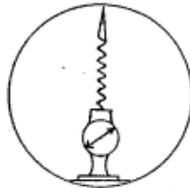


Fig. 2.

exactement le diamètre du foyer (fig. 2). Les deux extrémités de l'instrument étant appliquées aux bouts d'un diamètre, on met l'aiguille au zéro de la graduation.

Dès que la pression monte, l'aiguille commence sa marche, et un diagramme, tracé d'après les indications

de l'instrument, donne d'une manière indubitable la qualité du corps examiné (fig. 3).

Commençons par un exemple, qui est le plus simple

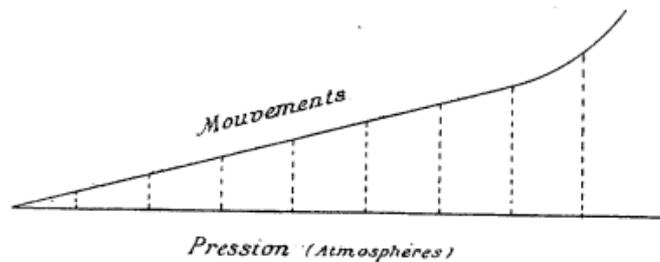


Fig. 3.

de tous : posons deux de ces instruments, d'abord aux deux extrémités du diamètre horizontal d'une virole de

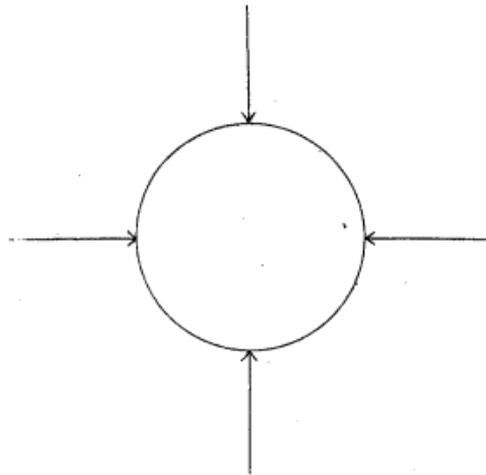


Fig. 4.

chaudière cylindrique, et ensuite aux extrémités du diamètre vertical (fig. 4).

Admettons que la pression s'exerce intérieurement.

Si la virole affecte la forme d'un cercle parfait, les ten-

sions auxquelles seront soumis les deux diamètres seront égales, et elles suivront les lois de l'élasticité.

Mais lorsqu'on a affaire à des corps exécutés en fer laminé et riveté, sans être ensuite tournés de manière que leur forme soit exactement ronde, les diamètres ne s'agrandiront pas dans la même mesure.

Si la différence entre les deux diamètres est très sensible, l'un des diamètres diminuera dès le moment où la

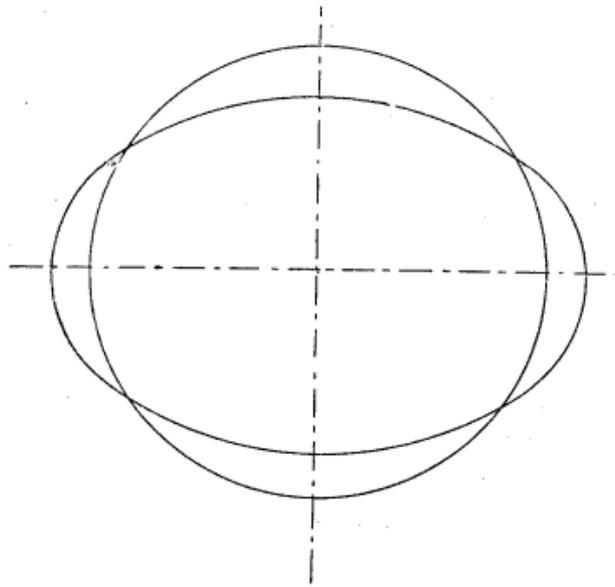


Fig. 5.

pression s'exercera, tandis que l'autre s'agrandira (fig. 5). Ce phénomène se produira rapidement, parce que la forme d'elliptique qu'elle avait primitivement, devient exactement ronde.

Dès que cette forme exactement ronde se produit, l'augmentation devient égale pour les deux diamètres, mais le point d'où cette forme prend naissance est caractérisé par une certaine pression en atmosphères, et il est très facile de calculer à quel travail est soumis le métal,

pour arriver ainsi d'une forme défectueuse à une forme parfaite (fig. 6).

La tension des tôles en acier doux, que nous utilisons dans nos chaudières, est à peu près de 7 à 8 kilogrammes

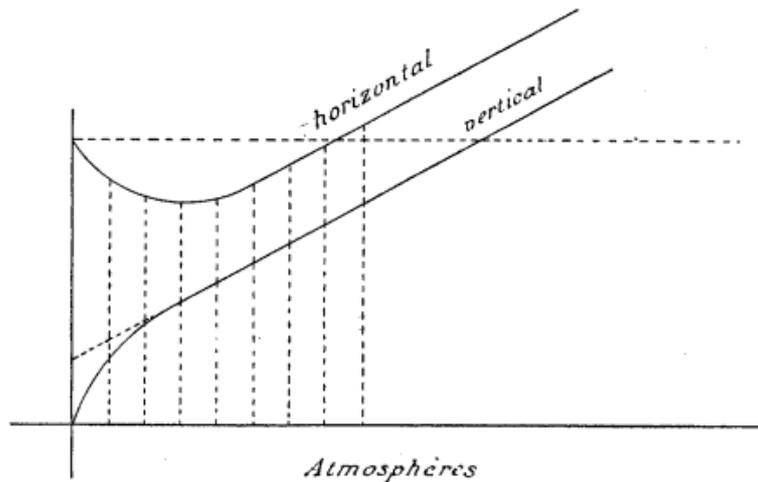


Fig. 6.

par millimètre carré (la tension de rupture est environ de 35 à 40 kilogrammes pour ce métal) et on doit toujours se tenir en dessous de 9 à 10 kilogrammes dans la pratique, par suite des influences tenant à l'inexactitude de la forme ronde.

Un instrument permettant de juger avec précision de la perfection de la forme obtenue dans la construction, autorisera une diminution dans l'épaisseur des tôles, ce qui constituera un progrès.

Tant que la ligne du diagramme, montrant la déformation consécutive à la pression, demeure toute droite, tout reste dans les limites de l'élasticité, et on en sera d'ailleurs assuré si l'aiguille de l'instrument retourne à zéro dès que la pression s'éteint. Nul dommage n'aura été causé par l'épreuve. Si la tension s'est maintenue aux

environs de la valeur calculée, et si la pression de travail courant reste loyalement au-dessous de la pression d'essai, on peut garantir la chaudière examinée en toute sécurité.

Mais si la déformation est beaucoup plus grande que le calcul ne l'a fait prévoir, ou progresse irrégulièrement, ou ne s'éteint pas complètement après la chute de pression, ce sera un signe révélateur de défauts, qu'on aura à rechercher.

Revenons maintenant aux foyers intérieurs, où l'exactitude de la forme est plus nécessaire pour la résistance du générateur, que dans tout autre système.

En général, ces foyers ont un diamètre de 60 à 80 centimètres, et pour une pression de travail de 6 atmosphères, leur épaisseur est, chez nous, de 10 à 13^{mm}.

La pression d'épreuve, en Autriche, est

$$p_i = 1,5 p + 1 \text{ atm.}$$

c'est-à-dire que pour une marche courante de 6 atmosphères, cette pression p_i sera égale à 10 atmosphères.

D'après la formule d'élasticité se rapportant à un corps prismatique

$$\frac{\lambda}{l} = \frac{S}{E}$$

dans laquelle λ représente l'allongement du corps,

l représente la longueur primitive,

S représente l'effort par unité de section,

E le module d'élasticité,

formule qui devient pour une section ronde

$$\lambda = D \frac{S}{E}$$

D représentant le diamètre,

nous aurons pour un effort S de 3 kilogrammes par millimètre carré, résultant de la pression d'épreuve (1)

$$S = \frac{60.1}{2.10} = 3^{\text{ks}} \text{ par } \text{mm}^2.$$

et un diamètre de 600^{mm} , une diminution de diamètre de $0^{\text{mm}},09$ à $0^{\text{mm}},12$.

$$\lambda = 600 \times \frac{3}{20000} = 0^{\text{mm}},09$$

Tant que cette déformation tout élastique (et même une différence de moitié en plus ou en moins) avait lieu, je déclarais toujours le foyer de premier rang.

On peut faire fonctionner un tel foyer en toute sécurité, et, sauf le cas de manque d'eau, il ne s'affaîssera jamais.

Toutes les influences secondaires, dilatation, infléchissement vers le haut ou vers le bas par suite de l'action de l'eau, ou du poids propre du foyer, les tensions des autres parties de la chaudière, les affaiblissements par corrosions d'une certaine profondeur, seront vaincues par la construction régulière et exacte.

Pour exécuter un envirolement parfaitement rond, il faut que la chaudronnerie utilise des cylindres en fer ou en fonte de forme parfaite et que le travail soit soigné.

Cette bonne exécution est rare et se paye cher, mais le succès est sûr.

Laissons les foyers du deuxième rang, et parlons enfin de ceux de troisième. Ce sont les foyers où la déformation est en double grandeur de celle qui a été prévue par

(1) Effort calculé d'après la formule de Lamé, modifiée pour le cas où le diamètre est trop grand par rapport à l'épaisseur δ de la paroi, $= \frac{Dp}{2S}$ ou $S = \frac{Dp}{2\delta}$, soit avec les valeurs $D = 60^{\text{cm}}$, $p = 1^{\text{ks}} \text{ par } \text{mm}^2$, $\delta = 10^{\text{mm}}$.

le calcul. Ils travaillent aussi bien que les autres, et aussi longtemps, mais à la condition que les influences secondaires ne deviennent pas prépondérantes.

Mais à cause de ces influences secondaires, ces foyers ne sont qu'en équilibre. Dès qu'une de ces influences perturbatrices prend une certaine prépondérance, un affaissement, dont les causes demeurent souvent inexpliquées, est déclaré mystérieux, alors qu'il ne tient qu'à une forme mauvaise.

Enfin, si la ligne du diagramme dépasse la droite et commence à s'élever suivant une forme hyperbolique (fig. 7),

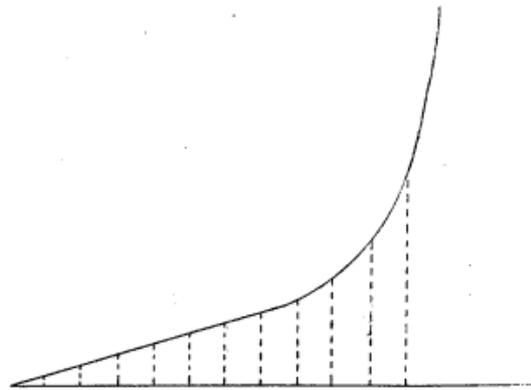


Fig. 7.

la limite d'élasticité est dépassée. On peut alors prévoir sous quelle pression la rupture totale aura lieu. Je n'ai jamais accepté une chaudière à une pression plus haute que celle où la limite de l'élasticité est atteinte sous l'épreuve. Quelquefois on a réclamé contre mes ordres, et un autre commissaire a éprouvé de nouveau (mais sans instrument) le même objet, et a donné le certificat pour la pression demandée. Mais en peu de temps, toujours, j'ai appris que ces générateurs, que j'avais refusés, se comportaient mal.

Il n'est pas possible d'examiner avec autant de soin chaque partie d'une grande chaudière. Il faut choisir les points les plus sensibles et dangereux. Ils sont bien connus par l'expérience, et il faut se dire que, plus on vérifie de points différents d'une chaudière, moins on a de chance d'y laisser insoupçonnées des parties défectueuses.

Enfin, je me permettrai de dire que je sais très bien que d'autres expérimentateurs se sont servis d'instruments de cette sorte pour faire des recherches dans les diverses régions des sciences. Mais, je ne crois pas qu'avant moi cet appareil ait été employé pour des épreuves normales de chaudières.

Paris, 11 juillet 1900.

EXPÉRIENCES FAITES AUX USINES PONTILOF

A SAINT-PÉTERSBOURG

sur des chaudières combinées avec et sans chargeur mécanique

PAR

M. G. de DOEPP

Professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas I^{er}.

Les chaudières de type combiné, composées d'une chaudière à foyer intérieur, surmontée d'une chaudière tubulaire, sont assez répandues en Russie; leur construction est caractérisée par deux différentes chambres pour la vapeur. Ces chaudières donnent le bénéfice d'une bonne économie de combustible; elles ont un volume d'eau considérable, ce qui assure une marche régulière et elles ne demandent que très peu d'emplacement.

En surveillant, à l'Institut technologique de Saint-Pétersbourg, les études des élèves, qui exécutent souvent des projets de chaudières de ce type dans les salles de construction de l'Institut, je me suis souvent demandé qu'elle doit être la proportion entre les quantités de vapeur produites par chacune des deux chaudières combinées, et quelle évaporation peut être atteinte dans ces chaudières? Ne trouvant pas de données sur cette question dans la littérature technique, j'ai été très heureux de l'obligeance avec laquelle M. A. Lomchakoff, chef du laboratoire pour les essais des machines aux

Usines Pontilof, à Saint-Pétersbourg, me proposa de faire des expériences spéciales. Il avait désigné, à cet effet, une chaudière faisant partie d'une série de 12, la deuxième du bout de la rangée. En voici les dimensions principales :

Chaudière.		Inférieure.	Supérieure.
Diamètre	de la chaudière....	^{mm} 1800	1800
	du foyer.....	» 900	—
	des tubes.....	» —	7066
Nombre des tubes (du foyer)...		— 1	88
Longueur des tubes.....		^{mm} 4400	3600
Surface de chauffe	de la calandre....	^{m2} 17,73	14,99
	des tubes (du foyer).	» 10,00	77,44
	Total.....	» 27,73	92,43
Surface de l'eau.....		» 6,9	6,5
Volume	de l'eau.....	^{m3} 4,69	5,30
	de la vapeur.....	» 1,87	2,70
Surface de la grille.....		^{m2} 1,88	—

Les essais eurent lieu le 5-17 et le 11-23 mai 1899 : la première fois, c'était le stoker, système Munckner, qui fonctionnait; la seconde fois, le travail du chargeur mécanique était remplacé par celui du chauffeur de jour. Quant aux dispositions prises pour le contrôle du fonctionnement de la chaudière, je ne m'arrête spécialement que sur le système d'alimentation. L'eau fut prise dans un réservoir monté sur une bascule; en ouvrant le robinet de vidange, on la laissait passer dans un réservoir inférieur, où était plongé le tuyau aspirateur de la pompe alimentaire. Derrière celle-ci, l'eau traversait un compteur à disque oscillant système Thompson (n° 1); puis elle passait par le tuyau alimentaire ayant deux branches destinées à alimenter les deux corps de chaudières et munies chacune d'un compteur du même système (n° 2 pour la chaudière inférieure et n° 3 pour la chaudière supérieure). Le chauffeur réglait l'alimentation

de façon que les niveaux d'eau restaient constants dans les deux chaudières. Les précautions décrites assuraient une exactitude minutieuse.

Le charbon était pesé et des échantillons en furent brûlés dans la bombe calorimétrique de Berthelot. Les températures furent relevées : derrière le foyer, par un pyromètre Le Chatelier, derrière les tubes, par un pyromètre Steinle et Hartoung (à ressorts en acier, contenant du mercure), au bout du dernier carneau, par un thermomètre à mercure se trouvant sous une atmosphère d'azote, et dans le foyer, par des thermophones du professeur Wiborgh, de Stockolm.

Voici les résultats des essais :

I. Avec le chargeur Munckner (différant assez peu du type à pelles Proctor bien connu).

Eau alimentaire : d'après les compteurs n^{os} 2 et 3 la chaudière inférieure avait vaporisé 3 269 kilogrammes ou 42,56 p. 100 ; la chaudière supérieure, 4411 kilogrammes ou 57,44 p. 100, en tout, 7 680 kilogrammes. Exactement le même chiffre était accusé par le compteur n^o 1. La quantité d'eau relevée par la bascule étant en même temps 7 809 kilogrammes, l'erreur du compteur a été 1,7 p. 100. En tenant compte de cette erreur, et en réduisant le poids de la vapeur produite à 0° pour l'eau alimentaire et à 100° pour la vapeur, nous avons les résultats moyens suivants :

Production de vapeur en kilos par heure.

Chaudière.	Total.	Par mètre carré de		Par mètre cube de volume de la chambre à vapeur.
		surface de chauffe.	surface d'eau.	
Inférieure. . . .	500	18	72,4	270
Supérieure. . . .	671	7,3	103,1	200

Pression effective moyenne : 6,8 kg/cm^2 .

Températures moyennes en C° (1) :

Derrière le foyer : 937°.
 Derrière les tubes : 335°.
 Au bout du dernier carneau : 216°.

Résultats moyens de l'analyse des gaz, pris par derrière le foyer :

Nombre des essais.	CO ²	O	Az	α
6	10	7	83	1,46

α étant le rapport entre la quantité d'air introduite dans le foyer et la quantité théorique nécessaire à la combustion complète.

Tirage de la cheminée : 16^{mm} d'eau.

Durée de l'essai : 7 heures et demie.

Vaporisation : 7,14.

Charbon (de provenance anglaise) et consommation : 87 kilogrammes par heure et par mètre cube de surface de grille ; puissance calorifique du charbon brut avec 7,87 p. 100 d'humidité : 7 125 calories.

Bilan.

	Calories.	p. 100.
Chaleur utilisée.....	$7,14 \times 637 = 4548$	63,83
Perte dans les gaz, supposant le poids d'air théorique = 11 kg et la chaleur spécifique des gaz = 0,26.....	$11 \times 1,46 \times 0,26 \times 216 = 898$	12,60
Perte par l'humidité du charbon.	$0,0787 \times 637 = 50$	0,70
Perte par la transmission de la chaleur par les parois, dans l'air aspiré à travers les parois, etc.....	1629	22,87
Total.....	7125	100 »

(1) Ces températures correspondent à la deuxième partie de l'essai (après 2 heures p. m.) : avant midi, les températures étaient anormales (trop basses), parce que la grille n'avait pas été dégrassée au commencement de l'essai et la combustion du charbon n'était pas assez vive.

Le rendement médiocre s'explique par les grandes surfaces des parois et par les grandes portes servant au nettoyage des tubes, qui probablement n'étaient pas assez étanches et laissaient passer de l'air dans les carneaux.

II. Chargement à la main.

Le stoker Munkner se prêtant très bien au chargement à la main, j'ai fait un second essai pour constater la différence entre le rendement des deux méthodes.

Eau alimentaire : d'après les compteurs n^{os} 2 et 3, la chaudière inférieure a vaporisé 4 774 (41,5 p. 100) kilogrammes, la chaudière supérieure, 6 728 kilogrammes (58,5 p. 100). En même temps, le compteur n^o 1 a accusé 12 085 kilogrammes au lieu de 11 502 kilogrammes, et la bascule, 12 190 kilogrammes, c'est-à-dire, l'erreur du compteur n^o 1 n'a été que de 0,9 p. 100, et l'erreur des compteurs n^{os} 2 et 3, si nous la répartissons également, aurait été de 5,65 p. 100. On en peut déduire, que les quantités de vapeur, débitées par les deux corps de chaudières, aient été 5 060 kilogrammes (chaudière inférieure) et 7 130 kilogrammes (chaudière supérieure).

Production de vapeur en kilos par heure.

Chaudière.	Total.	Par mètre carré de		Par mètre cube de volume de la chambre à vapeur.
		surface de chauffe.	surface d'eau.	
Inférieure.	790	28	115	425
Supérieure.	1110	12	170	410

Pression effective moyenne : 6,66 kg/cm².

Températures moyennes en C^o :

Derrière le foyer : 1136°

Derrière les tubes : 380°.

Au bout du dernier carneau : 205°.

La température dans les différentes parties du foyer variait entre 840° et 1 100°; certainement, il y avait aussi

des endroits où la température était plus élevée. La température des escarbilles était environ 100°, des mâchefers, 770° à 860°.

Résultats de l'analyse des gaz :

CO ²	O	Az	α
10,5	6,0	83,5	1,37

Tirage de la cheminée : 18,8^m de colonne d'eau.

Durée de l'essai : 7 heures 15 minutes.

Vaporisation : 7,40.

Charbon (même provenance), consommation : 138 kilogrammes par heure et par mètre cube de surface de grille ; puissance calorifique du charbon humide (7,12 p. 100) : 7265 calories.

Proportion des mâchefers : 3,54 p. 100, des escarbilles : 3,26 p. 100.

Bilan :

	Calories.	p. 100.
Chaleur utilisée.....	$7,4 \times 637 = 4714$	64,88
Perte dans les gaz.....	$11 \times 1,37 \times 0,26 \times 205 = 803$	11,10
Perte par l'humidité du charbon.	$0,0712 \times 637 = 45$	} 0,72
Perte de chaleur dans les mâ- chefers.....	$0,0354 \times 815 \times 0,2 = 6$	
Perte dans les escarbilles.....	$0,0326 \times 100 \times 0,2 = 1$	
Perte par la transmission de la chaleur et dans les gaz aspi- rés à travers les parois.....	1696	23,30
Total.....	7265	100 »

En comparant ces deux essais, nous constatons que le chauffage ordinaire a donné des résultats un peu plus favorables que le travail mécanique. Néanmoins, on ne peut pas faire des conclusions d'un caractère plus ou moins général, parce que les circonstances étaient moins favorables pour le stoker : 1° le machiniste qui surveillait le travail du chargeur, n'avait pas décrassé la grille avant le commencement de l'essai, de sorte que le foyer

ne pouvait pas consumer la quantité nécessaire du charbon ; 2° le tirage était moins vif ; 3° les chauffeurs de l'usine, se trouvant chaque jour sous un contrôle intelligent et continu, travaillaient mieux que les chauffeurs ordinaires.

Pour compléter les résultats des essais susdits, j'ajoute ceux qui ont été obtenus par M. Lomchakoff pendant le mois d'avril 1899 en temps de fonctionnement ordinaire des chaudières et qui sont notés dans le journal du laboratoire de l'usine.

N°	Date.	Durée.	Fonctionnement.	Vaporisation.	Proportion de l'eau vaporisée par la chaudière.	
					Inférieure.	Supérieure.
	Avril.	Heures.			p. 100.	p. 100.
1	12	} 24	} Ordinaire.	7,12	40	60
2	13			7,23	} 44	} 56
3	14	6,93				
4	15	7 1/2		7,61	46,5	53,5
5	22	} 12		7,72	44	56
6	23			6,43	40,5	59,5
7	24	7 1/2		7,48	45	55
8	26	12		7,04	51	49
9	29	24		Mécanique.	7,38	42

On voit qu'en général la vaporisation est plus basse pour les longues durées des essais. En comparant les résultats obtenus pour une durée de 24 heures, on remarque que le stoker donne un meilleur rendement que le travail à la main, parce que son fonctionnement ne dépend pas des circonstances, qui ont une influence sur la qualité du travail du chauffeur (le travail pendant la nuit est plus difficile et moins exact que pendant le jour). Les proportions de l'eau vaporisée par les deux corps de chaudières ne diffèrent pas beaucoup des résultats de mes essais, sauf le n° 8 qui représente une irrégularité assez grande.

PROCÉDÉ ÉLECTROLYTIQUE DE DÉSINCRUSTATION DES CHAUDIÈRES

PAR

M. N. SOKOVNINE (Russie).

Le procédé qui n'a encore subi que des expériences de laboratoire pourrait être appliqué aux chaudières à un foyer intérieur, dans le cas d'incrustations poreuses. Il est fort simple en théorie et consiste dans l'électrolyse d'une solution de chlorure de soude à 2-3 p. 100, dont est remplie la chaudière, constituée comme anode, tandis que le cathode est formé par une feuille de tôle, introduite et fixée dans la chaudière parallèlement aux parois.

Le chlore, qui est dégagé par l'électrolyse sur la surface même de la chaudière, forme, en se combinant au feu des parois, une couche soluble entre les parois et le dépôt; l'adhérence entre les deux étant ainsi détruite, le dépôt peut se détacher.

Pour les expériences, on a été obligé de se servir, à défaut de véritables dépôts de chaudières, de plaques de fer, recouvertes de chaux hydraulique; ces expériences ont démontré que l'épaisseur de fer dissout est environ de 0,02^{mm}; d'ailleurs cette épaisseur a été calculée d'après la quantité d'électricité consommée, en présu-

mant que tout le chlore s'est combiné au fer ; si, au contraire, une partie du chlore agissait sur le dépôt, l'épaisseur de fer dissout doit être diminuée.

Les procédés mécaniques, usités actuellement, doivent aussi user les chaudières, mais la comparaison des deux procédés est encore impossible, car le nouveau procédé n'a pas encore été expérimenté sur des chaudières en marche.

Les avantages du système consisteraient dans ce qu'il ne nécessiterait pas le refroidissement des chaudières, ce qui pourrait réaliser une grande économie de temps.

PROCÈS-VERBAUX

SÉANCE D'INAUGURATION

Lundi 16 juillet 1900 (matin).

La séance est ouverte à 9 heures trois quarts.

DISCOURS DE M. LINDER

Inspecteur général des mines,
ancien Président de la Commission centrale des machines à vapeur,
Président de la Commission d'organisation du Congrès.

MESSIEURS,

Le temps qui nous est accordé pour notre session étant limité, les observations que je me permettrai de vous présenter seront brèves.

Mais auparavant j'aurai l'honneur, en ma qualité de Président du Comité d'organisation du Congrès, de vous souhaiter la très cordiale bienvenue dans notre capitale et dans ce palais des Congrès ou plutôt de solidarité et de fraternité humaines, où vous trouverez accumulés de si nombreuses et souvent si remarquables manifestations des nations civilisées des deux mondes en faveur de l'amélioration du sort des humbles, de la sécurité des travailleurs, de l'avenir des victimes du travail. Cet honneur m'est d'autant plus sensible que dans ma longue carrière d'ingénieur et dans les trente dernières années

de son cours notamment, soit comme président du Conseil général des mines et de la Commission centrale des machines à vapeur, soit comme chef d'Industrie, l'une de mes préoccupations constantes a été la recherche des voies et moyens les meilleurs d'assurer la sécurité dans les exploitations, dans les ateliers et en général dans les manifestations de l'activité industrielle. Je suis heureux de l'occasion qui m'est offerte de concourir à une œuvre qui se rattache si étroitement à cet objet essentiel de mon ancienne carrière.

Notre Congrès, Messieurs, bien qu'appartenant à la série de ceux qu'a prévus l'arrêté ministériel du 11 juin 1898, diffère cependant de la plupart par l'origine de sa conception. A bien dire, notre Congrès est une création des Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur; ce sont elles qui en ont eu l'initiative et en ont assuré le succès. Vous savez que ces Associations tiennent, chaque année, un Congrès dans lequel leurs ingénieurs en chef étudient en commun les questions techniques relatives à l'emploi des machines et des chaudières à vapeur. Or il existe depuis longtemps dans l'Europe centrale, sous le nom d'*Union internationale des Associations pour la surveillance des chaudières à vapeur*, un groupement qui poursuit une tâche analogue à celle du groupe français et à laquelle collaborent des Associations de l'Allemagne, de la Belgique, de la Suisse, de l'Autriche, de l'Italie et de la Suède.

Jusqu'à présent, ces deux collectivités ont vécu isolément, sympathisant à coup sûr l'une avec l'autre, car elles poursuivent le même but humanitaire, mais sans se mélanger, ni se confondre, et en se bornant à échanger leurs publications.

Ce n'est pas que le désir de se réunir, pour se mieux connaître et par suite se mieux apprécier, ne soit venu à toutes deux, mais l'occasion de le réaliser ne s'était pas

offerte, tout au moins d'une façon opportune. Aujourd'hui elle se présente et je suis heureux de constater qu'elle a été saisie avec empressement.

Votre Comité d'organisation n'a pas jugé toutefois que notre Congrès devait se borner à cette réunion. Il lui a paru utile de le compléter par un appel à la bonne volonté et à la compétence des principales personnalités, qui ont à intervenir dans les questions de surveillance et de sécurité en matière d'appareils à vapeur : ingénieurs d'État ou civils, maîtres de forges, constructeurs, industriels, etc.

Messieurs, le nombre d'adhésions, tant françaises qu'étrangères obtenues, démontre que ce double appel n'a pas été fait en vain. Plus de 300 adhérents se sont fait inscrire, dont :

- 40 Associations de propriétaires d'appareils à vapeur,
- 30 ingénieurs d'État,
- 80 industriels divers,
- 60 constructeurs,
- 15 sociétés de forges, etc.

L'Autriche, la Belgique, le Canada, les États-Unis, la France (ministères de la Guerre et de la Marine), la Hongrie, les Pays-Bas, la Russie, le Japon se sont fait représenter par des délégués et, parmi ces délégués, par des sommités de la science, de l'industrie dans le sens élevé du terme.

Leur concours nous sera doublement précieux par la variété qu'il apportera à la discussion et par l'appoint d'expérience et de talent dont il l'enrichira.

Vos travaux, Messieurs, seront grandement facilités par le dévouement de nos rapporteurs à remplir la mission dont ils ont bien voulu se charger sur notre demande. Nous leur devons nos plus vifs remerciements, non seulement pour l'effort considérable qu'ils ont dû faire pour vous donner satisfaction, mais encore pour l'exactitude

avec laquelle ils ont rempli leurs promesses. Leurs rapports, prêts au jour précis, ont pu vous être distribués avant l'ouverture de la session; exemple rare, presque unique, dans les annales des Congrès et qui mérite nos applaudissements.

Ayant une base aussi excellente pour vos délibérations, vous ne pouvez manquer de faire œuvre utile et féconde.

Bien que notre programme soit limité aux appareils à vapeur, chaudières et récipients, les questions qu'il embrasse sont assez nombreuses et variées pour exiger des compétences diverses, les unes d'ordre administratif, les autres d'ordre technique ou hygiénique. Certaines mériteront une discussion particulièrement approfondie.

Messieurs, je tiens que des assemblées telles que la nôtre constituent pour notre époque un véritable titre d'honneur. Jadis, elles n'auraient pas été possibles; on n'aurait même pas osé en concevoir le projet. Actuellement, dans l'état où sont les esprits, chaque jour resserre d'une façon plus vive les liens multiples qu'impose la solidarité humaine. Comme d'instinct, on cherche à faire disparaître les causes des catastrophes qu'occasionnent trop souvent encore les procédés mécaniques et les exploitations de l'industrie moderne; c'est à ce but de fraternité et d'humanité que je vous convie.

Ne vous contentez pas de mettre dans la recherche de ce but votre science et votre expérience; apportez-y toute la chaleur de votre cœur. Il sortira de ce travail en commun, espérons-le, non seulement — ce qui est le but immédiat de notre Congrès — des solutions favorables à la conservation de la vie humaine et au bien public, mais en outre la naissance et le développement de ces sentiments de nature intime, propres à créer entre nous des liens dominant les intérêts particuliers et ouvrant nos âmes au souci des intérêts de l'humanité.

Messieurs, je déclare ouverte la session du Congrès.
(*Applaudissements prolongés.*)

M. Linder. — Messieurs, nous allons procéder à la nomination du Bureau.

M. Olry. — Messieurs, l'honorable président de la Commission d'organisation, **M. Linder**, me paraît tout désigné pour remplir les fonctions de président. Je compte sur votre confiance pour vouloir bien nommer par acclamation **M. Linder**, président du Congrès.
(*Approbation unanime.*)

M. le Président. — Messieurs, je suis très honoré et très heureux de la nomination que vous avez bien voulu faire à l'instant ; je vous en remercie du fond du cœur et je vous promets que je ferai tous mes efforts pour remplir mes fonctions à votre entière satisfaction. (*Applaudissements.*)

Messieurs, puisque vous avez bien voulu me nommer président, je vais vous faire successivement les propositions que la Commission d'organisation a préparées.

Comme vice-présidents, le Comité d'organisation vous propose :

M. le professeur de Radinger, délégué du gouvernement autrichien.

M. de Angeli, sénateur, président de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de Milan, membre du Comité de patronage du Congrès.

M. Walther-Meunier, ingénieur en chef de l'Association alsacienne de propriétaires d'appareils à vapeur, représentant des Associations françaises.

M. Walther-Meunier. — Monsieur le Président, je vous demanderai de vouloir bien me dispenser des fonctions de vice-président.

M. le Président. — Alors, je vous proposerai de ne nommer que deux vice-présidents, M. de Radinger et M. de Angeli. (*Approbation.*)

Cette proposition est adoptée à l'unanimité; en conséquence, M. de Radinger et M. de Angeli sont nommés vice-présidents du Congrès.

M. Linder. — Je crois, d'ailleurs, que le président tâchera de présider à peu près toutes les séances. Il est très croyable qu'il ne se fera pas remplacer.

Je prie MM. de Radinger et de Angeli de vouloir bien prendre place au bureau.

M. de Radinger prend place au bureau et remercie.

M. de Angeli est absent et M. le Président demande à M. Perelli de vouloir bien lui faire part de sa nomination.

M. le Président. — Messieurs, je propose maintenant comme secrétaire général du Congrès, le secrétaire du Comité d'organisation. (*Approbation unanime et applaudissements.*)

M. Compère est, en conséquence, nommé secrétaire général du Congrès.

(M. Compère prend place au bureau).

Je propose comme secrétaire, M. Schmidt, ingénieur en chef de l'Association de la Somme, de l'Oise et de l'Aisne, à Amiens.

Et comme secrétaires adjoints, M. Bosquillon de Genlis, M. Archambault de Vinçay, et M. des Mazis, ingénieurs.

Ces propositions sont adoptées à l'unanimité.

M. le Président. — Je donne la parole à M. le Secrétaire général, pour diverses indications sur le programme des travaux du Congrès.

M. Compère remercie d'abord le Congrès de la confiance qu'il a bien voulu témoigner en lui continuant ses fonc-

tions de secrétaire général qu'il avait occupées pendant la période d'organisation du Congrès.

Il résume les travaux de la Commission d'organisation et donne la liste des questions qui doivent être soumises au Congrès.

Il remercie les rapporteurs des diverses questions d'avoir bien voulu répondre à son appel en lui remettant à l'heure dite leurs rapports complètement terminés. Il a pu ainsi les faire imprimer et distribuer avant la réunion du Congrès dont le travail pourra être de ce fait beaucoup plus fructueux.

Le Congrès ne pourra durer que trois jours et, entre les séances, il y aura une visite au Champ-de-Mars, aux Expositions des Associations françaises, autrichienne et italiennes de propriétaires d'appareils à vapeur, et aux chaudières en feu. Cette visite a été fixée au mardi matin, 17 juillet.

M. le Président. — Quelqu'un a-t-il des observations à présenter avant la séance de cet après-midi ?

S'il n'y a pas d'observations, je donne rendez-vous ici à 2 heures.

La séance est levée à 10 heures un quart.

2^e SÉANCE

Lundi 16 juillet 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE M. LINDER
Président du Congrès.

La séance est ouverte à 2 heures un quart.

M. le Président. — La parole est à M. Olry pour présenter son rapport sur les *Régimes divers de surveillance des appareils à vapeur*.

M. Olry, ingénieur en chef des mines, délégué général du Conseil d'Administration de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France. — Messieurs, je ne veux pas vous infliger, par la température que nous subissons, la lecture un peu austère, un peu aride de mon rapport sur les régimes divers de surveillance des appareils à vapeur, ni même vous imposer l'obligation d'en entendre une analyse qui pourrait fatiguer votre attention sans être suffisamment complète.

Je me bornerai donc à en mettre en évidence les traits essentiels. Ils se résument, en somme, dans la constatation de l'existence de deux grands systèmes : celui de la liberté dans l'installation et l'emploi des appareils à vapeur, et celui de la surveillance administrative.

Le premier a pour fondement la répression des accidents ; l'autre, la prévention.

Il est clair, qu'en principe, il vaut mieux éviter un

accident par des mesures préventives appropriées qu'attendre que l'accident se soit produit pour sévir ensuite à son sujet. Mais, d'une part, les mesures préventives peuvent porter une atteinte excessive à la liberté individuelle, et il y a des pays où l'opinion publique n'admettrait pas volontiers que cette liberté fût menacée.

D'autre part, on peut craindre que ces mesures n'atténuent la responsabilité des intéressés et n'émoussent leur vigilance, en ce sens qu'après s'être mis en règle avec les prescriptions administratives, ils pourraient s'imaginer qu'ils n'ont plus rien à faire et qu'ils n'ont plus d'autres précautions à prendre.

Le système de la liberté peut donc être appuyé par de bons arguments. En fait, on s'en accommode dans certains pays où il est en vigueur, et c'est tellement vrai, que l'enquête anglaise de 1870-71 n'a pas conduit à y renoncer. Mais peut-être en est-il ainsi dans la Grande-Bretagne et dans les États qui ont imité son exemple, parce qu'il existe dans d'autres des règles auxquelles sont soumis les appareils à vapeur.

Ces règles, dont l'application tend à se répandre de plus en plus, et qui ont été récemment imposées par de nouvelles législations spéciales, ont été vulgarisées de cette manière; elles sont devenues classiques, leur application s'est généralisée par la force même des choses et elles sont entrées dans les mœurs industrielles, là même, où elles ne sont l'objet d'aucune prescription officielle.

Qui concevrait aujourd'hui une chaudière sans indicateurs de niveau, sans soupapes de sûreté, sans manomètre?

Ces appareils sont usités partout, imposés dans la plupart des pays, ils sont employés dans d'autres où le système de la liberté existe, sinon par esprit d'imitation, du moins en raison de la conception qu'on y a acquise de leur utilité.

Et, c'est ainsi, Messieurs, que l'influence de la réglementation administrative des appareils à vapeur s'est propagée par une sorte de répercussion automatique chez les nations où cette réglementation n'existe pas. Celles-ci ont profité par voie indirecte de ses bienfaits, et c'est peut-être parce qu'elles en ont ressenti l'effet de cette façon qu'elles n'ont pas jugé à propos de l'imposer d'une manière officielle.

Ces considérations ne peuvent que me confirmer dans l'opinion que j'ai émise dans mon rapport, à savoir qu'à l'égard des divers régimes appliqués aux appareils à vapeur, il ne faut pas se placer sur le terrain des principes, mais seulement sur celui des réalités; que la question est complexe, et qu'il faut pour l'étudier et la résoudre, faire intervenir dans chaque espèce de circonstances qui paraîtraient à première vue étrangères au sujet, se rattachant notamment, comme je l'ai expliqué, au degré d'éducation industrielle des usagers des appareils à vapeur, à la subordination plus ou moins grande des particuliers à l'autorité, au prestige exercé par les pouvoirs publics sur les individus.

Le but à atteindre qui est de préserver les hommes et les choses contre les conséquences d'un accident, ne réclame pas plus un régime qu'un autre; l'essentiel est que les mesures nécessaires soient toujours prises pour éviter les catastrophes, pour réduire au minimum les risques afférents à l'emploi des appareils à vapeur. Que ces mesures soient prises spontanément et librement par les intéressés, ou bien qu'elles leur soient imposées par une loi ou par un règlement, peu importe. Peu importe, pourvu que les dispositions nécessaires soient prises à l'effet de préserver la vie humaine et sauvegarder l'outillage industriel.

Pour arriver à ce but, laissons à chaque nation le choix des moyens à employer; laissons-les le poursuivre cha-

cune avec son tempérament propre, chacune avec son génie individuel; souhaitons qu'une sorte d'émulation se produise entre elles à cet égard, et se traduise par des progrès incessants profitables à l'intérêt de la sécurité, et ne blâmons aucun des procédés employés pour arriver au résultat désiré si elles parviennent à l'obtenir.

En d'autres termes, montrons-nous libéraux, montrons-nous tolérants, ne soyons pas esclaves des formules, faisons abstraction de nos préférences, je pourrais peut-être dire de nos préjugés; applaudissons à toutes les initiatives, à toutes les tentatives, qu'elle qu'en soit la base, qui auront pour objet la sécurité des ouvriers, leur bien-être, leur hygiène. Unissons-nous enfin dans une commune aspiration vers le bien en laissant à chacun le choix des procédés, en respectant sa liberté et son indépendance.

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole?

M. Déjardin, délégué de la Belgique, a la parole.

M. Déjardin, *ingénieur en chef des mines, directeur au ministère de l'Industrie et du Travail, en Belgique.* — Je n'ai point le talent oratoire de l'honorable M. Olry; je vous prie donc de m'accorder toute votre indulgence.

Mon but, en demandant la parole, a été tout d'abord de féliciter M. Olry du remarquable rapport qui nous a été remis, et de l'en remercier.

Ce travail consciencieux sera pour nous tous un *vade mecum* précieux, un guide utile de législation comparée en matière d'appareils à vapeur; nous aurons à cœur de le consulter lorsque, rentrés dans nos foyers, nous nous efforcerons en cette matière de faire œuvre utile dans l'intérêt de la sécurité des travailleurs.

Je ne passerai pas en revue tout le rapport de M. Olry; je me bornerai à y ajouter quelques indications relatives à la Belgique, et ce, pour rectifier sur certains points de

détail, et pour compléter sur d'autres, l'étude si étendue que M. Olry a faite de la réglementation des appareils à vapeur dans tous les pays.

Bien que son territoire soit restreint, la petite Belgique tient une place importante dans le monde, en ce qui concerne l'emploi de la vapeur. Au 31 décembre 1899, elle ne comptait pas moins de 21 586 générateurs et de 22 400 moteurs, d'une force globale de 1 312 319 chevaux. Parmi les générateurs, 2 997 appartenaient aux services du transport et de la navigation exploités par l'État belge, et leur surveillance était confiée aux ingénieurs de ces services.

Réstaient environ 18 500 chaudières placées sous la surveillance des administrations publiques. C'est, d'une part, aux ingénieurs du corps des mines (dans les provinces minières); de l'autre, aux ingénieurs et conducteurs des ponts et chaussées, qu'est dévolue cette surveillance.

L'administration centrale des mines, qui fait partie du département de l'Industrie et du Travail, a la haute direction de ce service. Pour vous donner une idée du travail qu'il réclame, je dirai seulement qu'en 1897, les ingénieurs des mines seuls, qui ont à surveiller environ 11 000 chaudières, ont fait dans ce but 2 300 déplacements; — que le nombre des épreuves à la presse a été, pendant la même année, de 2 220, dont 830 essais annuels de locomotives, et 940 épreuves de chaudières neuves dans les ateliers de construction.

J'allais omettre de signaler que, des 18 500 chaudières appartenant à des particuliers, 6 000 environ, soit près d'un tiers, sont affiliées à l'Association pour la surveillance des chaudières à vapeur que dirige avec autant d'autorité que de compétence M. l'ingénieur Vinçotte, que tous vous connaissez et dont il serait superflu de faire ici l'éloge. (*Applaudissements.*)

C'est, j'en suis certain, en grande partie aux efforts de cette Association, à laquelle je suis heureux de rendre ici un hommage officiel, que le nombre de véritables accidents de chaudières n'a pas été plus considérable chez nous. Nous avons eu à déplorer dans ces derniers vingt-cinq ans, 150 explosions de chaudières ayant causé la mort de 132 personnes et des blessures à 146 autres.

Certes c'est beaucoup, c'est trop : nous devons néanmoins nous montrer relativement satisfaits.

Dans la dernière période quinquennale 1895-1899, nous n'avons compté que 39 explosions, 40 tués et 24 blessés pour 20 340 chaudières employées, soit par an et par 10 000 chaudières 3.84 accidents et 6.29 victimes.

Ce sont des chiffres qui se rapprochent de ceux de la statistique française reproduite par M. Hébert, d'après le rapport de M. Hirsch.

Je passerai maintenant en revue, en ce qui concerne la Belgique, et dans le même ordre que lui, les différents points de la note de M. Olry.

Construction des chaudières. — Parlant de la construction des chaudières, celui-ci vous a dit que, sauf en ce qui concerne l'emploi de la fonte, il y avait à cet égard en Belgique liberté presque complète. Ceci est exact, mais il est un point cependant que, à mon sens, il n'a pas assez mis en lumière.

C'est une prescription qui a eu, je le crois, de très heureux résultats au point de vue de la sécurité, non sans nous créer quelquefois des ennuis et des difficultés avec nos voisins; je veux parler de l'obligation d'apposer sur toutes les tôles entrant dans la construction des chaudières, des marques d'origine et de qualité mises à chaud lors de la fabrication.

C'est à la suite de plusieurs accidents, attribués avec raison à l'emploi de tôles de mauvaise qualité, que

l'arrêté royal du 28 mai 1884, réglementant la police des appareils à vapeur, a imposé cette prescription.

Nos constructeurs se sont promptement et complètement pliés à cette exigence du règlement, et les industriels étrangers s'y conforment également, lorsqu'ils savent à l'avance que les chaudières qu'ils construisent sont destinées à la Belgique.

Cependant, il se présente des circonstances où une certaine tolérance s'impose nécessairement. Tel est le cas pour les locomotives qui circulent à la fois dans deux pays, pour le matériel des grandes entreprises de travaux publics et autres analogues, enfin et surtout pour les chaudières des bateaux de mer qu'on ne construit pour ainsi dire pas dans notre pays. Et, dans ces cas spéciaux, il est tenu compte de ces situations spéciales pour accorder des dérogations aux prescriptions strictes du règlement.

Épreuves des chaudières. — M. Olry, parlant des épreuves des chaudières, vous a dit que nous suivions le même régime qu'en France; pour les chaudières neuves ainsi que pour les essais après réparation il en est ainsi. L'épreuve se fait à 1 1/2 fois la pression du timbre. Il n'en est plus de même pour les essais annuels auxquelles sont soumises les chaudières de locomotives, de bateaux, de tramways. Pour ces épreuves, le fonctionnaire compétent est autorisé à réduire la pression d'essai à 1 1/4 de fois la pression du timbre et je me demande, à mon tour, point qui semble ne pas avoir été touché par M. Compère dans son exposé si complet de la question, s'il n'est pas prudent, lors de ces essais réitérés, de ne dépasser cette pression que d'une façon très modérée. J'ignore à cet égard ce qui se pratique en France, mais j'estime que ces épreuves devraient être chez nous moins fréquentes qu'elles ne le sont, sous la réserve que les visites intérieures et extérieures seraient plus complètes. Nous avons

eu récemment, dans notre pays, plusieurs explosions graves de chaudières de bateaux, qui se sont produites peu de temps après le renouvellement de l'essai à la presse; la cause en a été trouvée dans le mauvais état de conservation des tôles qu'une visite incomplète et faite trop hâtivement n'avait point permis de reconnaître.

Conditions d'installation. — D'après M. Olry, le régime belge, au point de vue de l'installation des chaudières à vapeur, est un régime d'autorisation. Cela est exact, mais néanmoins, il y a, à cet égard, une réserve à faire.

Avant 1884, l'autorisation pure et simple était la règle générale. Il n'en est plus de même aujourd'hui. Chaque demande d'établissement d'un appareil à vapeur est suivie d'une enquête de *commodo* et de *incommodo*; si cette enquête ne soulève aucune réclamation, le collège échevinal en donne acte au demandeur. Cet acte vaut permission d'installer l'appareil sans qu'il soit imposé de conditions spéciales et sans que le fonctionnaire technique, chargé de la surveillance des chaudières, ait à intervenir. Ce n'est qu'en cas d'opposition du voisinage, qu'un rapport lui est demandé et qu'il propose, s'il y a lieu, à l'autorité locale de subordonner l'autorisation à certaines conditions spéciales.

Appareils de sûreté. — Nos appareils de sûreté sont, à très peu de chose près, les mêmes que ceux qui sont imposés en France. Nous n'avons point de clapet automatique à la prise de vapeur, mais nous avons un clapet de retenue à l'arrivée de l'eau. Nous exigeons un appareil d'alimentation d'un effet assuré. Nous n'exigeons que deux indicateurs de niveau d'eau, dont l'un doit être un tube de verre; le second peut se confondre avec l'appareil d'alarme et consister par conséquent en un flotteur actionnant un sifflet.

Depuis peu nous autorisons l'emploi d'indicateurs à double verre greffés sur une même colonne, mais à condition que les tubulures de communication avec la chaudière aient au moins 60^{mm} de diamètre intérieur.

Ce faisant, nous avons suivi l'exemple de l'Allemagne et de la Hollande.

Pour les chaudières mobiles, l'appareil d'alarme n'est pas exigé, mais le double indicateur du niveau d'eau subsiste. Les chaudières de locomotives, de bateaux et de tramways doivent être, en outre, munies d'un appareil d'alimentation indépendant du fonctionnement du moteur.

Visites intérieures et extérieures. — J'en arrive aux visites intérieures et extérieures des générateurs.

Le régime instauré par le règlement de 1884, et qui vous a été signalé par M. Olry, n'a pas été modifié ; il a simplement été complété et rendu plus sévère. C'est ainsi qu'un arrêté royal, du 18 juillet 1894, a comminé des pénalités contre les visiteurs de chaudières qui se rendraient coupables de négligences ou de fausses déclarations. Des instructions ont déterminé les conditions que devaient remplir les certificats de visite, et les chefs de service ont été invités à n'accepter les certificats qu'après s'être assurés de la compétence de la personne qui les délivre. En cas d'accident, le nom du visiteur est mentionné dans le procès-verbal d'enquête adressé au Parquet.

Toutes ces mesures ont été prises en vue d'engager les propriétaires d'appareils à vapeur à ne charger de la visite de ceux-ci que des personnes compétentes.

Chez nous, toute épreuve après déplacement ou réparation importante, doit être accompagnée d'une visite intérieure. Cette visite est exigée avant l'épreuve. Elle n'est point, comme en France, renouvelée après celle-ci.

Surveillance administrative. — Il me reste un mot à dire de la manière dont se fait en Belgique la surveillance administrative des chaudières à vapeur.

Le règlement de 1884 avait laissé au ministre compétent le soin de désigner les fonctionnaires commis à ce service; depuis lors, ce point a été réglé par un arrêté de 1891, qui a réparti cette surveillance entre les ingénieurs du corps des mines dans les provinces minières du pays, et les fonctionnaires des ponts et chaussées dans les autres provinces.

Ces fonctionnaires dressent les procès-verbaux de visite préalable à la mise en usage des appareils; ils visitent périodiquement les appareils de sûreté et s'assurent que les visites intérieures annuelles ont été faites: ils assistent aux épreuves hydrauliques et procèdent aux enquêtes à la suite d'accidents.

En ce qui concerne les appareils à vapeur des chemins de fer de l'État, ce sont les ingénieurs de ce service qui en assument la surveillance. Les chemins de fer concédés seuls rentrent sous la loi commune.

Telles sont, Messieurs, les quelques additions que j'avais à faire au remarquable travail de M. Olry.

Ces renseignements pourront peut-être présenter quelque intérêt et quelque utilité aux membres du Congrès, au point de vue du régime de la surveillance des chaudières à vapeur, tel qu'il fonctionne actuellement en Belgique. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — La parole est à M. Piepers, délégué du gouvernement des Pays-Bas.

M. Piepers, ingénieur en chef du contrôle sur les appareils à vapeur, aux Pays-Bas. — M. le Rapporteur voudra bien me permettre de rectifier quelques erreurs, en ce qui regarde la surveillance dans les Pays-Bas.

En premier lieu, la loi citée de 1869 a été remplacée par

celle du 15 avril 1896, tandis que l'arrêté royal, réglant les détails techniques, date du 19 octobre 1896.

A la page 12 du rapport, il faudrait ajouter que le diamètre des soupapes peut être moindre que celui donné par la formule, pourvu que l'accumulation reste au-dessous de 10 p. 100 de la pression permise.

Page 14. Il faut que le manomètre métallique puisse marquer deux atmosphères de plus que la pression correspondant à la charge des soupapes.

Page 15. Deux appareils d'alimentation sont prescrits pour les locomotives et les bateaux à vapeur.

Page 17. Au lieu de deux robinets de jauge, un second tube de niveau d'eau est permis. Le fabricant n'a pas le choix entre un bouchon fusible et un flotteur, mais le premier est prescrit pour toutes les chaudières à foyer intérieur.

Ensuite le diamètre des communications entre la chaudière et l'indicateur du niveau d'eau est de 30 ou bien 50 millimètres, selon que le tube et les robinets de jauge sont placés sur une même communication ou non.

Page 20. La visite à l'intérieur doit être faite tous les deux ans pour les chaudières fixes et locomobiles, chaque année pour les chaudières de bateaux.

Permettez-moi d'ajouter, en ce qui regarde l'inspection chez nous, que celle-ci comprend toutes les chaudières, excepté celles des locomotives de chemins de fer, qui sont sous le contrôle d'agents spéciaux, et celles de la marine royale.

Le dernier recensement du 1^{er} janvier 1900 donne 10 962 chaudières et 1 041 récipients. Le personnel comprend 1 ingénieur en chef (en même temps ingénieur au 5^e district), 2 ingénieurs de 1^{re} classe et 3 ingénieurs de 2^e classe, 3 sous-ingénieurs, 10 aides ou conducteurs de 1^{re} classe et 6 de 2^e classe. Le pays est divisé en 6 districts.

Le rapport annuel sur l'exercice 1899, publié par le

ministre, a justement paru et je me permets d'en déposer deux exemplaires au bureau.

Ce rapport se résume ainsi :

Le dernier recensement dans les Pays-Bas montre, sur un total de 10 962 chaudières à vapeur, une augmentation pendant 1899 de 418 chaudières. Celles de la marine royale et des locomotives des chemins de fer n'y sont pas comprises.

Les sièges des 6 inspecteurs sont à Breda, Dordrecht Rotterdam, Amsterdam, Arnhem et Groningue.

Le nombre des épreuves hydrauliques de chaudières neuves et réparées pendant l'exercice 1899 fut de 1 452, tandis que 352 récipients ont été éprouvés. 6 902 chaudières et récipients furent visités à l'intérieur et 19 574 visites extérieures ont été faites.

Le graphique ci-joint montre l'accroissement des visites par an : la montée rapide depuis le 1^{er} janvier 1897 a pour cause l'inspection réglementaire des récipients, d'après la nouvelle loi de 1896.

Ce graphique montre aussi l'accroissement de la force totale des chaudières en mètres carrés de surface de chauffe depuis le 1^{er} janvier 1897, ainsi que la moyenne de cette valeur par chaudière ; la ligne inférieure donne le nombre total des chaudières, ainsi que, depuis le 1^{er} janvier 1897, celui des chaudières et récipients.

Le résultat des inspections pendant l'exercice 1899 peut être classé comme suit : 88 chaudières et 12 récipients ont été trouvés dans un état dangereux, de sorte que l'emploi devait en être défendu, ou bien une réparation plus ou moins importante fut considérée comme nécessaire sans aucun délai.

Pour 591 chaudières et 21 récipients, une réparation était nécessaire dans un délai plus ou moins bref ; 4 993 chaudières et 320 récipients donnaient lieu à des remarques, portant généralement sur l'entretien des

accessoires, tandis que 5 062 chaudières et 716 récipients ne donnaient lieu à aucune remarque.

Pour 84 chaudières, le démontage de la maçonnerie ou bien de l'enveloppe fut commandé; dans ce chiffre sont comprises les chaudières marines dont l'âge ou bien le mauvais état comportait la mise hors du vaisseau.

Le rapport mentionne, en outre, un grand nombre de cas intéressants de détérioration, de fissures, de déformation de foyers, de mauvais traitement des appareils de sûreté et du niveau d'eau, etc., constatés pendant les inspections.

La totalité des chaudières se répartit comme suit :

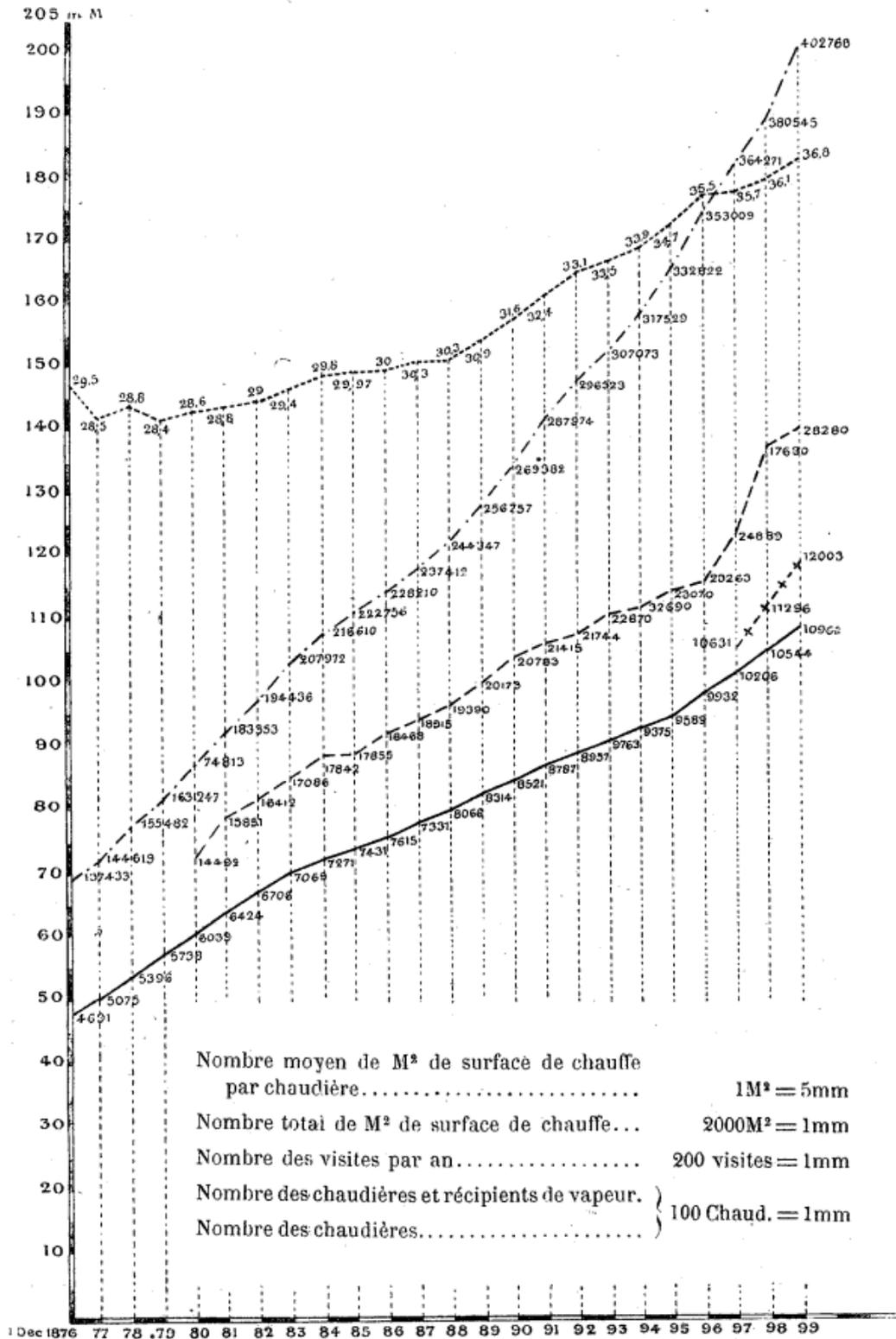
6 254 chaudières sont placées dans 4 547 fabriques; 771 chaudières sont placées dans 493 machines d'épuisement pour « polders », 2 231 chaudières dans 1 852 bateaux de mer et de navigation fluviale, 1 412 chaudières placées sur 1 394 locomobiles, dragueurs et autres appareils transportables, enfin 294 locomotives dites de « tramway ».

Des 10 962 chaudières, 6 958 ont été construites dans le pays même, de sorte que 4 004 provenaient d'autres pays.

Pendant l'année 1899, les agents chargés de l'inspection ont dressé 12 procès-verbaux, la plupart à cause de soupapes surchargées ou calées; dans la grande majorité de ces cas, le juge a prononcé une amende plus ou moins forte.

5 chaudières furent mises sous scellés par la police, sur la demande de l'inspecteur, pour cause de danger immédiat, et deux autres parce qu'elles étaient mises en service sans permission.

Pendant l'année 1899, aucune explosion ne fut portée à la connaissance des inspecteurs. Quelques accidents sont mentionnés dans le rapport, la plupart sans beaucoup d'importance, entre autres le maniement imprudent d'un



robinet de vidange et la rupture d'un tube de niveau d'eau, donnant suite à de légères brûlures.

Un accident assez grave à une tuyauterie de vapeur à bord d'un navire, ainsi que la rupture d'un couvercle d'un tiroir de cylindre à vapeur, ne furent pas examinés à titre officiel, ces appareils ne ressortissant pas à l'inspection.

A la fin du rapport, sont mentionnés quelques accidents de chaudières ayant occasionné seulement des dégâts matériels, comme la rupture d'un joint transversal de chaudière à foyer extérieur, résultant du remplissage trop subit par l'eau froide; des fissures transversales à un réchauffeur par suite de dépôts; des criques aux bords des tôles du coup de feu près du fond de la chaudière, par suite d'assemblage trop rigide; des bosses aux tôles du coup de feu par suite d'un manque d'eau, etc.

Enfin, quelques cylindres-sécheurs en fonte, dans une papeterie, furent trouvés avec des cassures aux couvercles, à la suite de l'incendie dans la fabrique. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — M. Edward G. Hiller, ingénieur en chef of the National Boiler and general insurance, de Manchester, n'assistant pas à la séance, je prierai M. le Secrétaire général de vouloir bien donner lecture de la traduction d'une lettre qu'il a adressée à M. Olry.

Manchester, 12 juillet 1900.

« CHER MONSIEUR,

« J'ai lu avec intérêt votre note pour le Congrès international sur les différents règlements concernant les inspections des appareils à vapeur.

« Je suis fâché de ne pouvoir espérer d'être libre pour me rendre au Congrès. En conséquence, je vous écris au sujet

« d'un point que vous mentionnez à la page 3 de votre note.

« Au bas de cette page, je comprends que vous dites qu'en Angleterre, les locomotives appartenant aux Compagnies de chemins de fer sont assujetties à une inspection faite par les contrôleurs du gouvernement.

« Il n'en est pas ainsi. Le fait est que les chaudières des principales Compagnies de chemins de fer ne sont visitées que par des inspecteurs en service dans chaque Compagnie respective. Pour les Compagnies possédant seulement un petit nombre de chaudières, certaines font visiter les chaudières par un ingénieur de leur service, tandis que pour d'autres, il semble qu'aucune inspection régulière ne soit faite.

« Ainsi récemment, une chaudière de locomotive, appartenant à une petite Compagnie, a fait explosion, et au cours de l'enquête faite par le Board of Trade sur l'explosion, il a été démontré qu'aucune visite régulière n'avait eu lieu.

« Pour le cas de grandes Compagnies, le système que je vous décris a donné de bons résultats; il n'y a eu depuis bien des années aucune sérieuse explosion dans les Compagnies telles que « London and North Western Railway C^{ie}, Undland Railway C^{ie} ou Great Northern Railway C^{ie} ».

« Les Compagnies de chemins de fer sont de bons exemples des résultats obtenus par l'application du principe de la responsabilité individuelle qui a guidé l'élaboration des lois anglaises dans les dernières années.

« En effet, l'explosion d'une locomotive remorquant un train contenant un grand nombre de personnes aurait des résultats désastreux tant au point de vue des responsabilités qu'au point de vue pécuniaire pour la Compagnie. Ces considérations conduisent donc les Compagnies à faire opérer les inspections de la façon la plus large, ainsi que je le mentionnais plus haut en montrant les résultats heureux de ce principe.

« Vous apprendrez probablement avec intérêt qu'un comité spécial de la Chambre des Communes est réuni en ce moment pour la discussion des questions concernant les inspections de chaudières en Angleterre, et autant qu'on

« peut le prévoir, il semble que le Comité concluera à l'adop-
« tion d'une loi rendant obligatoires les inspections de
« chaudières.

« Votre bien dévoué,

« EDWARD HILLER. »

M. Déjardin. — J'ai ici un bill déposé au Parlement anglais en 1898, pour l'enregistrement et l'inspection des chaudières à vapeur ; c'est probablement à ce projet que fait allusion l'auteur de cette lettre. Il a été décidé au Parlement anglais que la question était close, avant la troisième lecture à la Chambre des Communes, et elle a été déclarée caduque. Il est probable que c'est ce projet qu'on reprend aujourd'hui. Il s'agissait d'une visite annuelle des chaudières, analogue à celle qui se fait dans notre pays.

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole ?

M. Aguillon, inspecteur général des mines. — Dans le rapport très complet et très étudié de M. Olry, auquel je rends justice, plus que personne, il y a tant de questions abordées qu'il faudra distinguer celles que nous prendrons en considération actuellement pour les examiner. Parmi ces questions, il y a d'abord celle de la réglementation, abstraction faite des moyens par lesquels on l'assurera ; c'est le système de la liberté ou le système de la réglementation administrative. Comment assurera-t-on le respect de cette réglementation si elle existe ? Il y a plusieurs systèmes très différents. On peut assurer l'observation d'une réglementation, sans avoir des corps spécialement chargés de la faire respecter.

Ainsi nous avons, en France, toute une réglementation que ceux qui sont ici connaissent très bien, pour tout ce qui se rapporte aux établissements insalubres, dange-

reux et incommodes; mais il n'y a pas d'inspecteurs spéciaux pour faire respecter cette réglementation. La question sur laquelle je voulais présenter quelques observations au Congrès, n'était pas la question du fond de la réglementation, mais les moyens de faire respecter la réglementation, et la première question de M. Olry se lie avec la seconde : sur le rôle des associations de propriétaires d'appareils à vapeur. Car si vous examinez comment la réglementation doit être observée, il faut toucher à cette seconde question. Il y a des pays, en Angleterre, par exemple, où il y a liberté complète au point de vue de l'observation des règlements; puis, il y a certains pays ayant des fonctionnaires spéciaux; d'autres où les associations jouent un rôle sommaire; enfin nous avons des pays, comme l'Alsace-Lorraine, où les associations ont les mêmes attributions que les fonctionnaires. Il y a là une question très importante, qui est posée d'une façon très nette, plus par le rapport de M. Walther-Meunier que par celui de M. Olry, qui cependant y touche.

L'observation des règlements est touchée également par d'autres rapports, celui de M. Sauvage et celui de M. Compère, de sorte que la question sur laquelle je veux présenter des observations est moins le régime du fond que les moyens les meilleurs à prendre pour assurer une réglementation, une fois donnée pour un pays. Si le Bureau croit que, dans cet ordre d'idées, on peut discuter cette question, ou bien s'il ne serait pas mieux de joindre la seconde à la première, à ce point de vue spécial, je ferai comme le Bureau et le Congrès l'estimeront. Peut-être vaudrait-il mieux que M. Walther-Meunier présentât d'abord ses observations, pour que nous répondions à la première question et à la seconde, étant entendu que la première n'est pas close?

M. le Président. — C'est entendu.

M. Olry. — J'appuie la proposition de M. l'Inspecteur général Aguillon.

M. le Président. — Messieurs, nous allons entamer la deuxième question. M. Walther-Meunier aura l'obligeance de nous exposer son rapport sur le rôle des associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

M. Olry. — Voulez-vous me permettre, auparavant, Monsieur le Président, de remercier les orateurs qui ont pris la parole pour commenter mon rapport et y ajouter de nouveaux éléments d'étude. En France, nous ne sommes pas polyglottes; nous sommes souvent obligés de nous en rapporter à des traductions qui présentent parfois des lacunes. Je suis profondément reconnaissant à nos collègues des Pays-Bas, de Belgique et d'Angleterre d'avoir complété notre documentation. C'est dans cet esprit que je remercie les orateurs qui ont bien voulu prendre la parole à l'occasion de mon rapport. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — La parole est à M. Walther-Meunier.

M. Walther-Meunier, *ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur.* — Messieurs, je regrette de n'avoir pas, comme M. Olry, résumé mon rapport. Mais, il est déjà lui-même un résumé, et je suis obligé de le lire tout entier.

M. Walther-Meunier donne lecture de son rapport sur le rôle des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur dans les différents pays en matière de surveillance préventive ou d'assurance. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — La parole est à M. Aguillon, pour donner la suite de ses observations.

M. Aguillon. — Le point, Messieurs, sur lequel je voulais appeler votre attention était plus spécialement

celui que M. Walther-Meunier a traité dans la première partie de son rapport : Intervention des Associations dans le contrôle administratif, et peut-être d'une façon encore plus générale, le trouverions-nous dans le titre même de la question : Du rôle des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur en matière de surveillance préventive ou d'assurance dans les divers pays. Et, en effet, comme je me permettais de vous le dire tout à l'heure, il me semble que, dans l'ensemble du sujet qui constitue la première et la deuxième questions réunies, il faut distinguer deux choses : ce qu'on peut appeler le régime administratif et législatif des appareils à vapeur, c'est-à-dire l'ensemble de dispositions légales et réglementaires auxquelles l'emplacement et le fonctionnement des appareils à vapeur sont soumis, et ensuite, ce qui me paraît une question toute différente, les moyens par lesquels on croit devoir assurer dans chaque pays l'observation de ces dispositions.

Je laisse de côté la première partie, qui a été traitée par M. Olry, à savoir : ce qu'il faut mettre dans cet ensemble de dispositions ; j'admets, pour ma part, qu'il faut un régime de réglementation ; l'exemple de l'Angleterre n'est pas suffisamment probant, et, de ce qui concerne l'ensemble des pays de l'Europe continentale, il semble résulter que l'emplacement et le fonctionnement des appareils à vapeur paraissent devoir être soumis à un régime particulier. J'écarte donc cette question du régime et j'examine comment il faut en assurer l'exécution.

M. Olry disait tout à l'heure que ses conclusions étaient vagues, et il se résumait en disant : Puisque ce qui se fait dans chaque pays est pour le mieux, laissons chaque pays faire comme il fait ; son régime est le meilleur pour lui, à cause de ses habitudes.

Je trouve que les Congrès internationaux sont établis pour que chaque pays vienne exposer ce qu'il fait ; je

trouve qu'il y a des enseignements à tirer du rapprochement des renseignements qui proviennent de divers pays; il faut voir si chacun ne peut prendre, dans ce que font les voisins, des indications pour lui permettre d'améliorer ce qu'il fait lui-même. Je crois que c'est essentiellement l'utilité d'un Congrès, comme celui pour lequel nous sommes réunis. C'est en me plaçant à ce point de vue, que je crois qu'on peut rapprocher les diverses observations. Il s'agit de nous demander si, de tout cela, il ne résultera pas, par un rapprochement des divers pays, un système qui soit comme l'idéal vers lequel nous devons tendre davantage, comme une asymptote qui nous fuit, mais dont nous nous rapprochons. Il s'agit de savoir à quel mal nous avons affaire pour y remédier; quel que soit l'organisme par lequel nous assurons la réglementation, quelle que soit la réglementation elle-même, nous n'exerçons pas un contrôle pour le contrôle lui-même.

Quels sont les risques d'accidents d'appareils à vapeur devant lesquels nous nous trouvons? J'ai cherché à rapprocher les risques des différents pays, pour essayer de voir par ses résultats si un système n'est pas supérieur à l'autre. Je dois avouer que mes recherches n'ont pas été fructueuses. En dehors de nos statistiques françaises, où nous classons les chaudières par catégorie, mes recherches ont été à peu près nulles. En Belgique, il y a les explosions, mais pas par catégorie. Il est nécessaire d'avoir l'effectif par catégorie. En Allemagne, j'ai bien trouvé la statistique des explosions, mais pas celle des appareils à vapeur eux-mêmes.

Incidentement, je propose au Congrès un premier vœu : c'est que chaque État publie annuellement des statistiques, par catégorie d'appareils, de l'effectif des appareils à vapeur, de leurs explosions, de leurs victimes, en distinguant les tués et les blessés. Je suis convaincu que, sous

ce rapport, le Congrès se ralliera à la proposition que je ferai en terminant.

Quoi qu'il en soit et bien que je n'aie pas pu me faire une idée exacte à l'étranger de ce que j'appelle le risque de l'accident d'appareil à vapeur, je l'ai pour la France. Je ne prendrai que le nombre de tués ; car le nombre de blessés varie de façon si variable qu'il est presque impossible d'en faire une statistique ; vous savez tous d'ailleurs qu'en matière de statistique d'accidents, pour toutes les industries, c'est par tués que l'on compte.

Pour l'ensemble des appareils à vapeur, je ferai ressortir le nombre de tués par 1 000 appareils, bien qu'en général ce soit par 1 000 ouvriers qu'on compare les industries, au point de vue des accidents.

Pour la période allant de 1876 à 1880, on relève 0,39 tués par 1 000 appareils ; de 1881 à 1885 : 0,37 ; de 1886 à 1890 : 0,25 ; de 1891 à 1895 : 0,19 ; de 1896 à 1898 : 0,16. La courbe va en descendant.

Je sais bien que ces chiffres se rapportent à l'ensemble des appareils à vapeur. D'après un rapport de M. Compère que nous avons en main, la statistique, pour les chaudières à petits éléments, est moins favorable ; la statistique des tués, pour ces appareils, est de 1,20 par 1 000 appareils.

Je disais qu'il fallait comparer ce risque des appareils à vapeur avec le risque des autres industries. Dans les autres industries on parle par 1 000 ouvriers. Je crois qu'on ne serait pas loin de la vérité en comptant un ouvrier par appareil.

Si vous prenez nos statistiques françaises, je vois que nous avons 55 000 établissements ayant des appareils à vapeur. Dans ces 55 000 établissements, se trouvent 85 000 chaudières. Ces chaudières sont conduites par un nombre inférieur de chauffeurs ; mais vous savez tous mieux que moi qu'il n'y pas seulement le chauffeur qui

soit exposé, dans les accidents d'appareils à vapeur; il y a encore d'autres ouvriers. Je crois qu'en comptant un ouvrier par appareil à vapeur, je suis plutôt modéré. Ma conclusion est celle-ci; c'est qu'en somme, pour la France, le risque de 0, 16 par 1 000 appareils ou 1 000 ouvriers est un des risques les plus faibles de l'industrie.

J'ai là sous la main l'ensemble des industries placées par catégorie de risques; il en résulte que, sur les 33 séries dans lesquelles l'ensemble des industries peut se placer, les appareils à vapeur arriveraient au 26^e rang.

Par conséquent, la conclusion est, pour ce qui concerne la France, que dans l'ensemble de son organisation, le risque d'accidents d'appareils à vapeur est relativement très faible. Qu'est-il dans les autres pays? Je n'ai pas pu le vérifier, je vous le disais. D'après les statistiques industrielles d'Allemagne publiées tous les ans, il ne me paraît pas y avoir plus de victimes en Allemagne qu'en France. D'après le tableau que j'ai là, depuis 1875 jusqu'à 1898, le chiffre de tués varié de 10 à 20 par an. Je crois que ce chiffre est comparable avec celui de la France. J'ai lieu de croire qu'il y a, en Allemagne, plus de chaudières qu'en France, d'après l'état de son industrie.

La conclusion que j'en tire, c'est qu'en somme, dans les différents pays, avec les diverses organisations existantes, on arrive à une sécurité des appareils à vapeur qui ne laisse pas d'être excessivement grande. Je crois qu'il y aurait inconvénient à exagérer les mesures de nature à assurer les observations de dispositions qui sont reconnues nécessaires pour l'emplacement et le fonctionnement des appareils à vapeur. Comme M. Sauvage le disait dans un rapport que nous aurons à entendre: toutes les fois qu'une formalité administrative n'est pas indispensable, toutes les fois qu'on peut faire une chose par le seul concours des intéressés et qu'il n'y a pas obligation indispensable de l'intervention de l'État, je crois qu'il vaudra mieux

s'en dispenser. Que voyons-nous dans les différents pays ? Nous voyons des contrées où la surveillance des règlements, l'inspection est en quelque sorte exclusivement administrative, faites par les fonctionnaires de l'État ; non seulement on leur confie la surveillance, mais les opérations elles-mêmes que nécessite le fonctionnement des appareils, par exemple, les visites et les épreuves. Ailleurs, au contraire, comme M. Walther-Meunier vient de l'exposer, nous voyons une tendance de plus en plus marquée à laisser toutes ces opérations aux Associations. Le pays où ce régime me paraît s'appliquer plus spécialement est l'Alsace-Lorraine.

Quel que soit le mode de surveillance qu'on emploie, il semble, d'après les renseignements vagues que nous avons, que le résultat, au point de vue de la sécurité, soit le même. Par conséquent, je me demande si le Congrès n'est pas placé d'une façon exceptionnelle pour indiquer aux pouvoirs publics si ce n'est pas dans le sens que je viens d'indiquer en dernier lieu qu'il faut orienter le mode d'application des règlements.

C'est dans cet ordre d'idées que je voulais attirer l'attention du Congrès. Notez bien que je ne dis pas de remettre absolument l'application des règlements aux Associations ; j'ai eu soin de dire que je reconnais qu'il y a certains actes qui, nécessairement, devront toujours être faits par l'État. Ainsi, par exemple, en Angleterre, malgré le régime de liberté complète, comme disait M. Olry, régime qui, d'après la lettre qu'on nous a lue, paraît toutefois devoir rester moins absolu, la loi de 1882 a conservé l'enquête sur les accidents. Pourquoi ? Parce que c'est par l'enquête que les pouvoirs publics peuvent rechercher ce qu'il faut mettre dans les règlements ; et par conséquent, c'est un point que l'administration ne peut abandonner. Mais, il y a d'autres points qu'elle peut abandonner sans aucune espèce de crainte ; je ne parle

pas des visites intérieures et extérieures, puisque le gouvernement français y a renoncé; il a gardé l'épreuve et il a abandonné les visites; eh bien, de même, je crois qu'on pourrait aussi examiner s'il ne pourrait pas abandonner les épreuves, — et je ne parle pas seulement des appareils anciens, mais peut-être même les épreuves des appareils neufs.

Sans vouloir entrer dans les détails, le point sur lequel je résume mes observations est celui-ci : je propose que le Congrès examine s'il n'y aurait pas lieu, pour lui, d'émettre un vœu dans le sens que je viens d'indiquer : développement des Associations, augmentation de leurs attributions dans tout ce qui n'est pas opérations de l'État. En proposant ce vœu au Congrès, je ne fais que le rattacher à celui qui, sur le rapport de M. Olry, a été présenté à Milan au Congrès des Accidents du travail. Prenant la question d'une façon plus large, le Congrès de Milan de 1894 a émis le vœu suivant :

« Le Congrès émet le vœu que, pour réaliser dans les
« meilleures conditions possibles la prévention des acci-
« dents du travail, les pouvoirs publics favorisent le déve-
« loppement des Associations créées dans ce but par
« l'initiative privée et qu'ils combinent l'action de l'État
« avec celle des actions libres. »

Voilà le vœu qui a été adopté dans le Congrès de Milan. On a voulu y associer les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur et les Associations de prévention d'accidents. Nous trouvons que ces Associations ont actuellement, dans tous les pays, un certain fonctionnement. Il s'agit d'examiner dans quel sens il y a lieu de modifier ou de développer les termes du vœu du Congrès de Milan.

Je proposerai, comme conclusion, après le vœu que je présenterai pour la statistique des accidents dans les divers pays, celui que je voudrais rédiger ainsi, sauf discussion :

Le Congrès émet le vœu que, pour réaliser dans les meilleures conditions possibles les préventions d'accidents d'appareils à vapeur, les pouvoirs publics favorisent le développement des Associations créées dans ce but par l'initiative privée, et qu'ils combinent l'action de ces Associations libres avec l'action de l'État, en réduisant celle-ci à ce qu'il serait reconnu impossible de ne pas confier aux agents de l'État.

Pour préciser les opérations appartenant à l'État, j'ajoute : en réduisant l'action de l'État à ce qu'il serait reconnu impossible de ne pas confier à ses agents.

Voilà les observations que j'avais à présenter au Congrès. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — La parole est à M. Olry.

M. Olry. — Messieurs, je demande la parole au sujet d'un passage du rapport de M. Walther-Meunier. Il s'agit de la surveillance de la construction des appareils à vapeur par les Associations. M. Walther-Meunier dit que cette surveillance « peut être utile, mais n'est pas indispensable lorsque le travail est fait par une maison dont les bonnes traditions d'exécution sont connues. »

D'autre part, pour les fournitures, il ajoute : « Ce qui vient d'être dit de la fourniture proprement dite, peut être répété en ce qui concerne le montage. »

Tout cela est logique et sage; mais, dans la pratique, les Associations se mettraient dans une situation difficile, si elles faisaient un choix entre les maisons sérieuses qui n'ont pas besoin d'être surveillées, et celles de second ordre pour lesquelles une surveillance est indispensable; il convient donc de placer toutes les maisons de construction sur le même pied, et de surveiller la fabrication partout et en toutes circonstances; cette manière de faire ne peut d'ailleurs être qu'avantageuse aux maisons de premier ordre, qu'elle met à l'abri de la concurrence déloyale qui peut leur être faite.

Je n'avais pas l'intention de parler d'autre chose ; mais, après l'exposé que M. l'Inspecteur général Aguillon a présenté avec tant de talent et d'autorité, je suis amené à lui dire que je ne partage pas complètement sa manière de voir. Je crains que le vœu qu'il propose ne soit, si le Congrès l'adopte, quelque peu platonique. Certes, il est conforme au bon sens ; mais, dans la pratique, en sera-t-il tenu compte ?

Monsieur l'Inspecteur général, voyez ce qui se passe en France !

Les Associations n'y sont même pas soumises au droit commun ; les quelques faveurs qui leur sont accordées sont achetées par elles au prix de tant de formalités, de tant de lourdes charges, qu'elles réclameraient volontiers la suppression de leurs soi-disant privilèges.

Croyez-vous que votre vœu puisse lutter efficacement contre la tendance qui est, chez nous, d'admettre que rien ne se fait bien que par l'administration ? Voilà pourquoi, Monsieur l'Inspecteur général, je dis que ce vœu est du domaine de la théorie. J'y applaudis, je souhaite qu'il ait des résultats, mais je suis loin d'en être convaincu. (*Applaudissements.*)

M. Aguillon. — Voulez-vous me permettre de répondre un mot ?

Si M. Olry veut trouver une formule un peu plus pratique pour mon vœu, qu'il trouve trop théorique, je serais heureux qu'il voulût bien la présenter. Mais, comme je pensais qu'il fallait être très réservé dans les formes à donner aux vœux, vu le précédent du Congrès de Milan, je n'ai pas trouvé quelque chose de moins platonique que celui que je viens de proposer. Si M. Olry en trouve un autre, je l'adopterai.

Maintenant, M. Olry dit : cela sera platonique. Je ne crois pas. Le bureau du Congrès va envoyer ces vœux

à l'administration, et un vœu de cette nature peut avoir une grande influence sur elle.

M. Olry. — Je n'ai rien à proposer de plus; je trouve que ce vœu est l'expression de la sagesse; mais je n'ai pas la confiance de M. Aguillon dans les effets qu'il peut produire.

M. le Président. — Je ferai une observation tout à l'heure, au nom du Bureau.

M. Arquembourg, *ingénieur de l'Association des Industriels du Nord contre les accidents du travail.* — Je n'ai pas beaucoup plus d'illusion que M. Olry sur le sort qui attend le vœu de M. Aguillon. Je me permets seulement de prendre la parole pour l'appuyer de nouveau, car il me semble qu'après la façon dont il a été commenté par M. Olry, il a une valeur plus considérable. Il faut émettre des vœux généraux, d'après un courant d'opinion; et le vœu de M. Aguillon me paraît conforme et me paraît répondre à cet état d'esprit, qu'un vœu doit chercher à devancer l'opinion publique et amener l'administration à faire quelque chose qu'elle n'aurait pas été amenée d'elle-même à faire. C'est pour cela que j'appuie le vœu de M. Aguillon.

M. le Président. — La question des vœux ne figure pas dans notre règlement; par conséquent, c'est une question qui, avant de recevoir une solution, devra être examinée par le Bureau, afin de savoir ce qu'il y a lieu de faire.

J'ajouterai, Messieurs, en ce qui concerne les vœux, — c'est une opinion personnelle — ayant été à différentes reprises président du Congrès des accidents du travail, que, depuis quelque temps déjà, le Congrès des accidents du travail a repoussé de façon complète l'expression de vœux proprement dits, parce qu'un vœu proposé en cours de session n'est soumis au vote qu'à sa fin, devant

un personnel différent de celui qui se trouvait en séance au moment où le vœu a été porté devant le Congrès et discuté par lui; de sorte que souvent ce sont des personnes absolument différentes qui prononcent le jugement. Pour cette raison, le Congrès des accidents du travail n'émet plus de vœux. Je ne suis cependant pas opposé, pour mon compte personnel, à la proposition qui vous est faite, mais à la condition que son énoncé soit un peu modifié et qu'on y dise que *le Congrès estime qu'il est désirable*, et non pas *émet le vœu*. De cette façon, on n'engagera la responsabilité de personne, et la question sera portée devant l'opinion publique, où elle fera son chemin.

Vous n'y voyez pas d'objection?

La question étant portée devant le Bureau, le Bureau l'examinera et vous fera connaître ensuite sa décision.

Y a-t-il encore des observations sur la deuxième question?

M. Déjardin. — En ce qui me concerne, je me rallie aux observations de M. Aguillon.

Pour la statistique, nous sommes disposés à faire le nécessaire pour qu'elle soit faite sur la même base, dans tous les pays.

En ce qui concerne le rôle des Associations, nous serions désireux de voir les Associations prendre, dans la surveillance des appareils à vapeur, une part plus grande. Je pense que nos avis sont d'ordre international. Nous désirons voir les Associations prendre une part plus active à la surveillance intime et régulière, si je puis m'exprimer ainsi, concernant les appareils à vapeur, laissant de côté les actes administratifs. Seulement, dans les pays comme le nôtre, où il n'existe qu'une Association, au contraire de la France, où il y a autant d'Associations régionales qu'il y a de parties distinctes de pays, il est plus difficile de confier les actes d'administration à une

Association qui, si elle est unique, a ainsi le monopole. C'est pourquoi je crains que ce vœu ne soit, comme l'a dit M. Olry, platonique. Mais sous réserve de cette observation, je m'y rallie.

M. le Président. — Il n'y a pas d'autres observations?

Nous passons à la troisième question. La parole est à M. Compère, pour son rapport sur le *Concours des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur pour les épreuves hydrauliques des appareils à vapeur*.

M. Compère. — M. l'Inspecteur général des mines Aguillon vient de proposer le vœu que les pouvoirs publics favorisent le développement des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, et M. Olry craint que ce vœu ne soit platonique.

La question que je vais avoir l'honneur de résumer devant vous offrira le moyen de trouver déjà une application pratique du vœu de M. Aguillon ; il s'agit de la visite intérieure lors de l'épreuve officielle des générateurs.

Cette visite est imposée par l'administration quand les Associations interviennent dans les épreuves ; cette intervention permet aux ingénieurs des mines de ne pas exiger la démolition complète des maçonneries lors des épreuves décennales.

La préparation et l'exécution de la visite intérieure qui doit accompagner l'épreuve augmentent l'arrêt de la chaudière ; cette opération est parfois coûteuse et il ne manque pas d'industriels qui n'hésitent pas à renoncer à la collaboration des Associations et préfèrent démolir complètement leur maçonnerie.

Il y a là une anomalie pouvant mettre, en matière d'épreuve, les chaudières inscrites aux Associations dans une situation inférieure à celles qui n'en font pas partie.

Cette constatation est loin de rentrer dans les desiderata que M. Aguilon exposait et elle suffirait à justifier les craintes de M. Olry; aussi, comme je le dis dans mon rapport, demandons-nous que l'égalité soit rétablie, et que les appareils des Associations rentrent en quelque sorte dans le droit commun.

Deux moyens peuvent être employés pour cet objet : ou bien dispenser les chaudières essayées en présence d'inspecteurs des Associations de la visite intérieure, ou bien exiger cette visite dans tous les cas.

Nous n'hésitons pas à donner la préférence à cette dernière solution.

L'épreuve légale est en effet impuissante à révéler non seulement les cassures et fissures ayant leur origine en dedans des générateurs, mais encore certaines corrosions, pailles, amincissements, les avaries des tirants et armature, etc,...

MM. Michel Levy et Walckenaer, dans leur rapport sur les épreuves hydrauliques à la Commission des méthodes d'essais de matériaux de construction, l'ont confirmé en proclamant qu'une inspection complète et attentive, inspection qui comporte évidemment une visite intérieure, est le complément indispensable d'un renouvellement d'épreuve.

J'ai d'ailleurs, à l'appui de ces conclusions, fait suivre mon rapport du résumé des observations que notre Association parisienne relève chaque année au cours des épreuves officielles auxquelles elle assiste.

Ces observations confirment la nécessité de la visite intérieure lors des épreuves, aussi insistons-nous pour que l'application de la visite intérieure soit étendue à toutes les épreuves renouvelées, sans exception; cette application est imposée dans le règlement belge de 1884.

Tel est le vœu que nos Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur soumettent au Congrès.

L'obligation de la visite intérieure faite lors de l'épreuve par une personne compétente ne pourrait qu'augmenter, par contre-coup, l'influence des Associations, et dans ces conditions, elle serait une des premières applications du vœu présenté par M. Aguillon.

En terminant mon rapport, j'ai fait ressortir la nécessité de la visite intérieure lors de l'épreuve pour les chaudières d'occasion. Ces appareils sont poinçonnés chez les réparateurs ou vendeurs comme des appareils neufs. Cette égalité de traitement est loin de donner toute sécurité; elle paraît illogique et des mesures de contrôle sévères devraient être exigées pour les chaudières d'occasion. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole?

M. Piepers. — Permettez-moi de donner quelques informations sur la façon dont la question des épreuves est réglée dans les Pays-Bas.

Une épreuve décennale ou autrement périodique n'est pas demandée; seulement l'épreuve est prescrite après une plus ou moins grande réparation, ou bien lorsqu'une chaudière déjà âgée ne se prête guère à une inspection intérieure, ou bien lorsque la maçonnerie a été démolie pour une raison quelconque, que la chaudière a été endommagée par cause d'incendie, par exemple.

Lorsque la mise en service d'une vieille chaudière d'occasion est demandée, une visite intérieure est toujours faite *avant* l'épreuve.

Il y a eu des cas où le contraire a été fait, c'est-à-dire, comme le montre si bien M. Compère, des cas où la chaudière ayant résisté à l'épreuve, fut condamnée après la visite intérieure.

Le cas devient alors difficile pour l'inspecteur, le propriétaire se basant sur le fait que la chaudière a résisté à l'épreuve hydraulique.

Aussi, tandis que la loi de 1869 disait que la permission est accordée après l'épreuve, la loi présente de 1896 parle partout de permission après inspection et épreuve.

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole?

M. Perelli, *ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de Milan.* — J'ai entendu dire qu'à la fin du Congrès on fera le résumé de la discussion, puisque des propositions seront présentées et qu'on les discutera. Pour moi, qui suis Italien, je me demande comment le résumé pourra être réellement un résumé général et international. Il me semble que la discussion a été jusqu'ici sur ce qui se fait en France et je voudrais que les questions soulevées fussent résumées avant la fin du Congrès, de façon que nous puissions voir s'il n'arrive pas qu'un vœu exprimé par le Congrès, peut-être au point de vue français, puisse être contraire à des libertés qu'on ait déjà acquises à l'étranger.

M. le Président. — Je vous ferai remarquer que c'est précisément à cause de cela que j'ai retenu pour le Bureau l'examen de la question; dans cet examen il y aura en effet lieu non seulement de tenir compte de notre législation, mais aussi de la législation des autres pays. C'est toujours à ce point de vue qu'il convient de se placer dans un Congrès international.

M. Marchal, *directeur des travaux de la ville de Châlons-sur-Marne.* — J'ai une simple observation à présenter; ne serait-il pas possible de réunir toutes les circulaires ministérielles françaises qui ont trait aux appareils à vapeur, ou tout au moins de collationner les dates auxquelles elles ont paru?

M. le Président. — Ces circulaires sont publiées dans les *Annales des Mines*.

M. Olry. — Seulement elles sont éparpillées.

Il faudrait que les Associations françaises se préoccupassent de porter à la connaissance de leurs adhérents les circulaires les plus importantes; l'une ou l'autre de ces Associations se fera certainement un plaisir de déférer à ce desideratum, de manière à permettre à tous de posséder les documents nécessaires.

M. Perelli. — Il serait bon que ce desideratum fût étendu à tous les pays, parce qu'il serait utile de faire ressortir les divers règlements et leurs détails d'interprétation.

Je crois que nous nous trouvons à la fin de la discussion. En ce qui concerne les divers régimes des Associations, il suffit, si on ne veut pas faire de vœu, de poser la question du régime qui serait le plus désirable. Je serais bien aise que, dans chaque pays, chaque Association réunisse ses diverses instructions; on pourrait ainsi comparer ce qui se fait dans tous les pays.

M. le Président. — Messieurs, vous voyez que la discussion a été utile; elle a soulevé plusieurs desiderata; ces desiderata, il appartient à chaque pays d'y donner satisfaction.

Pour ce qui concerne la codification des circulaires ministérielles, elle recevra, suivant la promesse de M. Olry, son exécution pour la France (1).

M. Perelli pourrait-il dire que son Association fera de même pour l'Italie?

M. Perelli. — Oui, M. le Président.

M. Déjardin. — En Belgique, chacune des circulaires

(1) La liste des documents administratifs sur les appareils à vapeur en France, avec leurs dates et leurs titres, est publiée dans le présent volume (annexes, page 524).

est envoyée au fur et à mesure de son apparition; en outre, elle est imprimée dans les *Annales des Mines*. Il suffit de les réunir et de les relier pour avoir l'ensemble.

M. le Président. — Maintenant, Messieurs, personne ne demande plus la parole?

Je vous rappelle que, demain matin, il y aura visite à l'Exposition : d'abord au musée des Associations françaises, autrichienne et italiennes de propriétaires d'appareils à vapeur; puis on descendra aux chaudières, pour examiner plus particulièrement leurs dispositifs de sécurité.

Rendez-vous est pris à 9 heures, à l'Exposition collective des Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur, au Palais des Machines, au Champ-de-Mars, classe 19.

La séance est levée à 4 heures et demie.

3^e SÉANCE

Mardi 17 juillet 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE M. LINDER

Président du Congrès.

La séance est ouverte à 2 heures et demie.

M. de Angeli, vice-président, prend place au bureau.

M. le Président. — La parole est à M. Sauvage pour la question des *Épreuves des chaudières exportées*.

M. Sauvage, ingénieur en chef des mines. — Les règlements sur les machines à vapeur qui existent dans les différents pays peuvent avoir, comme tous les règlements, deux modes d'action différents : d'un côté, s'ils augmentent la sécurité, d'autre part, ils introduisent certaines formalités, sont causes de pertes de temps, de dépenses. Je ne viens pas mettre en balance ces deux choses opposées, afin d'en tirer des arguments contre le règlement; je veux, au contraire, aborder une question beaucoup plus simple, beaucoup plus modeste et qui, je crois, ne peut manquer de recueillir l'approbation de toutes les personnes étudiant la question; c'est qu'en conservant le côté utile d'un règlement, c'est-à-dire en conservant toutes les garanties qu'il donne pour la sécurité, il est intéressant de le débarrasser de toute espèce de formalités

pouvant entraîner des pertes de temps, et même des dépenses dans certains cas. A ce point de vue, je désire appeler votre attention sur un cas qui se présente pour certaines catégories de chaudières, et ne laisse pas d'entraîner parfois des inconvénients assez graves : ce sont ces chaudières qui ne peuvent être éprouvées sans un travail de préparation assez considérable ; par exemple, les chaudières complètement munies d'enveloppes et établies chez le constructeur, comme les locomobiles, les chaudières d'appareils mobiles de levage, les locomotives. Ces appareils, complètement terminés chez le constructeur, sont revêtus de garnitures calorifuges et d'enveloppes, de sorte que, s'il est question de faire l'épreuve, il faut les débarrasser de tout ce qui les recouvre. Lorsqu'une telle chaudière quitte son pays d'origine, et par son pays d'origine, j'entends la chaudière sortant de chez le constructeur, car si la chaudière avait travaillé, elle serait nécessairement soumise à l'épreuve ; mais lorsqu'une telle chaudière neuve est exportée dans un autre pays, il est exigé que l'épreuve soit faite suivant les règlements de cet autre pays. Or, dans bien des cas, dans le pays d'origine, il existe déjà une épreuve à la presse hydraulique ; de sorte qu'on se demande s'il ne suffirait pas d'effectuer seulement l'épreuve dans les pays de construction ; et alors, la chaudière étant revêtue des marques constatant que l'épreuve a été faite avec succès, étant accompagnée de certificats officiels, on se demande si cette chaudière ne pourrait pas être admise, sur le vu de ces pièces, sans qu'on soit obligé de procéder à de nouveaux essais. Il n'y aurait plus, dans le pays où elle est expédiée, qu'à la revêtir de signes distinctifs. Il est bien entendu que si, pour des motifs quelconques, l'administration du pays qui reçoit la chaudière jugeait qu'il y a lieu de procéder à une nouvelle épreuve, les agents de l'administration auraient toujours le droit de faire cette

épreuve; et le principe étant admis, ils jugeraient si l'épreuve faite dans l'autre pays leur donne les garanties qu'ils peuvent désirer. Donc, suppression de perte de temps, de dépenses, et aussi, je dirai, suppression de démarches spéciales à faire, en pareil cas; car, s'il est arrivé que de telles chaudières ont pu, dans certains cas déjà, obtenir des dispenses analogues, ce n'est qu'à l'aide de démarches assez longues et de faveurs spéciales, c'est-à-dire en faisant perdre beaucoup de temps, d'une part, à ceux qui demandent la faveur, d'autre part, à ceux qui l'accordent.

Je crois que si les gouvernements veulent être assez libéraux pour accepter comme bonne et valable l'épreuve faite dans un autre pays, il faut qu'ils le fassent sans restriction, c'est-à-dire qu'ils ne subordonnent pas l'obtention de cette faveur à des formalités tellement compliquées qu'on serait en quelque sorte moins bien servi qu'aujourd'hui. Il faut que les choses deviennent de droit, sous réserve de ce qu'on pourrait exiger dans des cas spéciaux. Je crois que si le Congrès voulait appuyer ce vœu, il y a là une question qui présente un intérêt réel, dans certains cas, et qui ne peut pas, je crois, soulever d'objections bien graves.

Je viens vous prier de vouloir bien, par votre approbation, donner du poids à cette proposition. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole ?

M. Compère. — M. Widell, Ingénieur de l'Association suédoise de propriétaires d'appareils à vapeur, à Stockholm, avait demandé la parole après M. Sauvage, mais il est absent aujourd'hui.

M. Sauvage. — Monsieur le Président, je crois savoir que M. Widell avait l'intention de faire une observation

qui s'applique à un cas un peu spécial. Il voulait faire remarquer que, dans les pays où il n'existe aucune réglementation prescrivant l'épreuve des chaudières, la question est sans objet. Par exemple l'Angleterre, l'Amérique, ne sont pas directement intéressées à la proposition.

M. le Président. — Messieurs, personne ne demande plus la parole sur cette question ?

M. Clerault, ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest. — Monsieur le Président, de ce qu'il n'y a pas d'orateur inscrit contre la proposition de M. Sauvage, pouvons-nous admettre que la chose est admise par le Congrès ?

M. le Président. — Il faut déposer un vœu sur le Bureau, et le Bureau examinera s'il y a lieu d'y donner suite.

M. Clerault. — Alors, pouvons-nous considérer la proposition de M. Sauvage comme l'expression d'un vœu, ou devons-nous faire une autre proposition ?

M. le Président. — Elle peut être considérée comme un vœu ; la question sera examinée, puis soumise à l'approbation du Congrès, s'il y a lieu. Le vœu est à la fin du rapport de M. Sauvage ; il est formulé ainsi :

« Lorsqu'une chaudière enveloppée, dont l'épreuve à
« la presse se fait habituellement chez le constructeur,
« sera transportée neuve d'un pays dans un autre, on
« acceptera comme valable (sauf motifs spéciaux) l'épreuve
« officielle faite dans le pays d'origine ; le fonctionne-
« ment de la chaudière sera autorisé sans nouvelle
« épreuve, avec modification du timbre, s'il y a lieu, faite
« en tenant compte de la surcharge d'épreuve. Les

« marques réglementaires seront apposées à côté des
« marques placées dans le pays d'origine. »

Monsieur de Radinger, voulez-vous prendre la parole ?

M. le Professeur de Radinger, *délégué du gouvernement autrichien, vice-président du Congrès*, donne lecture d'une note sur l'emploi d'un élasticimètre dans les épreuves de chaudières. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Je remercie M. de Radinger de son intéressante communication.

Parmi les membres du Congrès, quelqu'un a-t-il des observations à présenter ?

M. Clerault. — Monsieur le Président, la très instructive communication de M. de Radinger m'a d'autant plus intéressé, que je sais avec quel soin se font les épreuves en Autriche, pour les avoir vu faire moi-même et y avoir reçu des chaudières. Mais, il y a un point de sa communication qui me préoccupe ; c'est que certaines chaudières refusées avaient été employées et avaient donné de mauvais résultats. Comment des chaudières refusées ont-elles pu être employées ?

M. de Radinger. — Je suis d'avis, par mes essais, que telle chaudière est mauvaise ; alors je ne donne pas les résultats de l'épreuve. Je retourne les demandes présentées et on va à un autre commissaire pour refaire l'épreuve.

M. Clerault. — Parfaitement, je comprends très bien. Autrement dit, une chaudière refusée par un commissaire peut être acceptée par un autre.

M. de Radinger. — Bien entendu. Il n'y a que la dépense en plus.

M. Sauvage. — Monsieur le Président, encore une

autre question; les questions abondent, parce que le sujet est très intéressant.

Nous avons bien vu comment l'appareil se posait dans un foyer intérieur; il se place d'un côté sur la paroi, et la pointe touche la tôle à l'autre extrémité. Mais, je serais désireux de savoir comment on pose l'instrument pour mesurer la déformation d'une chaudière à bouilleurs.

M. de Radinger. — C'est bien simple; on entoure le bouilleur d'une construction en bois : l'appareil est placé latéralement, la base appuyée sur la construction et la pointe contre la tôle.

M. Clerault. — C'est un peu une expérience de laboratoire.

M. Sauvage. — Je voudrais encore poser une question. Il semble que, dans les expériences de chaudières, la forme rigoureusement circulaire joue un rôle important. Quand les tôles sont assemblées par recouvrements rivés, la forme s'écarte du cercle : n'y a-t-il pas là spécialement des études très intéressantes à faire sur la déformation des parties qui s'écartent du cercle. Où faudrait-il alors poser l'instrument, pour se rendre compte de ces déformations? N'y a-t-il pas lieu de plus de faire des vérifications spéciales, pour voir si les chaudronniers ont bien réalisé la forme d'arc dans la rivure même ?

M. de Radinger donne diverses explications sur ces questions.

M. le Président. — Il n'y a plus d'observations?

M. de Doepp, délégué du gouvernement russe. — Je voudrais demander à **M. le professeur de Radinger**, dans quelle partie on fait l'épreuve. Est-ce dans la moitié, dans le tiers, ou dans le quart de la longueur du foyer intérieur?

M. de Radinger. — C'est indifférent. En général, comme la première virole est la plus dangereuse, étant exposée au feu, c'est sur elle que doit être faite d'abord l'expérience; puis, les viroles successives ayant leurs rivures longitudinales sur une même génératrice, si cette rivure paraît bien faite, on se contente d'une expérience seulement; si la rivure n'est pas régulière, on fait l'expérience sur plusieurs rivures.

M. Sauvage. — Au point de vue des applications possibles de la méthode, pour étudier une chaudière à fond complètement, il est nécessaire de placer l'instrument en plusieurs endroits. Évidemment, avec l'expérience, on reconnaît, pour chaque type de chaudières, quels sont les meilleurs endroits. Je demanderai si, dans la pratique ordinaire des expériences, il est nécessaire de se munir d'autant d'appareils différents que l'on veut palper de points de la chaudière, ou si, au contraire, on se contente d'un seul appareil qu'on transporte de place en place. Alors, chaque fois, on sera obligé de laisser tomber la pression et de recommencer à pomper. Comment convient-il de faire pour opérer d'une façon satisfaisante?

M. de Radinger. — On peut opérer avec un seul appareil; mais, il vaut mieux avoir plusieurs appareils.

M. Vinçotte. — Je voudrais présenter une question à M. le professeur de Radinger. Il paraît attacher une très grande importance au calcul préalable de la déformation; c'est d'après ce calcul qu'il reconnaît que la déformation serait plus grande que ce qu'elle aurait dû être. Or, le calcul préalable de la déformation exige la mesure préalable du diamètre. De plus, le foyer est un ensemble et il faut en relever la déformation d'un bout à l'autre. Pour établir la forme du foyer, il faut d'abord mesurer les diamètres. Or, l'appareil est posé en un point du foyer;

il possède un crayon qui appuie sur la tôle et donne les indications, au centième de millimètre; seulement, pour le premier mesurage, je ne vois pas que cet appareil puisse donner le diamètre. Un foyer n'est pas un corps absolument rond. Comment a-t-on pris le diamètre pour faire le calcul?

M. de Radinger. — Une erreur de 1^{mm} sur le diamètre n'aurait pas une grande influence, parce que le diamètre, dans la formule, est un facteur de grande puissance.

M. Vinçotte. — Je voudrais également poser une seconde question à M. de Radinger; c'est celle de savoir le côté pratique de la méthode. Quand nous avons commencé l'association, en Belgique, les foyers intérieurs étaient de simples cylindres plus ou moins ronds; nous avons préféré le foyer renforcé. Nous avons pris, comme condition, de rechercher les différences de diamètre, mais nous en sommes restés à des mesures arbitraires. Nous avons admis que quand il y a 10^{mm} de différence, nous condamnons la chaudière à être renforcée. Si l'on fait des objections, nous opérons l'essai à la presse; nous avons alors un mouvement sensible, qui est de 1 à 2^{mm}, mais nous ne faisons aucun calcul. Si M. le Professeur pouvait donner quelques indications sur le calcul qu'il a adopté pour les limites de marche des chaudières?

M. de Radinger. — Si l'aiguille revient à zéro, la limite d'élasticité n'est pas dépassée et la chaudière peut marcher en toute sécurité.

M. Vinçotte. — Je ne partage pas l'opinion de M. le professeur de Radinger sur la limite d'élasticité. Quand un foyer travaille jusqu'à la limite d'élasticité, il est à la veille de s'écraser complètement; et, en répétant les épreuves, on a augmenté soi-même l'ovalisation, et il ne faut pas beaucoup pour mettre le foyer en état dangereux;

dans les régions où les foyers ne sont pas renforcés, les accidents proviennent de ce qu'on a eu un foyer près de sa limite d'élasticité et qui en est arrivé à une limite dangereuse.

M. Desjeans, *ingénieur des ateliers de la Compagnie des chemins de fer de l'Est à Épernay*, présente au Congrès quelques observations sur la mesure des déformations des enveloppes de boîtes à feu et des foyers des chaudières de locomotives, lorsque ces chaudières sont allumées et que la vapeur a atteint une certaine pression.

Ces déformations sont extrêmement difficiles à déterminer d'une façon exacte, car les instruments de mesure et les appareils qui les portent, étant placés près de la chaudière, s'échauffent et se dilatent.

M. Terré, *ingénieur de la marine, délégué du ministère de la Marine*. — Dans les chaudières de locomotives et dans les anciennes chaudières de torpilleurs, lors des essais à froid, j'ai appliqué, dans certains cas, une méthode analogue à celle de M. le professeur de Radinger, c'est-à-dire deux réglettes glissant l'une sur l'autre. Les déformations étaient très sensibles. Dans une chaudière neuve et normale, s'il y avait un affaissement du ciel de foyer de 5 à 6 millimètres, on considérait la chaudière comme en bon état. Ce n'était qu'à 10 ou 11 millimètres qu'on considérait la chaudière comme nécessitant une réparation. Par conséquent, la méthode est utile au point de vue pratique et donne des résultats.

M. le Président. — Il n'y a plus d'observations?

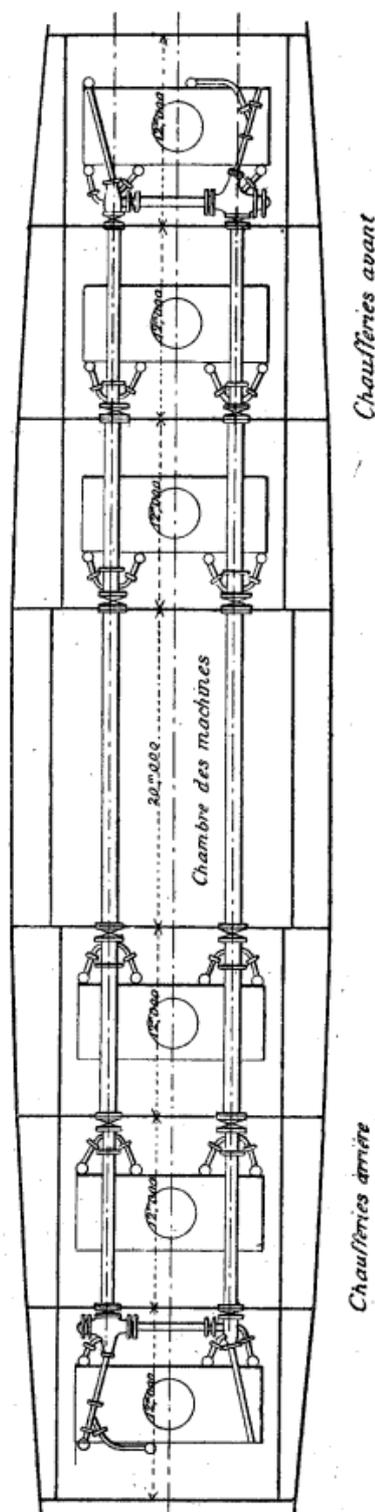
La parole est à **M. Moritz**, pour la communication de son rapport sur les *Dispositions à adopter pour éviter les avaries des tuyautages des appareils à vapeur modernes*.

M. Moritz, *ancien ingénieur de la marine*, donne lecture de son rapport.

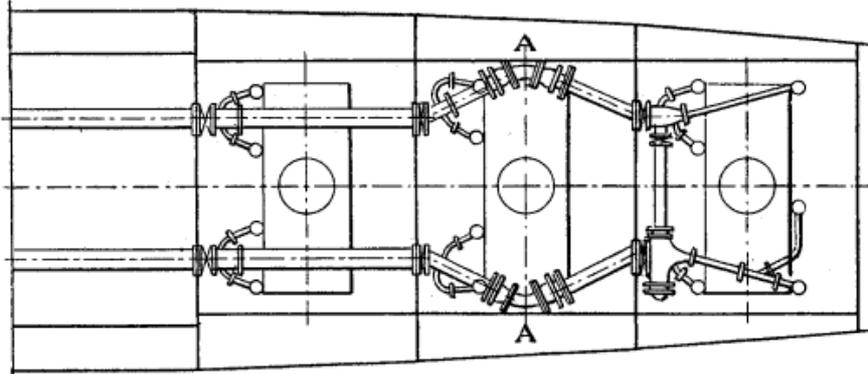
M. le Président. — La parole est à M. Terré.

M. Terré. — Je vous demande la permission, Messieurs, d'ajouter, dans l'ordre d'idées développé par M. Moritz, quelques mots au sujet de ce qui se fait maintenant dans la marine militaire. Il s'agit aujourd'hui d'installer des tuyautages supportant la pression de 20 à 22 kilogrammes et ayant des longueurs de 60 à 80 mètres. — Le schéma de l'installation se présente comme il est figuré ci-contre. Il y a une chambre de machines contenant 2 ou 3 machines, selon le cas. Sur l'avant, 2 ou 3 chaufferies; sur l'arrière, 2 ou 3 chaufferies. La chambre des machines a une vingtaine de mètres de longueur et chaque chaufferie 12 mètres. La puissance varie de 20000 à 30000 chevaux.

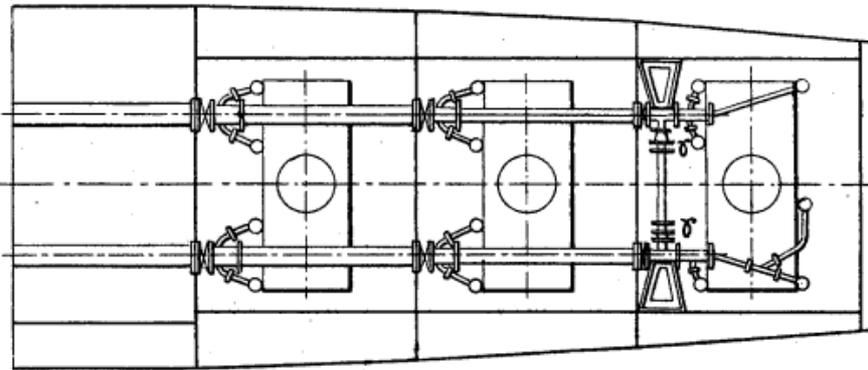
Il faut considérer deux choses : le collecteur de vapeur et les tuyaux reliant chaque chaudière au collecteur de vapeur. D'une façon générale, nous avons aban-



donné, pour le collecteur, le cuivre; nous avons pris l'acier exclusivement, des tuyaux droits et sans soudure. Nous avons réduit le diamètre de ces tuyaux autant que



possible; nous avons 28 à 30 centimètres de diamètre. C'est beaucoup moindre que ce qui se faisait autrefois. Mais comme nous admettons 22 kilogrammes pour la pression



aux chaudières, il est impossible de chercher à cintrer ces tuyaux. Nous avons admis que ces collecteurs iraient jusqu'à l'extrémité des chaufferies en ligne droite.

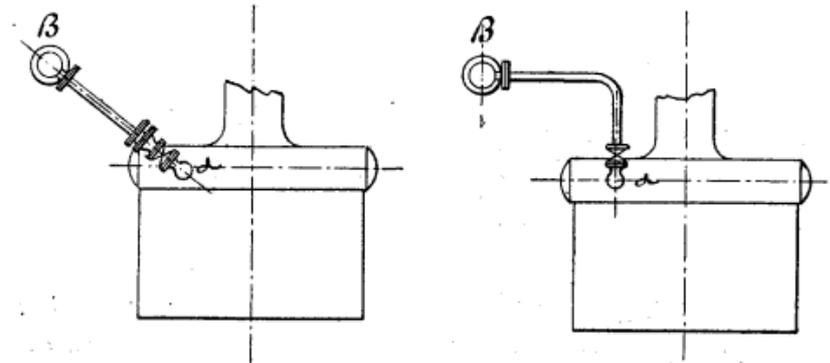
Il y a deux collecteurs : un à bâbord et l'autre à tribord. Les tuyaux sont rectilignes; mais quelquefois, par rapport

à la cheminée, il faut les dévier. On emploie alors la disposition représentée par le croquis ci-dessus :

En A se trouve un point fixe, un coude moulé, avec deux joints glissants. Les tuyaux restent droits. A leur extrémité, les tuyaux des collecteurs sont réunis par une traverse. Dans les anciens bateaux, on avait coutume de mettre un joint glissant en γ , et le tuyau ne tenant plus à cause du joint glissant, on mettait un arc-boutant, qui venait appuyer ce tuyau contre la cloison; ou bien on mettait des tirants pour empêcher le déboîtement des tuyaux.

Cette solution était assez compliquée; nous l'avons modifiée en supprimant le joint glissant γ et en mettant à l'intersection de la traverse et de l'un des collecteurs un joint glissant double : la traverse a ici une lanterne et un fond et se trouve en équilibre; par conséquent, plus n'est besoin d'arc-boutant ni de tirants. La solution pour les grands collecteurs est ainsi pleinement satisfaisante.

Ce qui est plus difficile à installer, ce sont les tuyaux réunissant les chaudières aux grands collecteurs. Je représente ici le grand collecteur de 280 millimètres; la



chaudière est généralement au-dessous, ainsi qu'il est figuré sur le croquis ci-dessus :

Il faut réunir la prise de vapeur α au collecteur β . Si on veut le faire au moyen d'un tuyau droit, comme l'Amirauté anglaise l'a fait récemment, on a certainement une solution très complète, mais compliquée, car elle conduit à multiplier outre mesure les joints glissants. On évite ainsi les chances d'accident, mais on a fréquemment des fuites de vapeur, surtout si le point β où le tuyau individuel de la chaudière vient rencontrer le collecteur ne tombe pas près d'un point fixe de ce collecteur; car le collecteur $\alpha\beta$ tend alors à fléchir et fatigue le joint glissant.

Nous avons cherché dans une autre voie, qui consiste à réunir le collecteur de vapeur à la prise de vapeur de la chaudière par un tuyau coudé.

M. Moritz a expliqué tout à l'heure les calculs auxquels on était conduit pour ne pas dépasser la limite d'élasticité du métal.

Dans le même ordre d'idées, nous indiquerons sommairement une formule très simple qui permet de déterminer le rapport des longueurs des deux branches d'un tuyau coudé, pour que la dilatation de la plus longue de ces branches ne fatigue pas outre mesure l'encastrement de la plus courte.

Cas de l'angle droit. — Soient :

L et L'. — Longueurs des tuyaux en mètres.

D. — Diamètre extérieur des tuyaux en mètres.

f. — Flèche des tuyaux en millimètres.

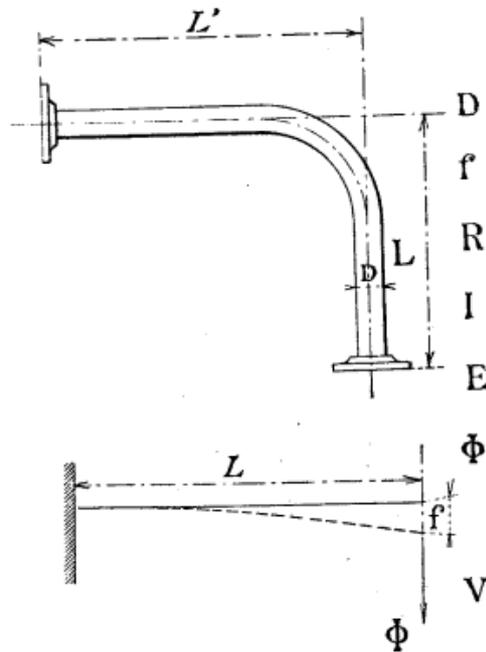
R. — Résistance du métal en kilogrammes par millimètre carré.

I. — Moment d'inertie.

E. — Module d'élasticité.

Φ . — Charge à l'extrémité d'un levier encastré à l'autre bout.

V. — Distance de la fibre neutre à la molécule la plus éloignée.



D'après les formules générales :

$$f = \frac{1}{3} \times \frac{\Phi L^3}{EI} \text{ et } \frac{RI}{V} = \Phi L$$

on déduit :

$$f = \frac{4}{3} \times \frac{L^2}{EI} \times \frac{RI}{V}$$

Relation entre la flèche et la fatigue du métal à l'encastrement.

Si l'on fait $V = \frac{D}{2}$, il vient :

$$\frac{f}{R} = \frac{2}{3} \times \frac{4}{E} \times \frac{L^2}{D}$$

Si D est exprimé en millimètres, on obtient :

$$(\alpha) \frac{f}{R} = \frac{2}{3} \times \frac{1}{E} \times 1000 \times \frac{L^2}{D}$$

Appliquons la formule (α) aux tuyaux en acier. Dans ce cas

$$E = 20000$$

on en déduit :

$$\frac{f}{R} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{10} \times \frac{L^2}{D}$$

d'où :

$$f = \frac{R}{3} \times \frac{1}{10} \times \frac{L^2}{D}$$

Considérons un tuyau formé de deux branches à angle droit. La flèche f de la branche L n'est autre chose que la dilatation de la branche L' .

Si le tuyau est chauffé à 200° , $f = 2$ millimètres par mètre, ce qui peut s'écrire :

$$f = 2L'$$

la formule précédente devient :

$$2L' = \frac{R}{3} \times \frac{1}{10} \times \frac{L^2}{D}$$

d'où

$$\frac{L'}{L} = \frac{R}{3} \times \frac{1}{20} \times \frac{L}{D}$$

Si l'on admet que R puisse atteindre une valeur de 12 kilogrammes, $R = 12$, il en résulte :

$$\frac{L'}{L} = \frac{1}{5} \frac{L}{D}$$

Cas de l'angle obtus. — AC et BC sont deux éléments du tuyau de longueur L et L' . AC se dilate et prend la

Ces deux formules,

$$P = \frac{L' - L \cos \alpha}{\sin \alpha} \text{ et } \frac{P}{L} = \frac{1}{5} \times \frac{L}{D}$$

sont absolument générales et comprennent le cas particulier de l'angle droit $\cos \alpha = 0, \sin \alpha = 1$ (1).

La formule (α) met bien en évidence l'absolue nécessité d'avoir un métal ayant une grande résistance élastique. C'est pourquoi, quand les deux points à réunir par un tuyau coudé ne sont pas très éloignés, comme cela se présente toujours dans une chaufferie à bord d'un bâtiment, on est forcément conduit à employer l'acier, si on veut avoir toute sécurité.

Avec le cuivre, on peut se demander dès lors pourquoi dès les premières chauffes, le tuyau ne casse pas à son encastrement. C'est que les premières fatigues écrouissent le métal. Seulement cet écrouissage finit par disparaître, je ne dis pas après un certain temps, mais après un certain nombre d'allumages et de refroidissements.

Je ne citerai qu'un exemple. Sur un paquebot faisant un service journalier, dont le tuyautage est par suite soumis à des échauffements et refroidissements fréquents, nous avons pris un tuyau A ayant eu une rupture après quatre ans de service et nous avons confectionné avec du cuivre de même qualité un tuyau de forme identique. Sur les deux tuyaux, nous avons soumis à des essais de traction à chaud et à froid les barrettes prises en des points correspondants.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-après :

(1) Les démonstrations des cas de l'angle obtus et de l'angle aigu sont de M. Pierre Delaitre.

Essais de barrettes en cuivre rouge (Essais des 9 et 23 mai 1900).

N ^{OS} des barrettes	SENS	LONGUEUR	LARGEUR	ÉPAISSEUR	SECTION	LIMITE ÉLASTIQUE		CHARGE DE RUPTURE		ALLONGEMENT %	TEMPÉRATURE d'essai des barrettes	OBSERVATIONS
						Totale	par mm ²	Totale	par mm ²			
1	Longueur	100 ^{mm}	45 ^{mm}	4 ^{mm} ,5	202 ^{mm²} ,50	2800	13 ^k ,82	4750 ^k	23 ^k ,45	40	à froid	Tuyau en cuivre rouge de 70 × 80 essayé après avarié. 
2	id.	100 ^{mm}	45 ^{mm}	4 ^{mm} ,97	223 ^{mm²} ,65	3000	13 ^k ,41	5200 ^k	23 ^k ,25	29	à froid	
3	id.	100 ^{mm}	45 ^{mm}	5 ^{mm} ,45	245 ^{mm²} ,25	1200	4 ^k ,89	4750 ^k	19 ^k ,36	33	à chaud à 215°	
4	id.	100 ^{mm}	45 ^{mm}	4 ^{mm} ,85	218 ^{mm²} ,25	1150	5 ^k ,27	3900 ^k	17 ^k ,86	29	à chaud à 215°	
1	Longueur	100 ^{mm}	45 ^{mm}	3 ^{mm} ,9	175 ^{mm²} ,50	2500	14 ^k ,24	4750 ^k	27 ^k ,65	26	à froid	Tuyau en cuivre rouge de 70 × 78 travaillé dans la même forme que celui envoyé pour essais. 
2	id.	100 ^{mm}	45 ^{mm}	4 ^{mm} ,25	191 ^{mm²} ,25	2800	14 ^k ,63	4750 ^k	24 ^k ,83	30	à froid	
3	id.	100 ^{mm}	45 ^{mm}	4 ^{mm} ,05	183 ^{mm²} ,25	2000	10 ^k ,97	3700 ^k	20 ^k ,30	15	à chaud à 215°	
4	id.	100 ^{mm}	45 ^{mm}	3 ^{mm} ,46	155 ^{mm²} ,70	1900	12 ^k ,20	3500 ^k	22 ^k ,50	30	à chaud à 215°	

Il suffit de jeter les yeux sur ce tableau pour se rendre compte que le tuyau neuf conserve, même à 200° une limite élastique appréciable (11 à 12 kilogrammes), ce qui tient à l'écrouissage résultant du travail du métal. Peu à peu nous voyons cet écrouissage disparaître, et après quatre ans à chaud la limite élastique tombe à 5 kilogrammes environ. N'est-on pas amené à conclure que le tuyau en cuivre cintré est voué à une rupture tôt ou tard.

Il faut reconnaître d'ailleurs que les tuyaux coudés en acier n'ont pas tous les avantages; d'abord le coude est très difficile à faire sans que le métal se plisse. Il faut que le rayon du coude ait au moins 6 fois le diamètre; puis les tuyaux d'acier ne peuvent recevoir qu'un seul coude parce qu'ils doivent être inspectés intérieurement de temps en temps et avec plusieurs coudes il y a des parties du tuyau qui sont inaccessibles à l'œil.

Il y a une solution un peu plus complète qui consiste à ne faire subir aucun cintrage, même aux tuyaux individuels des chaudières, comme aux collecteurs.

Quand un coude est nécessaire, on le fait en acier moulé.

C'est une solution plus coûteuse qui présente l'inconvénient de doubler le nombre de joints, mais elle présente toute garantie au point de vue de la sécurité.

En résumé, les collecteurs principaux doivent être toujours en acier composés de parties rectilignes, ayant à une extrémité un point fixe en acier moulé, et à l'autre extrémité un joint glissant en acier moulé.

Pour les tuyaux allant des chaudières aux collecteurs, il convient de les former de deux branches à angle droit; le coude qui les réunit étant obtenu par un cintrage du tuyau sur un rayon au moins égal à 6 fois le diamètre, ou mieux, les deux branches rectilignes étant réunies par un raccord coudé en acier moulé.

M. le Président. — Je remercie M. Terré de sa communication. Je donne la parole à M. Walckenaer.

M. Walckenaer, ingénieur en chef des mines. — Je voudrais ajouter quelques mots aux deux très intéressantes communications qui viennent d'être faites, simplement pour que la liste des points examinés soit complète.

M. Moritz et M. Terré se sont placés au point de vue des formes à donner aux canalisations de vapeur pour empêcher les chocs d'eau et les phénomènes particuliers qu'ils ont analysés. Souvent, lorsque des accidents sont survenus à des tuyautages, on s'est trouvé, dans l'étude des causes, avoir à choisir, pour ainsi dire, entre des phénomènes de cet ordre et des altérations ou des défauts de résistance se rattachant à la nature des métaux employés pour faire les tuyautages. Je ne veux pas du tout diminuer la part des phénomènes tels que les chocs d'eau; il résulte notamment d'une étude que j'ai eu à faire pour un certain nombre de ruptures de boîtes de vannes, que souvent ces ruptures ont pu être attribuées à des défauts de fonte, à des défauts de construction, alors qu'il s'agissait réellement de phénomènes de coup d'eau. Néanmoins, pour les boîtes de vannes, par exemple, il ne faut pas négliger la qualité des matières. Au fur et à mesure que les pressions augmentent, la construction doit se perfectionner pour répondre aux nécessités nouvelles. Telle qualité de fonte qui pouvait donner de bons résultats autrefois doit être aujourd'hui abandonnée. Il y a une bonne tendance dans la campagne poursuivie dans le nord de la France, consistant à remplacer la fonte par l'acier moulé, au moins lorsqu'il s'agit de vannes à installer sur des tuyautages à haute pression.

Si des boîtes de vannes nous passons aux tuyaux eux-mêmes, il y a un certain nombre de mécomptes qui ont été attribués aux difficultés de dilatation dont M. Moritz

a parlé et qui pouvaient provenir aussi des qualités imparfaites des métaux. Il s'est trouvé des tuyautages mis à bord de certains navires, qui ont donné des ennuis sérieux, dès leur mise en service, ennuis répétés qu'on a attribués d'abord exclusivement à des imperfections dans le tracé des tuyaux. On a ajouté des joints glissants, les incidents n'ont pas passé; finalement, on a été conduit à mettre en cause le métal même de ces tuyautages. Le cuivre, et particulièrement certaines qualités de cuivre fabriquées à une certaine époque, ne sauraient convenir indifféremment pour constituer des tuyaux de vapeur, quelles que soient la température et la pression de celle-ci. De sorte que je crois qu'il faut faire marcher les deux choses de pair : étudier les tuyautages dans leur tracé et dans leurs dispositifs de dilatation et de purge, et puis aussi n'employer que des métaux parfaitement appropriés aux pressions et aux températures sous lesquelles les canalisations devront servir. (*Applaudissements.*)

M. Vinçotte. — Messieurs, je veux seulement dire quelques mots sur les conclusions de M. Moritz. Je tenais à appuyer les conclusions du remarquable rapport de M. Moritz, en ce qui concerne les chocs dans les tuyaux d'alimentation. Depuis une quinzaine d'années, chez nous, on alimente les chaudières dans la vapeur; plus de la moitié des chaudières, en Belgique, sont installées avec une telle alimentation. Le but poursuivi dans les locomotives est d'empêcher les corrosions dans les corps cylindriques. Pour les chaudières à foyers intérieurs, nous avons poursuivi la question de la régularisation de la température; car, avec ces chaudières, où il est très difficile d'obtenir l'équilibre de température, il arrive presque toujours qu'on a des fuites à la partie inférieure; on a alors coupé le mal dans sa racine, en chauffant toujours l'eau à son entrée dans la chaudière. Je suis d'accord avec M. Moritz sur l'explication d'un choc produit toutes les

fois qu'un volume de vapeur est enveloppé d'eau à moindre température que lui. Aussi, nous avons pris pour règle d'alimenter de bas en haut. C'est de ce principe que résultent les formes d'appareils employées. Nous avons cherché à combiner l'alimentation dans la vapeur, avec la possibilité d'éviter des incrustations; nous avons mis un baquet au haut de la chaudière; l'alimentation se fait dans le baquet de bas en haut. Dans l'application aux locomotives, qui a été l'une des premières, c'était précisément un défaut d'alimenter de bas en haut. Dans d'autres applications pour foyers, il y a une sorte de chenal où l'eau coule dans la chaudière, de façon à reporter l'alimentation à l'arrière; pour entrer dans le chenal, elle vient de bas en haut; ce dispositif a toujours réussi.

Il y a encore des chocs dans les chaudières, dans une seule circonstance : c'est dans le cas où on alimente trop vite. Lorsqu'une batterie de chaudières est alimentée par une seule pompe très puissante, il arrive qu'il se produit des mouvements; nous avons alors des chocs. Mais il suffit de ralentir un peu l'alimentation pour les supprimer.

Si nous n'avons plus eu de chocs dans les chaudières, par contre, nous en avons eu dans les tuyaux d'alimentation. C'est le seul inconvénient du système. Si les régulateurs d'alimentation sont faits de façon à vider la partie de tuyau alimentée de bas en haut, cela permet à la vapeur de rentrer; des chocs peuvent alors se produire dans la tuyauterie; c'est une question de régulateur d'alimentation à mettre en bon état.

Je voulais simplement appuyer une étude que nous avons suivie dans une voie un peu différente. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — La question qui vient d'être traitée a donné lieu à des communications très intéressantes et à des additions sérieuses au rapport de M. Moritz; elles

constitueront des documents utiles aux spécialistes, qui sauront certainement en tirer parti.

Je donne maintenant la parole à M. Hébert, pour la communication de son *Étude sur les accidents de récipients de vapeur*.

M. Hébert, ingénieur adjoint de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, donne lecture de son rapport. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Messieurs, quelqu'un demande-t-il la parole ?

La parole est à M. Piepers.

M. Piepers. — D'après notre loi de 1896, les récipients de vapeur sont sous contrôle lorsque le produit de la capacité en litres, et de la pression en kilogrammes par centimètre carré, excède le chiffre 600; ceci regarde les récipients servant à élaborer des matières ainsi que les cylindres-sécheurs et autres où il n'entre que de la vapeur.

Dans les dernières années, nous avons eu un petit nombre d'accidents de récipients, comme l'explosion d'un monte-jus en fonte, à cause de corrosion intérieure : l'appareil ne se prêtait pas à l'inspection intérieure; — dans un cylindre-sécheur de papeterie à fonds plats, un des fonds a éclaté en morceaux, par suite d'une ancienne cassure et peut-être par la présence d'eau de condensation.

Je puis ajouter qu'une commission royale siège maintenant pour considérer s'il y a lieu de conseiller un changement dans le règlement existant; soit en faisant une distinction entre les récipients qui ne reçoivent que de la vapeur, et ceux en général plus dangereux servant à élaborer des matières, soit en tenant compte de formes offrant plus ou moins de résistance et de la pression de la vapeur.

Ainsi pour les cylindres-sécheurs, on pourrait fixer un produit excédant 600; ou bien pour les autres appareils un produit moindre.

Aussi on pourrait décréter que les appareils libres, dont le produit nommé ne dépasse pas le chiffre voulu, doivent tous être munis d'une soupape de sûreté.

Quant aux cylindres-sécheurs en cuivre soudé, à mon avis il est difficile de les défendre. Les cylindres de grand diamètre et de très faible épaisseur en tôle galvanisée par exemple sont tous soudés et rivés.

Beaucoup d'appareils ne se prêtent guère à la visite intérieure, lorsqu'il manque une ouverture quelconque; aussi à mon avis les récipients ne peuvent donner autant de garanties contre explosion ou accident que les chaudières. L'épreuve à l'eau froide ne peut donner toujours la garantie suffisante, par exemple dans les corps soudés, comme l'a montré aussi M. le rapporteur. La même chose se présente chez les appareils en fonte, où des défauts venus de fonte peuvent échapper à l'épreuve hydraulique.

Enfin, pour que la soupape puisse suffire à maintenir la vapeur dans le récipient à la pression voulue, des expériences ont montré qu'il faut un très grand diamètre par rapport à celui de la conduite de vapeur. Au lieu d'une seconde soupape, je préférerais un détendeur, lorsque la différence entre la pression dans la chaudière et celle du récipient est notable.

Le détendeur doit être toujours accompagné d'au moins une soupape de sûreté, à mon avis.

M. Walckenaer. — Messieurs, M. Hébert termine son rapport en vous faisant part d'une conclusion d'ordre réglementaire, se demandant s'il n'y aurait pas lieu de soumettre les récipients à certaines conditions d'emplacement et de substituer la prescription de deux soupapes

de sûreté à l'obligation d'une seule. Eh bien, pendant qu'un ingénieur d'Association de propriétaires d'appareils à vapeur vous fait part d'une conclusion visant l'action administrative, je vous ferai part d'un désir relatif au rôle des Associations. Je voudrais voir les Associations étendre, plus largement qu'elles ne le font actuellement, aux récipients de vapeur la si utile surveillance qu'elles exercent sur les chaudières. Par suite de raisons qui ne tiennent pas au règlement même des Associations, mais à des habitudes de l'industrie, peut-être aussi à une certaine hésitation que les Associations éprouvent à se mêler d'une surveillance complexe à laquelle elles ne sont pas accoutumées, il arrive que ce sont presque exclusivement des chaudières qui sont inscrites comme appareils à surveiller, sur la liste de la plupart de nos Associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

Comme l'ont fait remarquer les orateurs que nous venons d'entendre, les récipients à vapeur ne laissent pas d'être soumis à des causes fréquentes d'explosions. Certains d'entre eux sont soumis à des phénomènes spéciaux de détérioration par suite de réactions chimiques; toutefois c'est la minorité. En général, les récipients de vapeur résisteront, pourvu qu'ils soient convenablement construits, bien installés, en bon état, bien surveillés, soustraits aux excès de pression et aux causes ordinaires d'usure; mais, si les règles qui doivent présider à leur construction, à leur conduite et à leur entretien sont relativement faciles à définir, elles ne sont probablement pas suffisamment connues de l'industrie, car il y a de nombreux accidents de récipients à vapeur. La construction laisse souvent à désirer. De grands lessiveurs de papeterie ont été munis de portes de chargement de dimensions considérables, de forme rectangulaire, avec des armatures de fonte. Les fonds des récipients sont loin d'être toujours convenablement

construits. On appelait tout à l'heure, avec raison, votre attention sur la soudure des viroles. Une autre question qui n'est pas toujours bien comprise est celle de la nécessité d'installer aux points convenables des soupapes de dimensions suffisantes pour éviter l'excès de pression dans les récipients à vapeur. Et je pense que nous serons tous d'accord pour renoncer à cette idée dont on trouve trace dans le règlement français du 30 avril 1880, qu'une soupape devrait être déchargée ou soulevée à la main pour limiter efficacement la pression. La sécurité n'est obtenue que si les appareils limitant la pression sont automatiques et efficaces par eux-mêmes; les soupapes peuvent l'être si elles sont convenablement calculées et installées. Quant aux détendeurs, il ne faut pas oublier que si un détendeur peut réduire au taux voulu la pression d'une vapeur qui s'écoule, il doit généralement être tenu pour suspect de ne pas s'opposer à l'élévation de la pression quand la vapeur atteint un régime statique. Enfin, les purgeurs automatiques ne doivent nullement être regardés comme des appareils limitateurs ou réducteurs de pression. Il y a là des questions sur lesquelles l'industriel n'est pas toujours suffisamment éclairé. Je crois que, si les membres du Congrès qui s'occupent des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur veulent étudier ces questions, ils ont de grands services à rendre.

Je ne sais pas si la surveillance des récipients de vapeur est l'objet des soins des Associations étrangères; mais on doit souhaiter de voir se développer dans ce domaine l'action des Associations françaises. Hier, un membre éminent du corps des mines souhaitait de voir l'Administration française faire coopérer le plus possible à sa mission de sécurité les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur; c'est un vœu procédant du même ordre d'idées que je vous apporte. Je souhaiterais de

trouver, pour les récipients de vapeur, cette aide qui est donnée à l'Administration des mines, en matière de chaudières, par les Associations. (*Applaudissements.*)

M. Chevalet. — Je voulais dire un mot au sujet des récipients à vapeur.

Depuis une trentaine d'années, j'ai occasion de monter des appareils dans l'industrie chimique, et je suis arrivé à cette conclusion qu'il ne faut pas attribuer aux soupapes de sûreté la sécurité qu'elles ne donnent pas ; dans certaines industries où l'on travaille des matières pouvant attaquer le métal des soupapes, on réclame deux soupapes : dans ces industries, en mettrait-on dix, elles seraient toutes sans efficacité.

Pour les appareils d'ammoniaque, on ne peut pas mettre de soupapes de sûreté en bronze ni en cuivre, parce qu'elles seront détruites ; si vous les mettez en fer ou en fonte, elles se soudent. Pour ma part, dans mes appareils d'ammoniaque qui ne marchent pas à une pression très élevée, j'ai mis des tubes de sûreté, c'est-à-dire des tubes suffisamment gros, qui plongent dans le liquide. A un moment donné, quand le tube était crevé, il crachait d'ailleurs dans un réservoir pour qu'il n'y ait pas d'acide projeté ; ce crachement avertissait à temps. Je ne me conforme pas au règlement du décret de 1880, mais je crois être plus prudent en mettant des soupapes de ce genre.

M. Pierrel, *ingénieur de la Compagnie Babcock et Wilcox.* — Un seul mot, Messieurs. Je suis heureux de féliciter M. Hébert de l'important travail qu'il a présenté ; je voudrais y rattacher des remarques sur les tuyauteries de vapeur de grand diamètre.

La question si intéressante des avaries dans les tuyautages à vapeur vient d'être traitée par M. Moritz avec une haute compétence. Je suis heureux de pouvoir me déclarer absolument d'accord sur tous les termes de ce tra-

vail et je profite de cette circonstance pour insister tout particulièrement sur les résistances que doivent présenter les tuyauteries.

Le phénomène de la condensation est en effet l'origine d'une grande partie des avaries survenues dans les tuyautages de vapeur. Les sécheurs ne pouvant se multiplier dans une installation, il est impossible d'éviter, malgré toutes les combinaisons, des accumulations d'eau dans certains tuyaux.

Dans ces conditions, malgré des purges automatiques ou à la main, on assimile ces tuyaux à des sécheurs de vapeur quand la purge peut laisser l'eau s'accumuler à l'intérieur des tuyaux. Or, si l'on considère les efforts de dilatation, auxquels sont individuellement soumis les tuyaux et leurs joints, il est aisé de se rendre compte que la fatigue du métal du tuyau est plus forte que la fatigue du métal d'un sécheur, lequel, par son poids et son assise, ne subit pas les vibrations, si dangereuses à la texture d'un métal quelconque.

D'autre part, en nous basant : 1° sur ce que les forges livrent en longueurs courantes de 5 à 6 mètres de longueur; 2° de ce que par mesure économique les constructeurs emploieront ces tuyaux dans toute leur longueur pour éviter un grand nombre de joints qui sont aussi autant de chances de fuites; 3° que dans ces deux premières conditions, tous les tuyaux au-dessus de 160^{mm} de diamètre

$$\frac{0,160^2 \times \pi}{4} \times 5^m,000 = 0^m,101$$

donnent une capacité de plus de 100 litres, nous considérons qu'il serait prudent d'assimiler les tuyaux de grandes capacités aux sécheurs, et formons le vœu que l'Administration des mines classe par la suite ces deux

catégories d'appareils dans les récipients soumis à la réglementation en vigueur par le décret du 30 avril 1880 dans son article 30.

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole?

M. Perelli. — Notre règlement impose une soupape de sûreté sur les récipients sans s'occuper si elle peut fonctionner ou non; il n'impose pas les détendeurs.

J'estime que, dans ces questions, les règlements devraient laisser plus de liberté; la soupape de sûreté sur le récipient peut être inutile, tandis que le détendeur suivi d'une soupape de sûreté sur la conduite peut être dans certains cas le seul moyen pour ne pas dépasser la pression du timbre.

Puis, pour répondre à M. Walckenaer, je dirai que les récipients ne sont pas des appareils si simples qu'on croit.

Ainsi, pour les clouures, les réactions chimiques qui s'opèrent dans certains récipients, rendent préférables les rivures à double couvre-joint à celles à recouvrement. De plus, ces récipients étant alternativement chargés et déchargés de pression, il en résulte qu'ils sont soumis à des déformations fréquentes et à des corrosions par flexions alternatives dans la courbure des fonds.

Les récipients de vapeur présentent beaucoup d'intérêt, parce que les défauts, s'il y en a, deviennent plus rapidement dangereux que dans les chaudières.

M. Walckenaer. — Messieurs, je viens d'écouter avec grand intérêt ce qu'a dit M. Perelli et je ne voudrais pas qu'il parût y avoir entre nous la moindre contradiction au sujet de la complexité des questions que soulève l'emploi des récipients. J'ai dit que le plus grand nombre des récipients n'ont à résister qu'à des causes de détérioration purement physiques, mais ces causes, simples dans leur

nature, sont parfois complexes dans leurs effets, et M. Perelli a raison de signaler, parmi ceux-ci, les flexions produites par les variations de pression. Puis, dans certains cas, il y a les actions chimiques. Le tout comporte des questions souvent délicates, d'autant plus que, pour nous, le sujet est plus neuf; l'industrie se transforme; il y a des procédés nouveaux donnant lieu à des appareils nouveaux. Ainsi dans la papeterie, les grands récipients à revêtement céramique se trouvent, pour l'entretien, dans des conditions toutes spéciales. Les caisses évaporatoires des sucreries ont aujourd'hui parfois des diamètres énormes; il suffit alors d'une pression de vapeur ne dépassant que très peu la pression atmosphérique pour exercer des pressions totales considérables sur les fonds, qui sont d'autant plus difficiles à construire qu'il y a des dégagements de vapeurs ammoniacales forçant à renoncer au bronze. Tout cela ne fait que corroborer ce qu'on vient de dire.

Il semble résulter de ce que dit M. Perelli, que l'Administration des mines, en Italie, exige que la soupape de sûreté dont on munit un récipient soit toujours sur l'appareil même. Je dois dire à l'honneur du règlement français qu'il laisse la faculté de placer la soupape en un point quelconque de la conduite de vapeur entre la chaudière et le récipient, ce qui permet de la mettre là où elle n'est pas en contact avec les produits élaborés dans le récipient.

Je crois qu'il ne faut pas supprimer la soupape; il faut au moins une vaste soupape, bien installée; c'est nécessaire pour prévenir l'excès de pression, cause d'accident à laquelle les récipients sont particulièrement sujets. (*Applaudissements.*)

M. Perelli. — Notre règlement édicte que toute chaudière doit avoir deux soupapes de sûreté, et en impose

une seule pour les récipients. Dans une fabrication de silicate où il y avait trois récipients, j'ai mis trois soupapes sur la conduite.

M. le Président. — Messieurs, les observations présentées montrent à quel point la question des récipients est importante et intéressante, et combien il est indispensable que ceux qui emploient ces appareils, de même que ceux qui sont chargés de les surveiller, portent la plus grande attention, non seulement sur leur mode d'emploi, mais aussi sur leur construction et sur l'adjonction des appareils de sûreté. Je vous convie, Messieurs, et surtout les membres des Associations et les ingénieurs d'État chargés du service de la surveillance, à porter votre plus grande attention sur la question des récipients.

Quelqu'un a-t-il encore quelque chose à ajouter à ce qui a été dit? Il n'y a pas d'autres observations?

La séance est levée à 5 heures et demie.

4^e SÉANCE

Mercredi 18 juillet 1900 (matinée).

PRÉSIDENCE DE M. LINDER

Président du Congrès.

La séance est ouverte à 9 heures un quart.

M. le Président. — La parole est à M. Herscher pour la communication de son rapport sur la *Sécurité et l'hygiène des chaufferies*.

M. Herscher, ingénieur des mines. — Messieurs, je m'excuse à l'avance de ne pas apporter d'idées très précises. Je crois qu'il est difficile d'aboutir à des conclusions nettes et qui puissent être appliquées à tous les cas variables suivant les divers types de chaufferies. Je m'excuse donc du peu de précision de mes conclusions, mais je crois néanmoins que le Congrès pourrait faire œuvre utile, en les appuyant de son autorité.

M. Herscher résume ensuite son rapport. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Messieurs, quelqu'un demande-t-il la parole ?

M. Marchal. — Je n'ai qu'une simple observation à présenter. M. Herscher a dit que, dans les niveaux d'eau,

les clapets de retenue pouvaient avoir des inconvénients. Je voulais demander s'il y avait des cas où ces clapets de retenue n'aient pas fonctionné.

M. Herscher. — Je dis que, dans bien des cas, on a vu fonctionner ces appareils, sans qu'on le leur demande. C'est un petit inconvénient pratique.

M. le Président. — A-t-on à présenter d'autres observations?

La parole est à M. Vinçotte.

M. Vinçotte. — Messieurs, je viens seulement confirmer ce qu'a dit tout à l'heure l'orateur précédent.

Je parlerai d'abord de la protection contre la rupture des niveaux-indicateurs. Pour moi, les clapets de retenue d'eau et de vapeur n'ont aucune efficacité. Le danger, dans la rupture du verre, c'est la projection d'éclats de verre, surtout dans la figure du chauffeur. Or, ce danger est le même, qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de clapet de retenue.

Nous avons été conduits à nous occuper de cette question, par un accident arrivé à un chauffeur, pendant une inspection; notre inspecteur avait demandé de vérifier son indicateur et il venait de lui dire : Prenez garde, ne vous mettez pas si près de l'indicateur. Le verre a sauté et l'homme a été blessé. Il s'est produit ensuite au autre accident. Depuis lors, nous exigeons, pour les nouvelles chaudières, que le chauffeur soit défendu contre la rupture du verre, par un bouclier formé d'une plaque de verre transparente. Ce dispositif est satisfaisant. Il y a des boucliers qui cassent de temps en temps, mais sans danger, car il n'y a pas de projection du bouclier. Je crois donc que, non seulement la protection au moyen d'un bouclier est une bonne chose, mais j'estime qu'elle devrait être rendue obligatoire.

D'une façon générale, je ferai remarquer que, pour ces

petits accidents, le nombre des victimes est plus considérable que pour les explosions proprement dites. On est arrivé à supprimer beaucoup d'explosions ; mais beaucoup de petits accidents ne passent même pas dans la statistique ; il n'y a guère que l'action judiciaire qui les fasse connaître.

A l'Association belge, il y a eu plus de morts d'hommes par des accidents de vapeur que par des explosions. Ainsi, avec des accidents de soupapes, par un brusque dégagement de vapeur, même dans un local ouvert, la moitié du public sera tué ; il ne sera guère sauvé que par la hauteur de la salle. Petit à petit l'air est expulsé, la température monte, et si l'on arrive au moment où la température dépasse 70°, l'homme est perdu. Des accidents de cette espèce, nous en avons un certain nombre, dans des locaux fermés, et dans des locaux tout ouverts. Ainsi dans beaucoup de grandes batteries, on enlève les cendres par un canal souterrain ; je connais trois cas où les hommes ont été tués. Dans d'autres cas, des hommes ont été brûlés dans les carneaux, parce qu'ils faisaient le nettoyage de la chaudière voisine ; il est arrivé de la vapeur en quantité suffisante pour produire la température qui les a tués.

Relativement à l'article du règlement belge d'après lequel les chaudières doivent être installées de façon qu'il n'y ait pas de danger pour les chauffeurs, il est assez ancien et trop laconique ; des discussions comme celle d'aujourd'hui sont vraiment nécessaires pour permettre de préciser davantage. La rédaction du règlement est trop vague ; c'est une espèce de menace par laquelle on invite l'industriel à prendre lui-même toutes les précautions voulues. Je ne crois pas que l'action gouvernementale a été très forte, et je me rallie pleinement aux conclusions de M. Herscher. D'abord, il faut beaucoup d'issues, et des issues rapides, même dans un local tout ouvert ;

le chauffeur doit pouvoir s'en aller sans passer devant un jet brûlant. Un autre système à recommander, c'est deux issues, l'une à gauche, l'autre à droite, de façon que le chauffeur puisse s'en aller rapidement. (*Applaudissements.*)

M. Déjardin. — Je demanderai la parole pour compléter ce que vient de dire M. Vinçotte. Pour ce qui concerne l'Alsace-Lorraine et la Belgique, M. Herscher a fait une légère erreur, en nous montrant ces pays comme soumis au régime d'autorisation. Ce régime est un régime mixte. Quand il y a demande d'autorisation d'établissement de chaudière à vapeur, si elle ne soulève aucune opposition, cette demande d'autorisation vaut permission; il est donné acte au demandeur de sa demande, et c'est sa déclaration qui remplace les formalités; de sorte que l'administration ne fait que voir la chaudière quand elle est installée; elle se contente de constater, par un procès-verbal, que la chaudière satisfait aux prescriptions réglementaires. Elle arrive donc trop tard pour faire modifier les dispositions défectueuses qui auraient été prises par l'initiative privée.

En ce qui concerne la disposition de l'arrêté royal de 1886 en Belgique, il ne faut pas perdre de vue que le règlement de police sur les chaudières à vapeur de 1884, ne prévoyait pas la sécurité du personnel, et l'arrêté en question a surtout en vue de remédier aux inconvénients pour la sécurité et la salubrité du voisinage. C'est incidemment qu'on a ajouté ce qui a trait à la sécurité du personnel; d'autant plus que nous n'avons pas de mesures législatives. Mais, depuis lors, le temps a marché; nous sommes armés, depuis l'année dernière, par une loi générale qui permet au gouvernement de prescrire, dans toutes les industries et entreprises commerciales et industrielles, des mesures en faveur de l'hygiène et de la

sécurité des travailleurs. Cette loi vient d'être votée il y a quelques mois; on prépare, pour le moment, à l'Inspection du travail, des arrêtés royaux d'exécution. Il n'est pas impossible, étant données notamment les observations du Congrès, que je me fais fort de reporter à mon gouvernement, qu'en ce qui concerne la sécurité et l'hygiène, certaines dispositions de cet arrêté ne soient pas prises en conséquence. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Il est certain que, dans plusieurs pays, et notamment en France, quand on veut remédier à la mauvaise installation d'une chambre de chauffage, il n'existe rien dans les règlements qui permette d'agir directement. Toutefois, dans certains cas, où les intéressés demandent une dérogation d'emplacement, par application de l'article 35 du décret de 1880, l'administration veut bien autoriser l'installation projetée, mais à condition qu'on prenne telle mesure nécessaire pour améliorer la chaufferie. Comme, en général, les intéressés tiennent à obtenir la dérogation qu'ils sollicitent, ils font ce qu'on leur demande.

Dans les cas où l'installation est faite selon les règlements, les organisateurs des chaufferies devraient s'inspirer des prescriptions de l'Administration pour les installations en dérogation d'emplacement. Il semble qu'à ce point de vue, le vœu émis par les conclusions du rapport de M. Herscher est parfaitement justifié.

Je demanderai à M. Perelli, en ce qui concerne l'Italie, s'il verrait une objection quelconque à ce qu'on adoptât les conclusions du rapport de M. Herscher.

M. Perelli. — Aucune.

M. le Président. — Je ferai la même question aux autres membres étrangers du Congrès. (*Acquiescement.*)

M. le Président. — La question sera donc examinée et

le vœu de M. Herscher sera ajouté à la série de ceux déjà émis.

M. Piepers. — Je voulais seulement dire que, d'après la loi de 1896, chez nous, en Hollande, les indicateurs sont en verre. Quant à l'installation des chaufferies, ce sont les inspecteurs du travail qui peuvent donner les instructions nécessaires pour la sécurité. Quant à nous, les inspecteurs des chaudières, nous n'avons à voir que les accessoires, que les chaudières soient bien dégagées et accessibles.

M. le Président. — Il n'y a pas d'autres observations à présenter? Nous passons à la question suivante.

M. Bonnin est souffrant et demande à un de ses collègues de vouloir bien prendre la parole à sa place, pour donner communication de son rapport sur les *Garanties à exiger des mécaniciens et chauffeurs*.

M. des Mazis, secrétaire adjoint, donne lecture du rapport de M. Bonnin.

M. le Président. — M. Piepers a la parole.

M. Piepers. — Je vais traiter seulement la question de l'examen des mécaniciens. En Hollande, la loi réglant la sécurité dans les ateliers demande un âge minimum de 16 ans, pour pouvoir conduire une chaudière.

L'examen des mécaniciens est facultatif pour les navires de mer; en attendant une loi qui l'exige la majeure partie des armateurs n'accepte que des mécaniciens diplômés.

Nous avons 3 diplômes : A, pour 2^e mécanicien des bateaux à marchandises et passagers, excepté ceux des grandes lignes; B, pour 1^{er} mécanicien de ces vaisseaux ou 2^e des grandes lignes; C, pour les premiers mécaniciens des grandes lignes, comme celle des Indes et la Transatlantique.

Les devoirs et les garanties à exiger des mécaniciens de la marine marchande sont, à mon avis, tout autres que pour les mécaniciens ou chauffeurs de la navigation fluviale ou dans les ateliers. Pour les premiers, la sécurité du navire dépend pour beaucoup de leur aptitude et de leurs connaissances des machines et chaudières, et maintes fois il faut faire des réparations en mer.

Pour les autres mécaniciens ou chauffeurs, un examen me semble tout à fait superflu, du moins considéré sous le rapport de la sécurité; sous ce rapport, on peut dire qu'il suffit que la personne en question sache qu'il est défendu de surcharger les soupapes, et qu'il doit maintenir le niveau d'eau réglementaire. Toute autre connaissance est sans doute désirable, mais sert plutôt à l'emploi économique de la vapeur ou du combustible; à mon avis l'État n'a pas besoin sous ce rapport d'intervenir entre le patron et son employé.

M. Perelli. — Dans l'Italie, sous le régime du règlement de 1890, les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur pouvaient donner un certificat aux chauffeurs. Maintenant on a modifié le règlement.

Puisque nous parlons du certificat, permettez-moi de dire quelques mots sur cette question.

Le certificat doit être donné, et devait être donné auparavant, à la suite d'un examen. Qu'est-il arrivé, quand il a été permis aux Associations de donner le certificat? En général, on se présentait chez le propriétaire qui demandait l'examen de son chauffeur; on voyait la chaudière, on faisait quelques demandes; si le chauffeur n'était pas intelligent, nous recherchions tout au moins la diligence, le sérieux; nous ne cherchions pas de grandes connaissances, mais surtout une conduite bien régulière. Très souvent, les Associations ne donnaient pas de certificat, ou le laissaient en suspens pendant six mois,

un an. A présent, ce sont des commissions nommées par les préfets qui peuvent donner ce certificat. Le candidat doit avoir un an de pratique sous les ordres d'un chauffeur; l'examen se fait devant quatre ou cinq personnes très dignes qui ne peuvent pas demander grand'chose. Tandis qu'avec l'examen du chauffeur devant la chaudière, on le surprend, on ne l'avertit pas, et on arrive à avoir une idée suffisante sur sa diligence.

Le certificat a encore un autre inconvénient. Si un chauffeur possédant un diplôme a été cause, par exemple, d'une explosion, la législation ne permet pas de lui retirer son diplôme.

Un autre inconvénient se produit surtout dans les petites industries, telles que les industries agricoles; très souvent les certificats, tels qu'ils sont donnés, ne représentent pas toutes les qualités que le chauffeur doit avoir. De façon que, si je devais exprimer mon avis sur la question d'autorisation des chauffeurs, je dirais que je trouve suffisant le régime qui existe en Bavière et qui dit que le chauffeur doit être diligent, intelligent et connaître son métier. Toutes les fois qu'un inspecteur s'approche alors de la chaudière pour faire la visite, il doit constater si ces conditions sont remplies; l'inspecteur a le droit de demander l'éloignement du chauffeur qui ne remplit pas ces conditions.

En 1897, quand il s'est agi de modifier notre règlement, j'ai insisté dans ce sens auprès de notre gouvernement; il était de cet avis; ailleurs on ne l'a pas été; pourquoi? parce que quelqu'un qui ne voulait pas de cette modification a fait croire aux industriels que toute la responsabilité leur incombait s'ils avaient à choisir un homme diligent, prudent et intelligent. On a alors retenu le régime précédent des examens et on n'a pas voulu adopter la modification. Dans les autres pays qui donnent la responsabilité au propriétaire, celui-ci peut s'en débar-

rasser parce que, en changeant le chauffeur, il peut demander une inspection, et l'inspecteur peut lui dire qu'il reconnaît son chauffeur capable.

M. des Mazis. — Comme professeur d'un cours pour chauffeurs-mécaniciens, je me permets de présenter quelques observations en mon nom personnel, et pas au nom de M. Bonnin.

Je ne suis pas tout à fait de l'avis de l'orateur qui vient de parler, au point de vue de l'examen; j'estime qu'il peut avoir une certaine importance, et que ce serait une sécurité pour les industriels s'ils avaient un chauffeur qui ait subi l'examen tel qu'il se passe actuellement pour les chemins de fer et les bateaux et qui permette de se rendre compte que l'homme qui chauffe connaît au moins les appareils essentiels de sa chaudière, les appareils de sûreté et d'alimentation. Actuellement, un industriel peut prendre le premier manœuvre venu, et cet homme a la responsabilité de l'usine, la responsabilité d'un grand nombre de vies d'ouvriers. Je trouve cet état de choses très insuffisant.

M. de Radinger. — Messieurs, je crois que les examens des chauffeurs sont une bonne chose. En général, une organisation dépend toujours des hommes; dans l'examen, se montrent les caractères des hommes. Et quand le chauffeur a une certaine impression de dignité, il veut être fier devant sa famille et ses collègues; il a une grande honte si le certificat est refusé. Chez nous, en Autriche, les examens de chauffeurs sont organisés depuis longtemps, depuis les premiers temps, et cela suffit très bien. Nous n'avons presque pas d'explosions, à cause de l'examen et de la surveillance; pas un chauffeur n'est pris, s'il n'a subi l'examen. Je crois que l'impression morale élève; les gens de moindre valeur n'ont pas le courage de venir à un examen; le chauffeur qui a passé,

l'examen a un rang plus haut que les autres ouvriers. Une telle impression est une base pour la sûreté des chaudières.

M. le Président. — Monsieur Vinçotte, votre opinion ?

M. Vinçotte. — Je n'en ai pas.

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole ?

M. Corompt a la parole.

M. Corompt, *chef mécanicien, trésorier général de la Fédération centrale des chauffeurs.* — Messieurs, j'ai entendu beaucoup d'orateurs parler de certificat d'aptitude pour les chauffeurs-mécaniciens; j'ai remarqué que, parmi les orateurs, quelques-uns ont pensé que le certificat n'avait aucune valeur. Comme représentant de la Fédération centrale des chauffeurs-mécaniciens, je tiens à dire que depuis 1876 nous travaillons dans un but d'enseignement professionnel; beaucoup de nos camarades ambitionnent d'être chauffeurs, mais ne le sont pas, parce qu'il leur manque une certaine capacité qu'ils ne peuvent prendre que dans des cours professionnels. C'est pour cela que la Fédération centrale a créé des cours; elle a été d'ailleurs la première à le faire. Ces cours ont été reconnus parfois sans utilité par des industriels qui n'ont jamais estimé la valeur des chauffeurs-mécaniciens et qui étaient dominés par des questions d'économie, mais ils n'ont pas tardé à constater que les chauffeurs devaient avoir des aptitudes spéciales pour bien conduire les chaudières et éviter les explosions. Quand un accident arrive, on ne manque pas, dans l'enquête, de rechercher le degré d'instruction professionnelle du chauffeur. Si cette instruction est nécessaire, pourquoi ne pas délivrer au chauffeur le certificat qui en est la sanction? Je trouverais juste que tous les chauffeurs conducteurs mécaniciens soient commissionnés ou aient un certificat d'aptitude; je ne dis pas que ce certificat

soit approuvé par l'État, mais il pourrait être donné par les professeurs des cours; ces hommes dévoués ont une certaine valeur, et je tiens en terminant à leur adresser notre profonde reconnaissance pour l'aide si précieuse qu'ils nous donnent dans notre œuvre d'instruction professionnelle. (*Applaudissements.*)

M. Compère. — Des idées ont été échangées sur l'opportunité des certificats d'aptitudes délivrés aux chauffeurs.

La question est évidemment très complexe et peut prêter à de longues discussions.

Personnellement, j'estime que le diplôme d'État ne doit pas être imposé aux industriels.

S'il l'est en France sur les bateaux et la voie publique, cela se comprend, car un accident peut y avoir des conséquences terribles et il faut prendre toutes les précautions possibles, aussi bien du côté du chauffeur que du côté des appareils eux-mêmes, pour éviter un accident.

Mais dans l'industrie, sauf les explosions foudroyantes qui sont assez rares en somme, et dans tous les cas pas comparables à des accidents de bateaux, les conséquences des explosions sont beaucoup moindres; c'est ce qu'a fait ressortir M. Aguilon.

Dans ces conditions, il ne semble pas qu'un diplôme soit nécessaire aux chauffeurs.

Toutefois, si de tels diplômes étaient imposés, j'exprimerais le désir que des certificats délivrés par des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur fussent reconnus au même titre que ceux de l'État. Cette disposition rentrerait d'ailleurs dans l'esprit du décret actuel de 1880, qui a reconnu, en matière de dispense d'épreuve comme probants les certificats de visite des Associations.

Reste la question des cours et concours de chauffeurs.

Je crois qu'il faut chercher à les multiplier. C'est bien ce qui est ressorti de la discussion. Le chauffeur ne doit pas être un simple manœuvre, il doit connaître l'appareil qu'il conduit et les phénomènes qui s'y passent; toute tentative qui augmentera l'enseignement professionnel du chauffeur doit être encouragée, que ce soit par des cours réguliers, par des concours, ou des examens sur place, comme paraît le préférer M. Perelli.

M. le Président. — Messieurs, la question est close. En conséquence, nous allons passer à la suivante : *l'Épuration des eaux d'alimentation.*

M. Krauss a la parole pour donner communication de son rapport sur cette question.

M. Krauss, ingénieur de l'Association autrichienne de propriétaires d'appareils à vapeur. — En me trouvant ici à une place où je viens d'entendre toute une série de communications et d'opinions présentées par des Ingénieurs reconnus partout comme experts et de première compétence en matière de chaudières à vapeur, je suis dans un singulier embarras et je vous adresse d'abord mes excuses d'avoir eu la hardiesse de vous soumettre une communication si peu complète. Du fait que vous avez mis au programme de ce Congrès la question d'épuration, je pense que vous considérez la question comme discutable, et que peut-être vous êtes arrivés à mon opinion, en disant que les procédés dont on se sert aujourd'hui pour l'épuration des eaux n'ont pas encore atteint le degré de perfection désirable. Il est vrai que nous disposons aujourd'hui d'un grand nombre d'appareils les mieux compris, qui fonctionneraient à merveille si seulement les réactions chimiques s'effectuaient rapidement et suivant les formules indiquées.

L'Association à laquelle j'ai l'honneur d'appartenir s'est, à maintes reprises, occupée spécialement de la question

d'épuration et a publié ses résultats dans son *Bulletin* annuel et ses publications périodiques. Ma communication ne peut jeter qu'un coup d'œil rapide et superficiel sur les principes et méthodes en usage. Loin d'être complète, elle ne contient que quelques-unes des conclusions auxquelles nous croyons être arrivés.

Permettez-moi, Monsieur le Président, de me borner à ce résumé de mon travail.

M. le Président. — Dites ce que vous croyez devoir dire. Développez les points qui vous paraissent essentiels.

M. Krauss donne lecture de quelques passages de son rapport. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — La parole est à M. Schmidt sur la question qui vient d'être traitée.

M. Schmidt, *ingénieur en chef de l'Association de propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise.* — Messieurs, je désirerais appeler l'attention du Congrès sur les ennuis auxquels donne lieu l'épuration des eaux, dans bien des cas.

J'ai retenu, dans le rapport très complet et très intéressant de M. Krauss, l'observation suivante, page 14 :

« Pourtant l'épuration n'est presque jamais complète
« et il y a d'autres désavantages, qu'il faut reconnaître et
« qui prouvent que la méthode n'est pas encore parfaite. »

Un peu plus loin, page 15, M. Krauss signale « qu'une
« partie des réactifs employés ne prend pas part à la
« transformation chimique, mais reste inactive et rend
« l'eau alcaline. La concentration de la solution alcaline
« dans la chaudière donne lieu à une vaporisation quel-
« quefois tumultueuse; l'eau de la chaudière devient
« écumeuse et la vapeur apporte aux conduits de grandes
« quantités d'eau à la fois. »

Ces deux observations sont présentées dans le rapport d'une façon succincte et, à mon avis, insuffisamment développées. Je désire les compléter par quelques explications.

Dans notre région, où les eaux de puits sont toutes carbonatées, nous avons eu de fréquents déboires avec les appareils d'épuration d'eau, aussi bien avec ceux de Gaillet que de Desrumeaux et d'autres.

L'un des cas les plus anciens qui ait appelé mon attention s'est produit il y a treize ans dans une râperie. Pour marcher sans interruption pendant toute une campagne, les eaux étant très chargées de carbonates, on avait décidé d'installer un appareil de Gaillet. Dès la première campagne, on avait eu des coups de feu, qui obligèrent à des réparations en cours de fabrication. Quand on analysa les dépôts recueillis dans la bosse, on constata qu'il y avait dans un échantillon 4,54 p. 100 de chaux libre, dans un autre 4,75; puis, dans le premier, 80 p. 100 de carbonates de chaux et de magnésie. et dans l'autre 85 p. 100. On avait donc eu dans la chaudière un mélange de chaux et de carbonates ayant échappé à l'épuration. On avait très probablement surveillé si mal l'opération, qu'à un moment on avait mis trop de réactif et à un autre moment trop peu (1).

Voici une autre observation, concernant des coups de feu après l'établissement d'épurateur Gaillet dans une usine qui, auparavant, n'avait jamais eu d'avarie de ce genre. La liqueur de contrôle du réactif était erronée. On en avait confié la préparation à un pharmacien de l'en-

(1) Composition approximative de la matière séchée sur 100 parties :

	Dépôt blanc.	Dépôt gris.
Argile et silice	7,75	7,22
Sulfate de chaux.....	6,36	3,67
Chaux libre.....	4,54	4,15
Carbonate de chaux et de magnésie..	80,00	85,00

droit, qui avait sans doute mal pesé le chlorure de calcium, c'est une erreur facile à commettre. Il en est résulté que, pendant plusieurs semaines, on a mal épuré l'eau, tout en ayant apporté à l'épuration les soins voulus. Après l'accident, on est arrivé à épurer d'une façon assez satisfaisante.

Depuis l'époque déjà ancienne à laquelle remontent ces observations, les appareils et le mode de contrôle ont été perfectionnés, et l'on n'est plus guère exposé à de pareilles surprises. Mais d'autres inconvénients subsistent.

Dans une usine où l'on avait monté des appareils d'épuration d'eau, on a eu des coups d'eau répétés aux machines, par suite d'excès de soude dans les générateurs. Tout le monde sait que, lorsque les eaux contiennent des sulfates, l'épuration donne un résidu soluble, le sulfate de soude, qui se concentre dans les générateurs et y favorise, comme tous les sels de soude, des émulsions, qui se traduisent par l'enlèvement de paquets d'eau, et par suite de coups d'eau aux machines. A la suite de ces accidents, on s'est borné à faire une épuration à la chaux, ce qui paraissait admissible puisque l'eau naturelle titrait seulement 27° à l'hydrotimètre. Mais ce titre correspondait à une petite quantité de sulfate, de sorte que, au bout d'un certain temps, les tubes des générateurs se trouvaient couverts d'une couche très dure de sulfate de chaux. On dut laisser l'appareil de côté, parce qu'on ne savait plus comment s'en servir.

La question en était là, lorsque, dans ces dernières années, j'ai eu à étudier deux accidents tout à fait singulier. Voici le premier :

Dans une usine qui marche jour et nuit, on se sert d'une machine à vapeur de 400 chevaux, alimentée par un groupe de générateurs de Naeyer. On avait installé un appareil de Gaillet, et on n'employait, comme réactif, que

de la chaux ; on craignait de mettre de la soude et de déterminer ainsi des entraînements d'eau. Tout a bien marché pendant une dizaine d'années, lorsque subitement on a eu coup sur coup, dans un espace de huit jours, trois arrêts par suite de coups de feu à plusieurs chaudières à la fois ; il se formait aux tubes inférieurs des bosses avec fissures, dans une région se trouvant à 0^m,20 en avant de la cloison relevant les flammes à l'arrière de la grille. On a pris des éléments des tubes d'un générateur de relai ; on les a mis à la place des tubes avariés. Deux jours après, nouveau coup de feu. On a remplacé de nouveau les tubes par ceux de la chaudière de relai. Une troisième fois on a dû arrêter, et cette fois, on prit des mesures plus sérieuses, en installant des tubes neufs.

En sciant les tubes en différents points de leur longueur, on constata qu'ils étaient propres vers leurs extrémités ; mais, que vers le milieu de leur longueur, ils étaient tapissés d'un dépôt extrêmement dur atteignant jusqu'à 16 millimètres d'épaisseur. Ce dépôt était inattaquable aux acides. Une immersion de deux heures dans la soude caustique à l'ébullition n'a pas permis de le désagréger. L'analyse a établi que les dépôts contenaient 33 p. 100 de silicates de chaux et de magnésie et 49 p. 100 de sulfate de chaux (2).

(2) Composition, 100 parties, contiennent :

Sulfate de chaux.....	49,17
Carbonates de magnésie.....	14,07
Silice de chaux et de magnésie.....	33,13
Chaux libre (provenant d'une alimentation accidentelle d'eau épurée avec un excès de chaux).....	1,14
Sesquioxyde de fer et d'alumine.....	1,60
Eau et matières organiques.....	0,55
Pertes.....	0,34
	100,00

Voici donc une usine qui croyait avoir pris suffisamment de précautions, et qui s'est trouvée, au bout d'un certain nombre d'années de marche, avoir dans les tubes une concentration de dépôts considérables, formée par du sulfate de chaux et de la silice. C'est là un résultat qu'il était difficile de prévoir au moment où l'on a établi l'épuration de l'eau.

Il faut que je rappelle, pour expliquer comment ces dépôts ont pu s'accumuler, que, dans les générateurs de Naeyer, on ne peut pas aisément se rendre compte si les tubes sont dépourvus de dépôts. En effet, les boîtes recevant les tubes ont un orifice incliné sur la direction de ceux-ci, et un peu excentrée, de sorte qu'on n'y peut introduire aucun grattoir ayant un diamètre égal au diamètre intérieur des tubes. Quand donc on y introduit un grattoir plus petit, il enlève les boues, et, à moins d'être à expansion, il glisse par-dessus les compressions dures. On peut croire ainsi que les tubes sont propres, et la vue ne permet pas davantage de se rendre compte de leur propreté complète.

Enfin, dernièrement, nous avons eu des surprises dans une distillerie où fonctionne une épuration complète à la chaux et à la soude. Les proportions de réactifs à employer avaient été données par le constructeur de l'appareil d'épuration. L'eau naturelle marquait 32°5 à l'hydrotimètre; le titre, après ébullition, était de 12°5. L'épuration se faisait avec beaucoup de soins, si l'on admet comme soignée une épuration dans laquelle on maintient toujours un léger excès de soude.

Au bout de quelques années de marche, les générateurs paraissaient suffisamment propres; il y avait cependant sur les tubes une légère couche de dépôt dur. Un jour, des plaquettes de tartre se sont détachées des tubes, sont tombées sur les tôles de bouilleurs, et ont déterminé des coups de feu presque simultanément à plusieurs

chaudières. Ces plaquettes, recueillies dans les bouilleurs, contenaient 22 p. 100 de sulfate de chaux et 55 p. 100 de silice (3).

Vous voyez, par ces deux derniers exemples, que la silice, qui se trouve dans les eaux en quantité généralement négligeable, et le sulfate de chaux, même lorsqu'il y est peu abondant, se concentre peu à peu, et peuvent devenir à la longue extrêmement gênants.

Il est vrai que les industriels, lorsqu'ils établissent des épurations d'eau, le font trop souvent avec l'intention d'espacer les nettoyages, qui sont toujours coûteux. Je crois que c'est là une erreur; l'emploi d'une épuration d'eau ne devrait jamais allonger les périodes séparant deux vidanges consécutives. S'il survient alors des mécomptes, ce n'est vraiment pas tout à fait aux appareils d'épuration qu'il faut s'en prendre.

Malgré cela, les exemples que je vous ai cités montrent que les procédés d'épuration d'eau ne sont pas encore étudiés de façon assez perfectionnée, pour qu'on soit sûr, en les employant soigneusement, d'être à l'abri de tout ennui. La concentration de la silice, et parfois celle des sulfates, produisent des dépôts inattendus d'une grande dureté. La soude se concentre dans les chaudières, et y détermine des troubles de vaporisation. Les résultats ne sont donc pas encore irréprochables. En vérité on pouvait espérer, après vingt-cinq ou trente ans d'étude de la question, des résultats moins incomplets que ceux

(3) Composition des plaquettes, 100 parties contiennent :

Sesquioxyde de fer et alumine.....	0,60
Silice.....	54,50
Carbonate de chaux.....	12,00
Carbonate de magnésie.....	10,10
Sulfate de chaux.....	21,90
Sulfate de magnésie.....	0,90
	<hr/>
	100,00

dont je viens de donner quelques exemples. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — M. Krauss a la parole.

M. Krauss. — Je remercie M. Schmidt d'avoir bien voulu compléter un peu mon travail. Je n'ai pas détaillé les dépôts qui se produisent souvent par la mauvaise conduite d'une épuration, parce que je me disais : — Peut-être en signalant seulement quelques cas, quelqu'un trouvera l'occasion de compléter ma communication. — J'en remercie M. Schmidt.

M. le Président. — M. Chevalet a la parole. M. Chevalet n'est pas là ?

M. Schmidt. — Je demande à ajouter un mot, en l'absence de M. Chevalet sur son appareil à plateaux, dans lequel la vapeur barbote à 100°. Avec cet appareil, les sels qui ne sont pas atteints par la chaleur, comme par exemple le sulfate de chaux, sont englobés en partie par les dépôts de carbonate de chaux. Dans la localité même où se trouvent les générateurs de Naeyer dont j'ai parlé tout à l'heure, et tout près de là, se trouve une autre usine où des générateurs semi-tubulaires sont alimentés par des eaux détartrées à l'aide de l'appareil de M. Chevalet. Le résultat est absolument satisfaisant, depuis plusieurs années, et il n'est pas resté dans les générateurs et sur les tubes de dépôt dur d'aucune sorte. L'expérience comparative des deux usines est absolument concluante.

Avec l'appareil Chevalet, la seule précaution à prendre est de nettoyer les plateaux avant qu'ils ne soient entièrement remplis de dépôts, et de les démonter lorsque ces dépôts sont encore humides ; dans cet état, les dépôts n'adhèrent pas, et il suffit de les renverser pour les remettre aussitôt en service. Cet appareil ne nécessite

généralement pas l'emploi de réactifs; cependant on en peut employer, s'il y a lieu. Lorsqu'on n'a pas de vapeur d'échappement à sa disposition, cet appareil oblige à prendre aux générateurs de la vapeur directe, ce qui est un peu moins avantageux. Mais, dans tous les cas, cet appareil fournit pour l'alimentation des générateurs de l'eau presque bouillante, ce qui est toujours extrêmement favorable à un bon rendement des générateurs.

M. le Président. — Personne ne demande plus la parole ?

M. Perelli. — Il y a longtemps que l'épuration des eaux a commencé à être appliquée dans quelques établissements, mais elle s'est très peu répandue en Italie. D'une enquête que j'ai faite il y a trois ans, il résulte qu'en général les industriels ne sont pas tous contents; ils disent avoir beaucoup d'ennuis et trouvent souvent leurs chaudières dans un état pas meilleur qu'avant l'introduction de l'épuration. En effet, quand on emploie la chaux, on a beaucoup de précautions à prendre, surtout par l'automatisme des appareils; on l'a déjà dit, on constate souvent qu'on en a mis trop ou trop peu. Un contrôle journalier est nécessaire, et je dirais même il faut contrôler le contrôleur. De la faute des contrôles dépend seulement le résultat, souvent peu satisfaisant, de quelques installations.

La question de l'épuration des eaux devrait être posée de la façon suivante : Devons-nous épurer à froid ou à chaud ? Je me suis trouvé dans le cas d'épurateurs qui, au commencement, paraissaient donner des bons résultats; plus tard, on constatait des corrosions et des dépôts; ces inconvénients cessèrent en faisant avec l'appareil même l'épuration à chaud. Dans le rapport de M. Krauss, il y a une phrase saillante : « — Au fur et à mesure que la réaction a lieu le réactif diminue; comme il diminue, on a une

réaction toujours plus faible, et il arrive un point où le réactif reste sans action, et la réaction ne se fait pas du tout. » — La chaleur active la réaction même quand le réactif est en petite quantité.

Et si on pense que la grande difficulté des appareils à froid est le dosage des réactifs, je me demande si à toutes les méthodes, celle du professeur Rossel n'est pas la préférable, puisque, à cause du principe de régénérer la soude en chaudière, on a le grand avantage de pouvoir introduire autant de réactif qu'on veut, sans avoir danger d'envoyer la solution dans les chaudières. Cette méthode, très appréciée en Suisse, n'a pas été répandue parce que, n'ayant pas été brevetée et n'exigeant aucune construction spéciale, elle donne peu de bénéfice aux constructeurs spécialistes. M. Rossel pourtant dit que le carbonate de soude fait précipiter la magnésie à l'état de carbonaté. Nous savons que la magnésie ne peut pas être précipitée, et la méthode Rossel exige donc une correction, soit l'introduction de soude caustique. Mais les opposants de la méthode Rossel disent qu'elle peut aller pour une seule chaudière et pas pour plusieurs. Je crois que ce n'est pas vrai. On craint de diminuer le niveau de l'eau de la chaudière et d'arriver à un niveau dangereux. J'ai essayé cela; j'ai trouvé qu'il suffit que le tuyau qui doit conduire l'eau contenant la soude dans le premier appareil, n'aboutisse pas plus bas que le niveau minimum de la chaudière et, de la sorte, nous sommes sûrs que nous n'emporterons pas trop d'eau de la chaudière, et que nous pourrions prendre à 4,10 chaudières, la quantité d'eau nécessaire pour faire marcher notre réaction; le danger que la réaction ne soit pas complète, quand on est vers la fin, n'existe plus, puisque avec la méthode de Rossel, nous pouvons introduire autant de réactif que nous voulons, sans craindre les mauvais effets d'un excès de réactif qu'on a si on em-

ploie la chaux. Je crois que si cette méthode était plus étudiée, nous pourrions faire avancer la question.

M. Desrumeaux remet au bureau une note sur l'épuration des eaux d'alimentation des chaudières à vapeur.

M. le Président. — La note de M. Desrumeaux sera insérée dans le compte rendu du Congrès.

Ce qui paraît ressortir de la discussion, c'est que la question d'épuration des eaux est loin d'être mûre; et par conséquent que ce que nous avons de mieux à faire, c'est d'ajourner la question, de façon que chacun puisse faire des recherches pour aboutir à un résultat aussi satisfaisant que possible. Quant à faire une proposition quelconque au Congrès, je ne crois pas que ce soit possible.

M. Desrumeaux. — M. F. Krauss, dans son intéressant travail, semble partir de ce principe qu'en matière d'épuration d'eaux industrielles, les détails de construction et les dispositions particulières des épurateurs offrent relativement peu d'importance, comparés au traitement chimique étudié séparément.

Il est cependant essentiel, on en conviendra aisément, de laisser le moins possible la partie opératoire du traitement chimique à la merci d'ouvriers plus ou moins intelligents ou consciencieux. De là, la nécessité de recourir à des épurateurs fonctionnant sans main-d'œuvre ni surveillance et surtout agencés pour que, quels que soient le mode d'alimentation, les variations de vitesse ou de pression de l'eau brute arrivant à l'appareil, les irrégularités de la consommation en eau épurée, etc..., les organes préparant ou dosant les réactifs épurants soient conditionnés pour que la proportionnalité voulue, entre l'eau affluente et les solutions de réactifs, reste absolument constante.

A ce point de vue, les appareils d'épuration les plus em-

ployés méritaient un examen comparatif très instructif.

M. Krauss, après avoir exposé les méthodes chimiques généralement employées, par la chaux, la soude caustique et le carbonate de soude, signale un procédé, que lui a récemment communiqué M. le docteur Schierholez, et qui permet de réduire le degré hydrotimétrique de l'eau à environ zéro, sans la rendre alcaline, en employant comme réactif une solution d'oxalate.

Cette méthode n'est pas nouvelle, mais personne jusqu'à présent ne s'y est arrêté, à cause du prix de revient trop élevé des oxalates (150 à 200 francs les 100 kilogrammes), comparativement à celui de la chaux (2 francs les 100 kilogrammes) et à celui de la soude (10 à 12 francs les 100 kilogrammes).

M. Krauss termine en concluant, contre toute attente, qu'il croit impossible d'arriver, au moyen de réactifs seuls, à une épuration complète qui ne peut être obtenue qu'à l'aide de la chaleur, c'est-à-dire dans la chaudière.

« C'est sur cette considération, ajoute-t-il, que sont « basés les épurateurs à vapeur vive employés sur une « grande échelle en Amérique. »

M. Krauss donne une description succincte des appareils ayant une très grande analogie, sinon une similitude complète, avec les appareils *détartreurs*, un certain temps assez préconisés en France.

A ce sujet, il est utile de rappeler que, tandis que l'épuration préalable des eaux d'alimentation débarrasse complètement l'eau des sels incrustants qu'elle renferme en dissolution, notamment des bicarbonates et sulfates de chaux et de magnésie, ce résultat est absolument irréalisable avec n'importe quel « détartreur » et « épurateur par la chaleur ».

Ces derniers procédés, en effet, ne peuvent enlever à l'eau qu'une partie des bicarbonates, par suite du dégagement d'une partie de l'acide carbonique que provoque

l'élévation brusque ou progressive de la température de l'eau traitée.

L'expérience prouve d'ailleurs, et tous les chimistes s'accordent sur ce point, qu'il ne suffit pas, pour éliminer à peu près complètement tous les bicarbonates, de porter simplement l'eau à la température de l'ébullition ou de la saisir brusquement par un jet de vapeur surchauffée ; il est indispensable pour arriver à ce résultat, de la maintenir en ébullition prolongée jusqu'à ce qu'elle soit réduite à moitié de son volume primitif.

C'est en tenant compte de cette observation qu'on détermine dans les laboratoires le degré hydrotimétrique persistant d'une eau donnée.

Quant aux sulfates qui forment généralement des incrustations moins épaisses, mais beaucoup plus dures que les bicarbonates, ils résistent totalement à l'ébullition.

A cette dernière critique, les constructeurs de détartreurs expliquent que leurs appareils peuvent être conditionnés de manière à pouvoir y introduire les réactifs nécessaires à la précipitation des sulfates, ce qui revient à transformer les détartreurs en épurateurs, avec cette différence que, dans ces derniers appareils, le dosage des réactifs se fait automatiquement et avec une précision en quelque sorte mathématique et qu'ils permettent d'éliminer au dehors les dépôts résultant des réactions chimiques, tandis que les détartreurs laissent les dépôts s'accumuler dans leurs tubes ou leurs plateaux et dans toutes les parties des générateurs en engorgeant les conduits, salissant et obstruant les niveaux d'eau, etc.

L'introduction directe des sels de soude dans les détartreurs ou dans la chaudière a, d'autre part, le grave inconvénient de provoquer des réactions chimiques qui favorisent les ébullitions tumultueuses et les entraînements.

L'eau traitée par les épurateurs proprement dits n'en sort, au contraire, qu'après l'achèvement complet des

réactions. La principale précaution à prendre consiste à donner aux détartreurs un volume suffisant pour que l'eau traitée qui les traverse y séjourne un temps correspondant à la durée des réactions chimiques qui est généralement de 2 heures et demie.

Avec certaines eaux, les eaux magnésiennes par exemple, les réactions chimiques ne s'achèvent que difficilement à froid; dans ce cas, il suffit de chauffer l'eau au moment de son arrivée à l'épurateur, soit par de la vapeur vive, soit par des vapeurs d'échappement, chaleur que l'on récupère en alimentant les chaudières avec de l'eau chaude.

Pour en revenir aux détartreurs et aux épurateurs, par la vapeur, il est incontestable que l'emploi de ces appareils a pour résultat d'augmenter, presque sans aucun profit, le nombre de surfaces incrustées. Quant au nettoyage des chaudières, il n'est jamais supprimé et se complique au contraire du nettoyage, souvent long et difficile, des plateaux du détartreur, c'est dire qu'on obtient l'inverse du but poursuivi.

La séance est levée à 11 heures un quart.

5^e SÉANCE

Mercredi 18 juillet 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE M. LINDER

Président du Congrès.

La séance est ouverte à 2 heures un quart.

M. le Président. — Messieurs, nous reprenons notre ordre du jour.

La parole est à M. Compère, pour nous parler des *Chaudières à petits éléments*.

M. Compère. — Messieurs, comme l'heure passe, que nous avons encore beaucoup à dire et qu'il faut terminer notre Congrès ce soir, je vais résumer rapidement la note que j'ai préparée sur ce sujet et que vous avez entre les mains.

Après avoir passé en revue les travaux publiés depuis 1889 et relatifs à la sécurité dans l'emploi des chaudières multitubulaires, j'ai recherché d'après les statistiques officielles en France, si ces travaux avaient eu pour résultat de diminuer le nombre d'accidents et de victimes. Mes recherches m'ont amené aux conclusions suivantes :

Dans ces huit dernières années, il y a eu une amélioration très sensible dans l'emploi des générateurs multitubulaires au point de vue de la sécurité de leur personnel conducteur.

Cette amélioration s'est fait tout particulièrement sentir dans le département de la Seine, où une surveillance plus attentive est exercée.

Les accidents spéciaux aux chaudières multitubulaires sont les déchirures de tubes et les projections de tampons.

Les accidents par déchirures de tubes sont devenus de moins en moins dangereux et il paraît logique de ne plus les faire rentrer dans la statistique officielle que lorsque la section de la déchirure est assez grande : le service des mines du département de la Seine précise actuellement cette section, en ne considérant, comme accident, que toute ouverture se produisant sur des tubes supérieurs à 100^{mm} et sur une longueur supérieure à 200^{mm}.

L'emploi de petits tubes inférieurs à 100^{mm} paraît préférable au point de vue de la sécurité.

En ce qui concerne la projection de tampons, elle est toujours très dangereuse et il y a lieu de proscrire toute fermeture non autoclave.

Voilà les conclusions sur lesquelles j'ai cru devoir appeler votre attention ; il était nécessaire que ma note fût présentée de façon à jalonner ce qui s'est passé depuis la dernière Exposition, où M. Olry avait parlé des chaudières multitubulaires. Aujourd'hui, on est arrivé à conduire ces chaudières avec une parfaite sécurité pour le personnel et le public. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Quelqu'un a-t-il des observations à présenter ?

La parole est à M. Vinçotte.

M. Vinçotte. — Messieurs, dans la communication que vient de nous faire M. Compère, il nous a rappelé qu'en 1890 l'Association belge avait discuté cette question des chaudières à tubes d'eau et des nombreux accidents auxquels elles donnaient lieu.

A cette époque, les accidents les plus considérables

étaient dus à l'ouverture brusque des tubes à la soudure ; ces tubes étaient soudés, mais avec un recouvrement très faible, 3 ou 4^{mm} seulement. Nous avons eu quelques accidents ; nous avons alors imposé des recouvrements plus grands. Les fabriques de tubes ont été obligées de céder et, petit à petit, en Belgique, dans le nord de la France, en Allemagne, c'est-à-dire dans les régions fournissant ces tubes, on s'est habitué à donner 20^{mm} de recouvrement.

Depuis cette époque, il n'y a plus eu, pour ainsi dire, d'accidents de tubes. Il y a encore eu deux cas d'explosions de tubes soudés, mais nous ne rencontrons plus jamais de ruptures dangereuses dues à la soudure.

J'ajouterai que, d'après les chiffres trouvés par moi, et qui sont plus considérables que ceux trouvés par M. Compère plus tard, il semble que la soudure par recouvrement était surtout dangereuse dans les chaudières de Naeyer. En effet, on a cherché à nettoyer les tubes en les frappant par l'extérieur ; or, cette opération les déformait ; lorsque les coups de marteau tombaient à côté d'une soudure mal faite, défectueuse, la soudure s'ouvrait ; et la plupart des accidents que nous avons eus sont survenus à la suite d'un nettoyage complet avec battage. Actuellement, on a encore des soudures décollées par le battage extérieur, mais ces décollages n'ont plus la même importance ; nous avons encore des tubes sacrifiés de ce fait, parce qu'ils donnent lieu à des fuites, mais il n'y a plus d'accidents.

Notre collègue a fait ressortir, pour la période qui suit, une autre série d'accidents : c'est l'accident par rupture de boulon. Sous ce rapport, il y a, en effet, très peu d'améliorations et notre statistique, en Belgique, est comparable à celle de la France. Depuis 1890, où les tubes sont faits à recouvrement réel, il y a deux explosions par ouverture de tubes, mais deux ou trois autres par rupture de boulons de fermeture non autoclave.

Indépendamment de ces explosions, nous avons un grand nombre d'accidents dans lesquels il n'y a pas eu de morts d'homme. Il est à espérer que le Congrès actuel fera autant, pour diminuer les accidents par ruptures de boulons, que le Congrès précédent a fait pour réduire les conséquences des ouvertures de tubes.

Relativement à cette question des fermetures des tubes, nous avons été conduits à examiner le calcul du diamètre des boulons. Vous savez que la résistance sur laquelle on calculait le boulon dépend de l'usage auquel le boulon est destiné; le coefficient admis varie dans des limites énormes; cela tient à ce que le boulon, qu'on essaye par traction, casse par flexion. Il casse quand il appuie de travers. Un boulon peut appuyer sur le côté de l'écrou, ce qui donne lieu à un effort considérable, et c'est ainsi qu'il casse. Nous avons considéré que le boulon appuie toujours sur un côté, et que le minimum de rayon d'appui est le rayon du boulon lui-même. Nous avons donc exigé un diamètre beaucoup plus considérable; mais néanmoins, il y a encore eu des ruptures. Et cela s'explique très bien. Il est possible de calculer le boulon quand on suppose le boulon s'appuyant sur un étrier. Mais, dans toutes ces chaudières, il y a deux boulons travaillant sur le même étrier; leur serrage peut être très différent; l'un peut être serré pour obtenir l'étanchéité, au point de casser; il y a même des cas où le chauffeur est venu serrer le boulon en marche. De plus, il faut tenir compte des dilatations en marche. En résumé, je déconseillerai absolument la fermeture non autoclave.

Voilà ce que je voulais dire, pour appuyer la communication de M. Compère. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Je remercie M. Vinçotte de son intéressante communication. Un certain nombre des faits qu'il a signalés sont absolument confirmés par ce que nous avons observé dans notre pratique.

Messieurs, n'y a-t-il plus personne qui veuille prendre la parole sur ce sujet?

Alors, je donne la parole à M. Bonet, sur les *corrosions intérieures des chaudières*.

M. Bonet résume sa note. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — M. Chevalet a la parole.

M. Chevalet. — Messieurs, je demande la parole sur la communication très intéressante et très importante de M. Bonet. Il y a certains faits signalés par M. Bonet, et sur lesquels je ne suis pas d'accord avec lui au sujet des explications données. Je citerai d'abord les faits, puis viendront les explications.

M. Bonet nous a parlé des corrosions par pustules. Les corrosions par pustules, évidemment, existent, sont connues; mais, tiennent-elles absolument à l'air qu'il y a dans l'eau? Je crois que l'oxygène de l'eau intervient pour quelque chose, mais je crois que c'est surtout le métal lui-même qu'il faut accuser. Du reste, M. Bonet, à la fin de son travail, dit :

« Nous ne saurions l'indiquer d'une manière certaine, « mais il y a lieu de croire que le manque d'homogénéité « du métal sur laquelle tous les micrographes ont depuis « quelque temps appelé l'attention des métallurgistes, « joue un rôle important dans la répartition des corro- « sions. »

Donc, pour ce genre de corrosions, il y a lieu de vérifier quelle est la nature du métal et où les corrosions sont placées.

Dans une autre Société, on s'est occupé de cette question; on a reconnu des corrosions du même genre à froid, et là, il n'y avait pas d'oxygène du tout. Je citerai une communication faite à la Société technique de l'industrie du gaz en France; il s'agit de compteurs à gaz fabriqués

en tôle de bonne qualité et contenant des solutions de chlorure de calcium marquant 15 à 22. Des corrosions se sont produites ; en visitant les appareils, on a constaté qu'il y avait des dépôts calcaires ; d'autres étaient remplis de dépôts poussiéreux. Certains volants étaient perforés, en d'autres points, et tachés de rouille ; un d'eux avait même son flotteur attaqué. — Dans la Société, il y a eu discussion sur ces corrosions, et j'ai émis l'idée que la nature du métal jouait un très grand rôle.

A l'appui de cette opinion, je vais citer quelques faits.

Dans une usine aux environs de Paris, on a remarqué que les tubes de la chaudière se perforaient ; et pourtant cette chaudière est alimentée depuis un certain nombre d'années avec de l'eau bouillie.

Je m'occupe depuis une dizaine d'années de construire des appareils à épurer l'eau ; je vous dirai que les flotteurs à l'intérieur de ces appareils sont en tôle mince ; ils baignent toujours dans une eau très calcaire, mais distillée et bouillie ; malgré cela, les flotteurs étaient perforés en plusieurs points, comme des écumoirs. Vous voyez donc que la question de la corrosion n'est pas aussi simple qu'on le dit ; elle varie avec le métal ; il serait intéressant de faire des expériences.

On parle de la quantité d'oxygène qu'il y a dans l'eau. Je dois dire que toutes les eaux qu'on emploie sont généralement chargées de la même quantité d'oxygène, que ces eaux proviennent des montagnes, des forêts, la quantité d'oxygène ne doit pas intervenir beaucoup. Il y a peut-être d'autres causes ; je vous en signale une. On a constaté que l'aluminium, quand il n'a plus d'hydrogène pour le protéger, s'attaque vite, se dissout. Y a-t-il quelque chose de semblable pour le fer ? C'est à chercher. Je ne viens pas dire que l'oxygène ne joue pas un rôle. Si on voulait éviter de ce chef les corrosions, il y aurait un

moyen bien simple, ce serait de faire bouillir l'eau au préalable.

M. Bonet vient de dire qu'avec ce système on perdra le bénéfice des réchauffeurs. Je lui répondrai que j'ai publié en 1893, un travail tendant à montrer l'utilité des réchauffeurs alimentés à l'eau à 100°, mais avec une eau pure ou distillée ; je m'appuierai aussi sur un travail de la Société industrielle de Mulhouse, duquel il résulte que, suivant qu'on alimente avec de l'eau à 16° ou à 60°, la perte avec l'élévation de la température n'est pas très grande.

Je répondrai encore par une expérience, dont j'ai été témoin moi-même. On alimentait une chaudière à trois bouilleurs avec de l'eau à 100° ; le premier bouilleur indiquait 100° ; le second, 115° ; le troisième, 150° ; j'ai constaté que je n'avais pas changé sensiblement les conditions du chauffage des trois réchauffeurs en alimentant avec de l'eau à 100°, ou avec de l'eau à 35°.

J'ajouterai encore que, chez moi, à Troyes, un réchauffeur étant venu à se perforer totalement, on a supprimé ce réchauffeur et on a alimenté avec le second ; on a constaté le même rendement après qu'avant la suppression.

Je passe à une question plus importante, celle du chlorure de magnésium. Tous les auteurs disent que, quand il y a du chlorure de magnésium dans l'eau, il attaque les tôles, en se décomposant. Je suis d'un avis absolument opposé. J'ai publié, à cet égard, il y a deux ans, un travail, au congrès des Chimistes qui a eu lieu à Vienne, en 1898. Dans ce travail, j'ai fait ressortir que l'attaque des tôles par le chlorure de magnésium ne pouvait se produire que si le tartre ne contenait pas de carbonate de chaux.

A l'appui de ma communication, je vais vous montrer des échantillons qui m'ont été envoyés de chaudières de Buenos-Ayres. Voici les empreintes des trous.

D'après son analyse, l'eau d'alimentation était nettement magnésinée, et pas du tout carbonatée.

A l'appui de mon opinion, on vient de me signaler une eau, en Cochinchine, à Saïgon, qui donne les résultats suivants : ces eaux ne produisent aucune incrustation dans les chaudières, mais des érosions sur une largeur de 15 à 20 centimètres ; les parties rongées atteignent une profondeur de 6^{mm} ; on ne trouve pas du tout de carbonate de chaux dans cette eau. Ceci vient donc confirmer ce que je disais tout à l'heure des érosions par le chlorure de magnésium, qui se décompose, mais quand il n'y a pas de carbonate.

D'ailleurs, cela se conçoit. Quand vous avez du carbonate de chaux dans l'eau, l'acide viendra attaquer le carbonate de chaux, mais pas la tôle. La première attaque qui se produira sera sur le carbonate de chaux. J'ai essayé d'attaquer bien des fois des parties de fonte et de fer recouvertes de tartre, c'est toujours le carbonate de chaux qui s'est dissous le premier, et pas du tout la tôle.

Vous voyez donc, Messieurs, que cette question demande à être étudiée. On ne peut pas affirmer que c'est l'acide du chlorure de magnésium qui attaque la tôle, dans les conditions que je viens de spécifier.

Ici, on parle des corrosions dans les chaudières marines. Cela peut très bien s'expliquer, parce que, généralement, les eaux de la mer ne sont pas calcaires ; elles contiennent beaucoup de sulfate de chaux, mais pas du tout de carbonate ; d'où il suit que le chlorure de magnésium doit attaquer les tôles.

Je laisse de côté les autres questions qui ont été traitées, cela nous entraînerait trop loin.

Je relève la corrosion par le sel ammoniac provenant des mastics employés. Il est certain que les mastics de fonte doivent attaquer la fonte ; lorsqu'on laisse du sel ammoniac sur la fonte, elle est attaquée et se brise au bout

d'un certain temps ; elle tombe en poussière. J'ai construit des appareils qui ont marché, sous l'influence de l'ammoniac, pendant quelques années ; j'ai eu des robinets en fonte qui se détruisaient ; on obtenait absolument de la poussière ; ces robinets étaient très fragiles.

Les corrosions par le tannin et les graisses, comme celles par le sucre, je les laisse de côté. Je viens seulement parler des corrosions faites par les antitartres, les produits chimiques qu'on ajoute, notamment par la soude. Il résulte d'expériences et d'un travail faits par un de mes amis, chimiste très connu, que presque toujours cette attaque est due à ce que le bronze des robinets contient une certaine quantité de zinc ; il se forme un zingate soluble dans l'eau. J'appellerai l'attention du Congrès sur ce point.

Maintenant, pour les personnes qui voudront, après la séance, étudier la question du tartre, j'ai apporté ici une série d'échantillons, qui feront voir la différence qu'il y a entre certaines incrustations calcaires, les unes très dures, les autres extrêmement tendres. Il est impossible de dire à l'avance quelle sera la nature du tartre qui se déposera.

Messieurs, je vous remercie de votre attention. J'avais l'intention de faire quelques observations sur la communication précédente, sur l'épuration des eaux ; mais celles que je viens de faire se rattachent un peu à cette communication. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — La parole est à M. Vinçotte.

M. Vinçotte. — Messieurs, je demande la parole, parce que notre collègue, M. Bonet, m'a appelé pour citer quelques cas particuliers ; et puis, je répondrai également à la communication de M. Chevalet, en ce qui concerne la corrosion par les chlorures.

Pour cette corrosion, la chose ne se passe pas comme M. Chevalet le croit. La corrosion par chlorure de magnésium est locale et se fait seulement sur les tôles à feu ; les incrustations sur ces tôles sont formées de sulfate que ne peut neutraliser l'acide chlorhydrique. C'est pour cela que la tôle est attaquée. Le fait est caractéristique pour tous les visiteurs de chaudières. Ce sont des corrosions locales dans les parties très chaudes.

Je citerai un cas particulier. C'était une chaudière très ancienne, ne se corrodant pas. Tout d'un coup, on me signale que les tôles à feu se perforent très rapidement. Je demande une visite avant nettoyage, de façon à se rendre compte de la façon dont le dépôt se formait. Cette visite a montré que la tôle à feu était couverte d'un dépôt uniforme de 1^{mm} 1/2 d'épaisseur ; mais, par place, cette incrustation était soulevée, et en dessous était venu se former un dépôt de sulfate ; dans ces parties soulevées, il y avait un vrai trou dans la tôle, trou rempli d'oxyde de fer. Il y avait même d'anciens trous qui avaient été nettoyés et où la corrosion n'avait pas continué. Ce n'était qu'aux parties surchargées, comme épaisseur, que la corrosion se continuait. Ayant analysé les eaux, nous avons reconnu qu'elles contenaient des acides provenant d'infiltrations partant de très loin. C'était dans la vallée de la Meuse, encaissée dans des rochers ; sur la montagne, il y avait une usine de produits chimiques, et c'était de là que devaient venir les acides chargeant les eaux. On nettoyait les chaudières tous les mois ; on a estimé qu'il suffisait de rapprocher les nettoyages pour arrêter la corrosion ; on a demandé le nettoyage toutes les trois semaines, et les corrosions ont été arrêtées ; mais elles se sont reproduites au bout de trois ans. Peut-être les eaux sont-elles devenues plus mauvaises ?

Maintenant, la corrosion par les nitrates, à propos de laquelle M. Bonet m'a appelé, est une corrosion de même

nature. Le nitrate est un sel qui ne se décompose que par une chaleur assez forte.

Je citerai un cas de corrosion par les nitrates. Une batterie de cinq chaudières à foyer intérieur, construites en 1890, avait marché jusqu'en 1898 sans aucune corrosion; puis, tout d'un coup, les tôles à feu sont rongées. Ces chaudières étaient dans une usine alimentée par la Sambre. A différentes reprises, nous avons analysé l'eau des chaudières, nous avons trouvé des quantités considérables de nitrate, 7 grammes par litre. Remarquez que, dans l'eau d'alimentation, nous n'en avons pour ainsi dire jamais trouvé. Nous avons combattu cette corrosion par le carbonate de soude : 30 kilogrammes par jour pour les 5 chaudières; nous n'avons plus eu de corrosions ni sur les tôles à feu, ni sur les autres. Mais les nitrates continuent à venir.

A titre de curiosité, je citerai les analyses faites les 10 et 11 juillet. Le 10 juillet, j'ai fait prendre de l'eau au tuyau de refoulement d'alimentation, à chacune des 4 chaudières actives. Prise d'essai, 10 juillet. L'eau d'alimentation contenait 0^{gr},007 de nitrate. Dans la chaudière n°1, en feu depuis le 24 juin, ayant 16 jours de marche, l'eau contenait 0^{gr},530; à la chaudière n° 2, en feu depuis le 21 juin, 0^{gr},580; à la chaudière n° 3, en feu depuis le 7 juillet, ayant 3 jours de marche, la prise a été faite à midi, la chaudière contenait 0^{gr},018; et la chaudière n° 4, à feu depuis le 30 juin, contenait 0^{gr},032.

Vous remarquerez que ces chiffres ne sont pas du tout en rapport. Dans ces chaudières, l'évaporation ne représente pas deux fois leur volume par jour; on brûle 20000 kilogrammes de charbon en 24 heures, ce qui correspond à 160 mètres cubes d'eau vaporisée. Nous aurions deux fois et demie la concentration pendant 1 jour; pour les 16 jours, cela conduirait moins qu'à 0^{gr},530 pour le dernier jour; c'est-à-dire que, dans le cas

présent, depuis un an et demi que nous étudions la question, nous n'avons pas su d'où le nitrate vient; peut-être des environs; peut-être sa présence est-elle due à de fausses manœuvres. La rivière est à écluses, et son niveau est variable; elle se trouve peut-être, à certains moments, plus bas que l'usine où l'on fabrique les produits chimiques.

Voilà ce que j'avais à dire sur la corrosion des nitrates, c'est-à-dire ne se faisant que sous des incrustations et dont on vient à bout en tenant les tôles propres.

J'ai trouvé d'autres cas de corrosions, mais l'un se rattache plus particulièrement à la question des corrosions par pustules. Ces corrosions sont bien dues à l'oxygène de l'eau. Il faut que l'oxygène soit fourni par l'air de l'eau ou par la décomposition de l'eau elle-même. Dans la plupart des réchauffeurs, nous n'avons jamais constaté la décomposition de l'eau. J'ai relevé cette décomposition de l'eau dans un cas spécial où le cuivre était en présence du fer et de certains sels. Ainsi, les eaux des mines sont généralement salines; elles contiennent du sel marin et du carbonate de soude. Quand ces eaux salines sont dans les chaudières des locomotives, elles attaquent les entretoises, le ciel du foyer; c'est une corrosion spéciale: sur 2 ou 3 centimètres, l'entretoise est rongée juste au contact du cuivre. C'est l'action collective du cuivre et du fer permettant la décomposition de l'eau en cet endroit-là. Le remède a été de changer d'eau, et le phénomène s'est arrêté.

Ceci m'amène à un des points de la conclusion de M. Bonet, le plus important: c'est qu'en général la corrosion peut être combattue quand elle est bien étudiée, sauf la corrosion par pustules des réchauffeurs, bien entendu; celle-ci peut être atténuée, mais je ne connais pas de moyen radical de la supprimer. Toutefois la corrosion par pustules dans les foyers intérieurs et les

locomotives peut se supprimer en alimentant dans la vapeur.

Les corrosions par acides, par chlorures, par nitrates, par le sucre peuvent être combattues par le carbonate de soude. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Quelqu'un demande-t-il la parole?

M. le Président. — La question étant épuisée, nous allons passer à un autre sujet.

M. Compère a la parole pour sa communication sur *la fabrication des chaudières.*

M. Compère. — Dans mon rapport, après avoir passé en revue les différents matériaux employés dans la construction des chaudières et les diverses opérations de la chaudronnerie, je me suis étendu plus particulièrement sur la question du matage.

Cette question a été très étudiée depuis quelque temps, à propos d'explosions provenant de fissurations longues et profondes dans des clouures longitudinales des chaudières. J'ai voulu alors faire connaître quelques expériences que j'ai entreprises sur cette question.

Ces expériences ont consisté à soumettre les corps de chaudières à l'épreuve hydraulique avant qu'aucun matage ne soit encore effectué; dans des parties bien accostées, aucune fuite ne s'est produite malgré l'absence de matage. Il m'a été permis de déduire de ces expériences qu'un rivetage fait avec soin pourrait presque assurer par lui-même l'étanchéité des assemblages, sauf aux croisements des tôles.

Je suis alors arrivé à conclure que le matage des chanfreins et des rivures ne doit être considéré, en construction soignée, que comme un correctif du rivetage, et non comme son complément indispensable.

Cette conclusion s'applique également à la réparation

et à l'entretien des chaudières pour lesquels le matage est d'un usage courant; notre pratique de visites intérieures nous a montré qu'en matière de réparation il ne faut avoir recours au matage qu'avec prudence; en présence de fuites persistantes, avant tout matage, il est utile de vérifier la rivure en enlevant un ou plusieurs rivets au droit de la fuite. Telles sont les conclusions de mon rapport.

Les travaux que j'ai entrepris sont tout récents. Il serait utile qu'ils fussent poursuivis, car la question de matage est très importante.

Ce sont des travaux de la dernière heure; j'espère qu'ils feront leur chemin et que d'autres personnes pourront apporter des renseignements, au point de vue de la question du matage et de l'entretien des chaudières. (*Applaudissements.*)

M. Déjardin. — Je demande à confirmer ce que vient de dire M. Compère, en ce qui concerne la non-nécessité des matages dans la construction des chaudières. D'après mon expérience personnelle j'ai pu constater, de 1879 à 1884, à la Société Cockerill où je faisais des essais avec le rivetage hydraulique, que les ouvriers étaient arrivés à une telle perfection de travail, qu'ils se faisaient fort de persuader aux ingénieurs des mines que le matage n'était pas nécessaire; à l'épreuve, il y avait quelquefois un simple suintement à une ou deux têtes de rivets; seulement, on a été obligé de reprendre le matage au bout d'un certain temps, parce que les industriels prétendaient que le travail était mal fait et pas fini; mais, au point de vue de la sécurité, on pouvait se dispenser du matage.

M. Compère. — Dans mes expériences, quand le rivetage était fait mécaniquement, il y avait une légère fuite entre les rivets, parce que, avec le rivetage mécanique,

les deux tôles sont tellement pressées qu'il y a une sorte d'ondulation de la tôle entre les rivets.

M. Sauvage. — Messieurs, je demande la permission d'appuyer ce qui a été dit, relativement à la suppression du matage. Seulement, je crains que ce soit un desideratum un peu théorique, duquel on a quelque peine de s'approcher en pratique courante. On peut en dire autant de certaines pièces d'assemblage de machines ; évidemment, quelques ouvriers y arrivent ; mais cela n'entre pas dans la pratique courante.

En parlant de matage, j'ai vu, dans une publication, la définition suivante : opération qui a pour objet de détériorer les rivures bien faites. Néanmoins, si nous hésitons à condamner absolument le matage, parce que je crois que, pratiquement, on serait embarrassé d'y renoncer, nous pourrions serrer la question de plus près et condamner certaines pratiques. D'abord, si nous prenons une rivure par recouvrement, il y a deux lignes le long desquelles il est possible d'exécuter le matage : les chanfreins des tôles à l'intérieur de la chaudière et à l'extérieur. On est en général d'accord pour déclarer qu'il ne faut pas faire le matage à l'intérieur, puisque l'amorce de fente ne sera pas visible ; tandis que, dans le matage à l'extérieur, on peut espérer apercevoir les commencements de cassure. Donc, sans sortir des règles ordinaires de la construction, on peut dire qu'il ne faut jamais faire de matage à l'intérieur des chaudières.

Ensuite, il y a un autre point très important, c'est que le matage peut être fait de deux manières différentes. On a parlé de frapper plus ou moins fort ; il y a aussi la forme des matoirs. Certains matoirs sont de véritables burins coupants ; on voudrait préparer la cassure de la tôle en traçant un sillon, qu'on ne pourrait pas s'y prendre autrement. Sur beaucoup de chaudières, on voit le long

des lignes d'assemblage des tôles ces sillons, très mauvais et dangereux, tracés dans la tôle par le matoir. Au contraire, avec un matoir dont le biseau est bien arrondi, on ne fait que comprimer le métal, de manière que la tôle supérieure s'applique bien contre la tôle intérieure. Je crois que si l'on se sert toujours de cette seconde catégorie de matoirs, il n'y a pas à craindre qu'on puisse préparer des lignes de rupture.

On pourrait peut-être compléter les conclusions si intéressantes de M. Compère, en ajoutant que la nature de l'outil employé a une grande importance, et qu'avec des outils appropriés, le danger de l'opération de matage se trouve très réduit; dans tous les cas, il faut condamner le matage à l'intérieur de la tôle, travail qui ne peut pas, en général, être bien surveillé.

L'emploi de ces matoirs soulève quelquefois certaines résistances, parce qu'il faut frapper plus longtemps et plus fort, et l'emploi en est plus pénible. A l'intérieur, c'est encore plus difficile; ce serait une seconde raison pour condamner le matage à l'intérieur. (*Applaudissements.*)

M. Compère. — Je vais répondre en quelques mots à ce qu'a dit notre collègue, M. Sauvage.

Je n'ai pas cherché quels étaient les inconvénients et les défauts que peuvent provoquer les matages dans les tôles; j'ai voulu simplement rendre compte d'essais hydrauliques avant matage. En ce qui concerne le matage à l'intérieur, M. Sauvage dit qu'il peut avoir le mauvais effet de laisser produire des criques qu'on ne verrait pas, c'est vrai; mais si nous nous plaçons au point de vue du matage nécessaire, il semble qu'il faille d'abord mater intérieurement, pour éviter déjà la production de la fuite; par le matage extérieur, on ne fait qu'aveugler la fuite, et on peut obtenir une fausse sécurité, car une fente naissante peut exister dans la rivure.

M. Sauvage. — Je crois que nous sommes pratiquement d'accord, et pour le motif suivant : Nous sommes d'accord pour dire que, théoriquement, nous devons chercher à construire la chaudière sans matage. Maintenant, nous reconnaissons que, la chaudière étant construite; il sera nécessaire de donner quelques coups de matage. Eh bien, pour beaucoup de chaudières, ce sera forcément à l'extérieur. D'ailleurs, pratiquement, si on est en présence d'une chaudière, on voit l'eau fuir et il semble qu'il serait difficile d'aller mater à l'intérieur, tandis qu'on donnera quelques coups de matoir à l'extérieur, le moins possible, mais on arrivera au matage extérieur plutôt qu'intérieur.

M. Compère. — Il serait à désirer que les chaudières fussent faites sans aucun matage ; je reconnais qu'il suffirait alors d'un léger matage à l'extérieur pour étancher les quelques suintements qui se produiraient lors des épreuves.

M. Schmidt. — M. Compère a parlé tout à l'heure d'un cas particulier dans lequel on a constaté des cassures pour ainsi dire un peu par hasard ; il a fait remarquer qu'on avait enlevé successivement un rivet, puis un autre, et qu'on s'est aperçu que la cassure existait. Il y a donc un intérêt important, quand on est en présence d'une fuite, à s'abstenir de mater, parce que la fuite peut avoir pour cause des cassures qui seraient aggravées par le matage, ce qui, surtout dans les rivures longitudinales, peut avoir des conséquences funestes. Je demande s'il ne faudrait pas établir, comme règle, de supprimer complètement le matage, dans le cas de fuites dans les rivures longitudinales tant qu'on ne s'est pas assuré, par l'enlèvement d'un nombre suffisant de rivets, de l'absence de toute cassure. Il en est de même pour les rivures des têtes en fonte, dont on ne peut se rendre compte qu'en chassant plusieurs rivets. Dans ces deux cas, pour

le moins, je crois qu'il faudrait s'imposer, comme règle, d'interdire toute espèce de matage, tant qu'on n'a pas découvert l'origine de la fuite.

M. Compère. — Je ne crois pas qu'il faille aller aussi loin. On ne peut pas prohiber le matage d'une façon absolue; on peut y avoir recours en cas de fuites légères, mais, ainsi que je l'ai dit plus haut, toujours avec la plus grande prudence.

Si une cassure intérieure existe, sans chercher si le matage l'agrandit, il faut se préoccuper de la fausse sécurité qu'on obtiendrait si l'on finissait par avoir une clouure étanche.

Comme je l'ai dit, c'est en cas de fuites persistantes qu'il faut, avant tout matage, vérifier la rivure en enlevant un rivet, puis un autre, etc.

M. le Président. — La question est tout à fait neuve; ce n'est guère que depuis un an, dix-huit mois au plus qu'elle est à l'ordre du jour. On nous a consultés maintes fois à son sujet parce qu'on ne savait pas trop à quelle conclusion s'arrêter. C'est à la suite d'accidents très graves que la question s'est posée. Jusqu'à présent la pratique n'a conduit à aucune conclusion ferme. Il faut donc considérer l'échange d'observations qui vient d'avoir lieu simplement comme un document intéressant qu'il faut avoir soin de conserver pour en tirer plus tard des résultats utiles, quand la question aura été plus complètement étudiée.

Messieurs, sommes-nous d'accord? (*Approbatum unanime.*)

Rien n'étant plus à l'ordre du jour, nous allons suspendre la séance. On a déposé des propositions et des conclusions; le Bureau va les examiner.

Quelques membres avaient l'intention de parler sur des

questions qui ne sont pas portées à l'ordre du jour du Congrès et pour lesquelles il n'y a pas de rapports. S'il reste du temps, on pourra leur donner la parole.

M. Walther-Meunier. — Messieurs, nous avons épuisé l'ordre du jour; je crois être votre interprète à tous en exprimant les meilleurs remerciements du Congrès à M. le Président. (*Applaudissements.*)

La séance est suspendue à 4 heures et demie.

La séance est reprise à 5 heures.

M. le Président. — Messieurs, sur les premières questions, c'est-à-dire celles de la première journée, vous vous souvenez que M. Aguillon avait présenté deux formules de vœux. Ces deux formules ont été examinées avec beaucoup de soin, et nous avons reconnu que l'une était acceptable à peu près d'une façon complète dans la forme où il l'a donnée; que, quant à la seconde, avec une certaine modification, elle pouvait être adoptée, à condition de l'adresser à qui de droit, et non à des législateurs.

Pour la première question, voici la forme que je sou mets à votre vote :

Le Congrès émet le vœu que, dans chaque État, il soit publié des statistiques établies sur les mêmes bases et faisant connaître par année et par catégorie d'appareils à vapeur, l'effectif des appareils, le nombre de leurs accidents et les conséquences de ceux-ci, les tués et les blessés étant comptés séparément.

Cela ne peut gêner personne.

En conséquence, Messieurs, je prie ceux qui sont d'avis

d'adopter l'expression de ce vœu de vouloir bien lever la main. (*Toute l'Assemblée.*)

Avis contraire? (*Personne.*)

Il n'y a pas d'opposition, le vœu, en conséquence, est adopté à l'unanimité.

M. le Président. — Voici maintenant la deuxième proposition :

Le Congrès estime qu'il est désirable, dans les pays où il existe des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, que les pouvoirs publics combinent l'action desdites Associations avec celle de l'État, en réduisant cette dernière à ce qui est strictement nécessaire.

Que ceux qui sont d'avis d'adopter l'expression de ce desideratum veuillent bien lever la main. (*Toute l'Assemblée.*)

Avis contraire? (*Personne.*)

Il n'y a pas d'opposition; le desideratum est adopté à l'unanimité.

M. le Président. — Passons maintenant à la troisième proposition :

Le Congrès estime que les épreuves hydrauliques des appareils à vapeur ayant déjà servi, ne donnent pas, à elles seules, des garanties suffisantes de sécurité, si elles ne sont pas accompagnées d'une visite intérieure.

Tout le monde est d'accord, je crois? Il n'y a pas d'opposition, ni parmi les ingénieurs d'État, ni parmi les Associations?

Par conséquent, que ceux qui sont d'avis de l'adopter veuillent bien lever la main. (*Toute l'Assemblée.*)

Avis contraire? (*Personne.*)

Personne ne levant la main, la déclaration est adoptée à l'unanimité.

M. le Président. — Quatrième question. Ici il s'agit d'une question tout à fait spéciale : c'est la question des appareils à vapeur qui sont construits dans un pays et sont transportés neufs dans un autre, où ils doivent être employés et où il y a un usage déjà établi pour de pareils emplois. Voici l'expression de ce vœu :

Il est désirable, lorsqu'une chaudière enveloppée, dont l'épreuve hydraulique se fait officiellement chez le constructeur, sera transportée neuve du pays du constructeur dans un autre pays, que l'épreuve officielle faite dans le pays d'origine soit considérée comme équivalente de l'épreuve du pays d'emploi, sauf motifs spéciaux.

C'est-à-dire que, lorsque les conditions d'épreuve sont équivalentes dans deux pays, la chaudière s'en va d'un pays à l'autre sans formalité spéciale. A l'arrivée de la chaudière dans le pays d'emploi, on enlève la rondelle attestant que l'épreuve a été faite, et on la remplace par celle du pays d'emploi. Cela se fait ainsi en France.

M. Déjardin. — Je ne puis me rallier, au nom du gouvernement belge à cette motion, à cause de l'application de la marque de tôle que l'ingénieur de notre pays doit pouvoir constater *de visu*, au moment de la réception de la chaudière. Nous serions très heureux de pouvoir user de la même réciprocité, dans des cas analogues; mais tant que le gouvernement belge exige la marque officielle de constatation d'épreuve, je ne peux me rallier à ce vœu. C'est pourquoi je m'abstiendrai.

M. le Président. — Dans ces conditions-là, vous vous abstenerez.

M. Walckenaer. — Je comprends la réserve de M. Déjardin; mais il me semble qu'on pourrait trouver une formule qui lui donnerait satisfaction. Lorsqu'un constructeur français a une chaudière à destination de la Belgique, il n'a qu'à se conformer à la prescription de laisser une marque apparente sur les tôles? Je comprends l'obligation qui vous est faite en Belgique par la loi de 1884. On pourrait ajouter : « Toutes les garanties prévues par le gouvernement du pays du destinataire étant supposées remplies par le pays d'origine.

M. Déjardin. — Avec cette addition, je me rallie à la proposition.

M. de Radinger. — Messieurs, j'ai la même observation à faire, parce que, dans notre pays, en Autriche, c'est le principe que c'est le même ingénieur qui a le contrôle d'une chaudière, qui doit faire la réception de cette chaudière et l'épreuve. C'est impossible qu'un ingénieur prenne la responsabilité d'une chaudière qu'il n'a pas vue à l'état neuf.

M. le Président. — Permettez-moi de vous dire que j'ai reçu, moi personnellement, en Autriche, au moins 70 ou 80 locomotives, au nom de différentes Compagnies françaises, il y a 17 ans.

M. de Radinger. — Cet ordre date d'à peu près quatre ans.

M. Sauvage. — Il me semble que les raisons que nous venons d'entendre seraient plutôt en faveur de la proposition, puisqu'on nous dit : — L'ingénieur qui est sur place, qui a pu suivre la construction de la chaudière, a qualité pour l'éprouver sciemment; eh bien, qu'il l'éprouve ! Tandis que l'ingénieur du pays où la chaudière

arrive n'a pas suivi la construction, et c'est lui qui fait une épreuve, dont la signification est moindre pour lui que pour l'ingénieur du pays d'origine. Il semble que ce qu'on dit appuie plutôt ma proposition.

M. le Président. — Remarquez que la formule pourrait être mieux présentée. On peut dire que, lorsqu'une chaudière éprouvée dans des conditions telles qu'elles puissent être considérées comme donnant une sécurité équivalente à celle des épreuves du pays où doit avoir lieu l'emploi, l'épreuve sera considérée comme équivalente. Quelle objection faire à cela ?

M. Déjardin. — Il faut non seulement qu'elle donne une sécurité équivalente, mais que l'ingénieur qui procédera à l'épreuve, dans le pays où la chaudière a été construite, soit sûr que toutes les conditions du pays destinataire auront été observées.

M. le Président. — Du moment que le poinçon est appliqué, cela veut bien dire que l'ingénieur a pris les précautions nécessaires pour assurer que l'épreuve a été faite dans des conditions satisfaisantes. N'oublions pas que nous voulons faciliter les rapports entre les pays.

M. Déjardin. — C'est-à-dire que l'ingénieur d'État ou représentant du pays d'origine serait substitué au pays destinataire. Mais, il faut en outre que, suivant les diverses législations des pays destinataires, cet ingénieur s'assure que toutes les prescriptions du pays destinataire sont observées.

M. Walckenaer. — Monsieur le Président, voulez-vous me permettre de proposer ceci pour la dernière partie de la proposition :

« Pourvu que toutes les prescriptions du règlement

« prévues par ce dernier pays aient fait l'objet d'un
« constat régulier. »

M. Déjardin. — C'est tellement dans ma pensée, que l'année dernière, cela s'est fait en Allemagne.

M. de Radinger. — Il faut se placer aussi à un autre point de vue ; c'est celui des règlements, qui ne sont pas les mêmes. Comme je l'ai déjà dit, c'est un principe chez nous, que l'ingénieur qui doit contrôler la chaudière doit au préalable l'avoir reçue et que la responsabilité doit être conservée sur une même personne.

M. le Président. — Eh bien, mais la personne peut se tromper comme une autre ; que ce soit fait par l'un ou par l'autre, en définitive, cela ne donne pas plus d'autorité.

M. Casevitz. — Je crois que le principe du vœu en question est de supprimer toutes les épreuves relatives aux chaudières exportées ; le but de ce vœu est d'arriver à une entente générale, de manière qu'une chaudière soumise à une épreuve sérieuse dans le pays d'origine, n'ait pas besoin d'être soumise, au pays destinataire, à d'autres épreuves très sérieuses. Or, les épreuves faites au sujet des chaudières et les conditions fixées par les règlements de chaque pays ne sont que des conditions de sécurité. Chaque pays a appliqué chez lui des lois spéciales. Je pense donc qu'il serait intéressant d'émettre un vœu sur l'uniformisation des différentes méthodes d'essais dans les différents pays, de manière qu'une épreuve faite dans ces conditions-là soit admise.

M. le Président. — On n'y arrivera pas. Remarquez qu'on fait confusion. De quoi parle le vœu ? Il ne parle que d'épreuves ; il ne parle pas de soupapes, il ne

parle pas des accessoires; il ne parle que d'épreuves.

On demande seulement qu'un timbre constate que la chaudière a supporté telles épreuves. Voilà ce qu'on vous demande. Maintenant, quant à la construction de la chaudière, nous ne nous en occupons pas le moins du monde; et en général, en France, nous ne nous en inquiétons pas; on nous donne une chaudière éprouvée portant son timbre, nous l'acceptons.

Je vais soumettre au vote la rédaction modifiée :

Il est désirable, lorsqu'une chaudière dont l'épreuve hydraulique se fait chez le constructeur, doit être transportée neuve du pays constructeur dans un autre pays, que l'épreuve officielle faite dans le pays d'origine soit considérée comme équivalente de l'épreuve faite dans le pays d'emploi, pourvu que toutes les prescriptions du règlement prévues par ce dernier pays aient été observées et aient fait l'objet d'un constat régulier.

Que ceux qui sont d'avis d'adopter ce vœu veuillent bien lever la main.

Le vœu est admis par 33 voix contre 10.

M. le Président. — Le cinquième vœu (c'est aux Associations qu'il s'adresse) serait celui-ci :

L'attention des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur est attirée sur l'utilité qu'il y aurait pour la sécurité publique, à étendre leur surveillance sur l'emploi et la construction des récipients à vapeur.

Quelqu'un a-t-il des objections à opposer à cette formule? Vous savez que la plupart des Associations ne se sont occupées jusqu'à présent que des chaudières à vapeur, et pas des récipients, qui sont pourtant d'un

emploi très dangereux. On l'a bien reconnu depuis un certain nombre d'années et on a pensé que les Associations feraient bien, à l'avenir, de surveiller aussi les récipients; elles rendraient un grand service à l'industrie.

M. Perelli. — En Allemagne, on s'occupe depuis longtemps des récipients de vapeur. En Italie, on est obligé de s'en occuper, puisque la surveillance en est devenue obligatoire depuis 1897. Avant, l'Association de Milan avait des sociétaires qui inscrivaient volontairement aussi les récipients de vapeur.

M. le Président. — Vous avez fait à l'avance ce que nous demandons.

M. Pelletier. — Le mot « récipient » comprend-il les tuyautages ?

M. le Président. — Non ! Non ! Laissons à chaque chose sa véritable dénomination. Aujourd'hui, tout le monde sait ce que c'est qu'un récipient.

Que ceux qui sont d'avis d'adopter ce vœu veuillent bien lever la main. (*Toute l'Assemblée, moins M. Déjardin.*)

M. Déjardin. — Je m'abstiens, parce que c'est une question tout à fait en dehors des attributions gouvernementales.

M. le Président. — Il ne s'agit pas de gouvernement le moins du monde; cela ne s'adresse qu'aux Associations et non aux gouvernements. C'est une invitation aux Associations de propriétaires d'appareils à vapeur de s'occuper de l'emploi d'appareils qui, jusqu'à présent, n'ont pas été inspectés par elles et sur lesquels il y aurait intérêt, pour

elles comme pour l'industrie, à exercer une surveillance efficace.

M. Déjardin. — Dans ces conditions-là, je vote le vœu avec empressement.

M. le Président. — Le vœu, je le répète, est adressé aux Associations de propriétaires d'appareils à vapeur; il les invite à exercer une surveillance qui, dans quelques pays, n'est faite par personne; les Associations l'adoptent. Que ceux qui sont d'avis d'adopter le vœu veuillent bien lever la main. (*Toute l'Assemblée.*)

Avis contraire? (*Personne.*)

Le vœu est adopté à l'unanimité.

M. le Président. — Sixième vœu. — Par ce vœu, nous ne nous adressons ni aux gouvernements, ni aux Associations, mais aux industriels. La question avait été posée d'une façon un peu différente; mais, après l'avoir étudiée sous ses différentes faces, le Bureau a reconnu qu'elle ne pouvait être solutionnée que par les industriels. C'est la question des chaufferies.

L'attention des industriels faisant usage des appareils à vapeur est attirée, tant au point de vue de leur responsabilité que dans l'intérêt de la sécurité des personnes chargées de la conduite des chaudières, sur la nécessité d'installer des chaufferies spacieuses telles que le séjour y soit hygiénique en tout temps et, qu'en cas d'explosion, en quelque point qu'un chauffeur se trouve occupé, il ait à sa disposition pour s'échapper, des issues directes toujours libres et aisément praticables.

L'application de ce vœu ne peut porter préjudice à personne; elle est simple œuvre d'humanité. En même temps qu'elle mettra les industriels à l'abri de bien des

responsabilités, elle assurera aux chauffeurs des conditions d'hygiène et de sécurité, dont ils sont loin de jouir à présent.

Que ceux qui sont d'avis d'adopter le vœu veuillent bien lever la main. (*Toute l'Assemblée.*)

Avis contraire? (*Personne.*)

Adopté à l'unanimité.

M. le Président. — Septième vœu. — Ce vœu concerne les chaudières à petits éléments, considérées au point de vue des questions traitées par MM. Compère et Vincotte; tel qu'il est formulé il paraît constituer une solution satisfaisante.

Il est désirable, dans la construction et l'installation des chaudières à tubes d'eau, non seulement que toutes les précautions utiles soient prises pour rendre inoffensive la rupture éventuelle d'un tube vaporisateur, mais encore que tous les tampons soient à fermeture autoclave.

L'expérience s'est prononcée d'une façon très nette à ce sujet, et nous pouvons, je crois, adopter sans hésitation ce vœu tel qu'il est formulé.

Que ceux qui sont d'avis de l'adopter veuillent bien lever la main. (*Toute l'Assemblée.*)

Avis contraire? (*Personne.*)

Le vœu est adopté à l'unanimité.

Messieurs, les autres questions présentées au Congrès ne comportant pas de vœux, nous arrêterons ici les propositions à vous faire.

Vous voici arrivés à la fin de vos travaux. Vous pouvez vous féliciter de leurs résultats, obtenus grâce au soin et à l'attention que vous avez apportés, dans le cours de nos trois jours de session, à la discussion des questions traitées.

Avant de clore le Congrès, qu'il me soit permis de vous remercier de votre empressement remarquable à suivre les séances et de la façon vraiment cordiale, avec laquelle vous avez facilité à votre Président la mission qu'il avait à remplir. Il lui est agréable d'espérer qu'à la suite de ce Congrès, il naîtra entre ses adhérents plus que des relations d'habitude de quelques jours, mais de ces germes d'amitié, qui font qu'en se revoyant, on se tend amicalement la main. (*Applaudissements.*)

Messieurs, vous allez bientôt nous quitter; nos meilleurs souhaits de bonheur et de prospérité vous accompagneront dans vos foyers.

Avant de lever la séance, il me reste un devoir à remplir. J'ai déjà remercié, en votre nom, MM. les rapporteurs; j'ai maintenant à m'adresser à MM. les secrétaires pour leur exprimer les félicitations et les remerciements du Congrès pour le zèle et le dévouement avec lesquels ils ont rempli leur délicate fonction. (*Applaudissements.*)

M. Vinçotte. — Permettez-moi d'ajouter un mot. M. le Président nous a remerciés de l'empressement que nous avons mis à assister aux séances et a regardé cela comme une des causes pour lesquelles le Congrès a si bien réussi. Permettez-moi de dire que c'est surtout grâce à la façon dont il a été dirigé, à la façon agréable dont chaque question a été posée. Je propose donc d'acclamer Monsieur le Président, pour lui montrer la façon dont nous reconnaissons le service qu'il nous a rendu. (*Vive acclamation.*)

M. Compère. — Je voudrais ajouter un mot; c'est un peu à notre point de vue personnel. Nos Associations se réunissent depuis plus de vingt ans entre elles; vous avez bien voulu, Monsieur le Président, les mettre cette année

sous votre patronage, non seulement les Associations françaises, mais aussi les Associations étrangères; nous vous en sommes très reconnaissants et nos Associations en ont été très touchées. (*Applaudissements.*)

M. le Président. — Messieurs, vos remerciements me touchent profondément; ils me sont allés au cœur. (*Applaudissements.*)

La séance est levée et le Congrès clos à 5 heures trois quarts.

VISITE DU CONGRÈS
AUX
EXPOSITIONS DES ASSOCIATIONS
DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR
et aux chaudières en fonctionnement.

Mardi, 17 juillet 1900.

Le mardi 17 juillet, les membres du Congrès se sont réunis à 9 heures du matin à l'Exposition collective des Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur, au Champ-de-Mars, classe 19. M. Compère, délégué général des Associations, secrétaire général du Congrès, leur fait visiter la très intéressante collection des Associations françaises, consistant en échantillons aussi nombreux que variés des différents défauts rencontrés au cours des visites intérieures des chaudières : bosses, pailles et fentes aux tôles de coup de feu ; corrosions intérieures sous leurs diverses formes, en sillons, dans des chambres de vapeur, etc. ; corrosions extérieures par fuites aux rivures et autres ; corrosions intérieures et extérieures à des tubes ; fentes entre rivets dans des clouures transversales et longitudinales ; fissures dans les parties coudées, telles que les collerettes de dômes et de com-

munications, les cornières; déchirures et fissures à des tubes à eau et à des tubes à fumée; avaries à des tubes en laiton; incrustations importantes sur les tôles de coup de feu, les réchauffeurs, les tubes à eau et à fumée, les tuyaux d'alimentation, etc.

Outre ces échantillons, la collection des Associations comprenait de nombreux spécimens relatifs à la construction des chaudières, à l'emploi des tôles de fer et d'acier, aux essais des tôles, des tubes, etc., et enfin des avaries diverses sur les accessoires des chaudières et sur des pièces de machines.

Tous ces défauts et ces échantillons étaient soigneusement classés et étiquetés dans des vitrines spéciales; ils constituaient un véritable musée des Associations.

L'exposition comprenait, en outre, une grande carte de la France divisée suivant les régions propres à chacune des onze Associations françaises; puis quatre tableaux graphiques donnant par année, depuis la fondation des Associations en 1873: 1° le nombre d'établissements des associés et le nombre des chaudières inscrites; 2° le nombre de visites effectuées; 3° le nombre de relevés de diagrammes et d'essais de consommation de machines; 4° enfin le nombre des chaudières reçues, de tubes et de tôles réceptionnés suivant le cahier des charges des Associations.

Le rôle des Associations ne se bornant pas uniquement à la surveillance des générateurs, des diagrammes montrant des défauts de régulation de machines avaient été réunis dans un très intéressant album.

L'exposition était complétée par une collection de

photographies et de gravures représentant des explosions et des avaries d'appareils à vapeur.

Enfin une bibliothèque technologique embrassant l'ensemble des questions se rapportant à la production et à l'emploi de la vapeur était exposée par les Associations : comptes rendus des Congrès annuels des ingénieurs en chef, bulletins et publications diverses de chacune des Associations, etc. (1).

Les membres du Congrès se sont ensuite rendus à l'exposition de l'Association autrichienne de propriétaires d'appareils à vapeur. MM. Zwiauer, ingénieur-directeur et Krauss, ingénieur-inspecteur de l'Association, ont fait aux Congressistes les honneurs de leur exposition.

Nous mentionnerons spécialement parmi les objets exposés une série complète et très intéressante d'appareils d'essais, indicateurs dynamométriques, appareils à tarer les ressorts, un appareil enregistreur des fumées, etc.

L'Association présentait en outre de nombreux graphiques et en particulier une carte indiquant la répartition des chaudières dans son ressort suivant leurs types.

Les membres du Congrès se sont ensuite rendus aux expositions des Associations italiennes où ils ont

(1) Le Musée des Associations françaises, à l'Exposition, est actuellement reconstitué dans les bureaux de l'Association parisienne de propriétaires d'appareils à vapeur.

été reçus par MM. Perelli, Décugis et Zancani, directeurs des Associations respectives de Milan, de Turin et Gênes.

Ces Associations avaient exposé dans une vitrine commune leurs statistiques, leurs publications diverses et leurs *Bulletins*. L'Association de Milan présentait en particulier une collection intéressante, recueillie et classée par M. Perelli, son directeur. Les pièces de cette collection se rapportaient plus particulièrement aux défauts, accidents et procédés de construction de récipients de vapeur.

A l'issue de ces différentes visites, les Congressistes se sont rendus au hall des chaudières fournissant la vapeur pour la force motrice.

M. Compère leur en a montré l'installation et leur a fait ressortir les bonnes dispositions prises, au double point de vue de l'hygiène et de la sécurité, pour les chaufferies qui étaient très éclairées et bien aérées; le travail des chauffeurs y était facile; de nombreux passages permettaient au personnel de se dégager en cas d'accident.

M. Compère a rappelé aux visiteurs les mesures arrêtées par le Comité technique des chaudières à l'Exposition, en vue d'éviter les accidents de chaufferie. Ces mesures consistaient principalement dans la prescription faite aux constructeurs de munir leurs générateurs de portes de foyer et de cendriers à fermeture automatique pour les chaudières multitubulaires et de portes de foyer solidement loquetées pour les

chaudières non-multitubulaires ; pour les générateurs multitubulaires, il était recommandé de plus que des trappes d'expansion devaient être ménagées à la partie supérieure des fourneaux ; d'autre part, les portes de devanture devaient être pourvues d'une fermeture solide et de barres de sûreté ; les conduites de vapeur devaient être munies de clapets automatiques d'arrêt pouvant assurer la fermeture, tant dans le sens de l'écoulement de la vapeur que dans le sens inverse. Il était en outre formellement interdit de serrer des joints à chaud et les tubes de niveaux devaient être munis de protecteurs pour empêcher la projection des éclats de verre en cas de rupture.

M. Compère a montré sur les diverses chaudières comment ces prescriptions ont été réalisées. La visite s'est terminée à midi.

COMPTE RENDU
DU BANQUET DU CONGRÈS

17 juillet 1900.

Un banquet a eu lieu le mardi 17 juillet au Palais d'Orsay sous la présidence de M. Prévot, Sénateur, Président du Conseil d'administration de l'Association parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur. Plus de cent convives assistaient à ce banquet. Parmi eux, nous citerons :

M. Linder, Inspecteur général des Mines, ancien Président de la Commission centrale des machines à vapeur, Président du Congrès; **M. le Professeur de Radinger**, Conseiller aulique, Délégué du Gouvernement autrichien au Congrès, Vice-Président du Congrès; **M. de Angeli**, Sénateur, Président du Conseil d'administration de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de Milan, Vice-Président du Congrès; **M. Canet**, Président de la Société des Ingénieurs civils de France; **M. Sciama**, Membre et Délégué de la Chambre de Commerce de Paris au Congrès; **M. le Professeur Gariel**, Délégué principal pour les Congrès de l'Exposition de 1900; **M. Déjardin**, Ingénieur en chef des Mines, Directeur au Ministère belge de l'Industrie et du Travail, Délégué du Gouvernement belge au Congrès; **M. Piepers**, Ingénieur en chef du Contrôle sur les appareils à vapeur en Hollande, Délégué du Gouvernement des Pays-Bas au Congrès; **M. le Professeur de Doepp**, Délégué du Gouvernement russe au

Congrès; **M. Walckenaer**, Ingénieur en chef au Corps des Mines, chargé de la surveillance des appareils à vapeur dans le département de la Seine; **MM. Terré, Brocard et Lhomme**, Ingénieurs de la Marine, Délégués du Ministère de la Marine au Congrès; **M. Barrier**, Ingénieur, Délégué du Ministère de la Guerre au Congrès; **M. le Capitaine Giraudet**, Délégué de la Section technique de l'artillerie; **M. Lanz**, Vice-Président du Jury de la Classe 19 à l'Exposition universelle de 1900; **MM. Bochet, Bellom et Herscher**, Ingénieurs au Corps des Mines; **M. Bourdon**, Président de la Chambre Syndicale des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondeurs, Administrateur délégué de l'Association parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur; **MM. Rihoseck, Diehl et Burger**, Délégués du Ministère des Chemins de fer autrichiens; **M. Zwiauer**, Délégué de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne, Ingénieur-Directeur de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de Vienne; **M. Sprega**, Délégué de la Société des Ingénieurs et Architectes de Rome; **MM. Mercedes Guerreiro et Renato Baptista**, Délégués de la Société des Ingénieurs civils portugais; **M. Mesureur**, Président de la Société des Anciens Élèves des Écoles d'Arts et Métiers; **M. Marteau**, Délégué de la Société Industrielle de Reims; **MM. Piat et Feray**, Membres du Conseil d'administration de l'Association parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur; les Ingénieurs en chef des Associations de France, d'Italie, d'Autriche, de Bohême, etc.

Au dessert, **M. PRÉVET** prend la parole.

Il constate les heureux effets du Congrès; il en fait ressortir les deux points principaux: tout d'abord la part importante prise par les Gouvernements étrangers aux travaux du Congrès, et l'appréciation que l'Administration française fait du concours dévoué que lui apportent les Associations de propriétaires d'appareils à vapeur dans l'œuvre de la sécurité publique.

Les Congrès font, dit-il, un travail hâtif, mais ce travail portera ses fruits. M. PRÉVET compare les Congressistes à des voyageurs qui déposent rapidement dans la belle gare qu'est le Palais des Congrès les travaux qu'ils ont apportés, pour céder la place à d'autres. Mais après l'Exposition, quand on reprendra ces travaux, on aura la notion des grands efforts qui ont été tentés, et de tout ce qui reste encore à faire dans l'avenir; en particulier, pour le Congrès des appareils à vapeur, l'Administration en perçoit déjà la portée importante.

M. PRÉVET remercie ensuite M. LINDER d'avoir bien voulu prendre le Congrès sous son haut patronage et de le présider avec la largeur de vues qu'il apporte à toutes les questions qu'il traite. Il est heureux de féliciter tout particulièrement M. WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines du département de la Seine, pour la précieuse collaboration qu'il apporte aux travaux du Congrès et pour l'esprit si libéral qui le guide dans l'accomplissement de la haute mission de sécurité que lui est confiée.

Il remercie enfin les délégués des gouvernements étrangers des documents qu'ils ont bien voulu apporter au Congrès et il boit aux souverains qu'ils représentent.

M. LINDER, Président du Congrès, exprime ensuite combien il a été heureux de diriger le Congrès qui touche à des questions qui le passionnent tout particulièrement : celles des accidents du travail et de leur prévention.

M. WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines du département de la Seine, remercie M. PRÉVET de ses aimables félicitations et il souhaite que, en ce qui concerne la France, l'action des Associations s'accroisse de plus en plus, et que l'Administration des Mines cherche les meilleures solutions pour se décharger sur elles de tout ce qu'elle peut ne pas faire elle-même.

M. DE RADINGER, Délégué du gouvernement autrichien et Vice-Président du Congrès, au nom de ses collègues étrangers, remercie le Congrès de l'excellent accueil qui leur a été fait.

M. DE ANGELI, Sénateur, Président de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de Milan, Vice-Président du Congrès, s'intéresse comme M. LINDER à toutes les questions soulevées par les accidents du travail, et il est très heureux que les Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur aient pris l'initiative d'un tel Congrès.

M. PIEPERS, Délégué du gouvernement des Pays-Bas est certain d'être l'interprète de tous les membres du Congrès en adressant ses chaleureuses félicitations à M. COMPÈRE, Secrétaire général du Congrès, qui a bien voulu se charger de l'organiser et de le mener à bien.

M. COMPÈRE remercie M. PIEPERS de ses aimables félicitations et il les transmet aux rapporteurs qui tous, sans exception, ont adressé leurs rapports à l'heure dite, ce qui a permis de les faire imprimer et de les distribuer avant l'ouverture du Congrès, et de

rendre ainsi ses travaux beaucoup plus fructueux.

M. OLBRY, Délégué général de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France dit combien il serait désirable qu'après le Congrès les liens créés entre les Associations françaises et étrangères soient continués, pour rechercher ensemble les meilleures solutions dans l'emploi de la vapeur au point de vue de la sécurité et de l'économie.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS
SUR LES APPAREILS A VAPEUR
EN FRANCE

(Publiés par les *Annales des Mines* ; V^o Dunod, éditeur, Paris.)

- 21 juillet 1856. — Loi pénale concernant les appareils à vapeur.
- 30 avril 1880. — Décret réglementant les appareils à vapeur autres que ceux placés à bord des bateaux.
- 30 avril 1880. — Rapport au Président de la République annexé au décret précédent.
- 21 juillet 1880. — Circulaire ministérielle relative à l'application dudit décret.
- 9 avril 1883. — Décret réglementant les bateaux à vapeur qui naviguent sur les fleuves et rivières.
- 14 avril 1886. — Circulaire ministérielle concernant les précautions à prendre pour le chauffage des pistons creux de machines à vapeur.
- 29 juin 1886. — Décret modifiant celui du 30 avril 1880 (chaudières chauffées par les flammes perdues ; clapets d'arrêt de vapeur).
- 16 juillet 1886. — Circulaire ministérielle portant envoi de ce décret.
- 22 décembre 1886. — Décret prolongeant le délai d'application du précédent décret.
- 24 décembre 1886. — Circulaire ministérielle portant envoi du décret du 22.
- 23 août 1887. — Circulaire ministérielle donnant des instructions pour l'exécution des épreuves réglementaires, et indiquant le rôle des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur en cette matière.
- 6 septembre 1887. — Circulaire ministérielle relative à l'application

- du décret du 29 juin 1886 (demande de dispense de clapets d'arrêt de vapeur).
- 14 août 1888. — Circulaire ministérielle relative aux conditions à imposer en cas de tolérance d'emplacement.
- 13 novembre 1888. — Circulaire ministérielle concernant l'application du titre V du décret du 30 avril 1880 (récipients de vapeur sans pression, mais dont l'évacuation est susceptible d'obstruction).
- 11 avril 1891. — Circulaire ministérielle relative aux clapets automatiques de vapeur prescrits par le décret du 29 juin 1886 (clapets battants. — Étanchéité).
- 25 mai 1891. — Circulaire ministérielle contenant des instructions pour la tenue des écritures relatives aux épreuves d'appareils à vapeur (cessation de délivrance obligatoire des certificats d'épreuve, à moins de demande expresse).
- 13 mai 1892. — Circulaire ministérielle concernant le choix des éprouvettes destinées aux essais de métal dans les enquêtes sur les accidents.
- 18 juillet 1892. — Loi portant fixation des contributions directes et des taxes assimilées, pour l'exercice 1893 (fixant les droits d'épreuves des appareils à vapeur).
- 1^{er} février 1893. — Décret réglementant les appareils à vapeur placés à bord des bateaux qui naviguent dans les eaux maritimes.
- 23 septembre 1895. — Circulaire ministérielle donnant les instructions relatives aux épreuves (avec et sans intervention des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur).
- 10 avril 1896. — Circulaire ministérielle concernant la surveillance des locomotives (invitant les maires à informer le service des Mines de l'arrivée des locomobiles venant fonctionner dans leurs communes).
- 1^{er} septembre 1896. — Circulaire ministérielle concernant les défauts de construction des cylindres sécheurs en fonte des papiers.
- 22 septembre 1896. — Circulaire ministérielle indiquant une méthode pour l'évaluation de la puissance d'évacuation des soupapes de sûreté des chaudières placées à bord des bateaux naviguant dans les eaux maritimes.
- 15 décembre 1897. — Circulaire ministérielle relative aux épreuves des récipients à gaz liquéfiés ou comprimés.

- 27 *avril* 1898. — Circulaire ministérielle se rapportant à l'explosion de récipient survenue le 14 octobre 1897 à la sucrerie d'Escaudœuvres.
- 11 *juin* 1898. — Circulaire ministérielle se rapportant aux conditions d'épreuve des cylindres lessiveurs à revêtements céramiques internes employés dans les papeteries.
- 4 *janvier* 1899. — Circulaire ministérielle concernant les dangers que présente l'accumulation de quantités notables d'eau condensée dans les tuyauteries.
- 14 *juin* 1899. — Circulaire ministérielle concernant la surveillance des locomobiles.
- 22 *juillet* 1899. — Circulaire ministérielle se rapportant à la surveillance des machines à vapeur des chemins de fer d'intérêt local et des tramways.
- 3 *avril* 1900. — Circulaire ministérielle sur les instructions relatives à l'exécution de l'article 36 du décret du 30 avril 1880.
- 3 *avril* 1900. — Circulaire ministérielle sur les instructions relatives à l'exécution des articles 65 du décret du 9 avril 1883 et 48 du 1^{er} février 1893, sur les appareils à vapeur placés à bord des bateaux.
- 18 *avril* 1900. — Loi concernant les contraventions aux règlements sur les appareils à pression de vapeur ou de gaz et sur les bateaux à bord desquels il en est fait usage.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

dans le compte rendu du Congrès international
de surveillance et de sécurité
en matière d'appareils à vapeur.

INTRODUCTION.....	V
Règlement.....	XIII
Questions soumises au Congrès.....	XVI
Délégués officiels.....	XIX
Liste des adhérents.....	XXI

RAPPORTS

1 ^{re} QUESTION. — Régimes divers de surveillance des appareils à vapeur, par M. A. Olry	1
2 ^e QUESTION. — Du rôle des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur, dans les différents pays, en matière de surveillance préventive ou d'assurance, par M. Walther-Meunier	31
3 ^e QUESTION. — Du concours des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur pour les épreuves hydrauliques des appareils à vapeur, par M. Compère	55
4 ^e QUESTION. — Épreuves des chaudières exportées, par M. Sauvage	81
5 ^e QUESTION. — Étude sur les accidents de récipients de vapeur, par M. Hébert	84
6 ^e QUESTION. — Dispositions à adopter pour éviter les avaries des tuyautages des appareils à vapeur modernes, par M. Moritz	119
7 ^e QUESTION. — Hygiène et sécurité des chaufferies, par M. Herscher	151

8° QUESTION. — Garanties à exiger des mécaniciens et chauffeurs, par M. A. Bonnin	183
9° QUESTION. — Les chaudières à petits éléments. Résultats obtenus au point de vue de la sécurité, par M. Compère	207
10° QUESTION. — Épuration des eaux d'alimentation des chaudières à vapeur, par M. Fritz Krauss	233
11° QUESTION. — Corrosions intérieures des générateurs, par M. P. Bonet	255
12° QUESTION. — Fabrication des chaudières. Matériaux employés. Leur mise en œuvre dans la construction et la réparation, par M. Compère	326

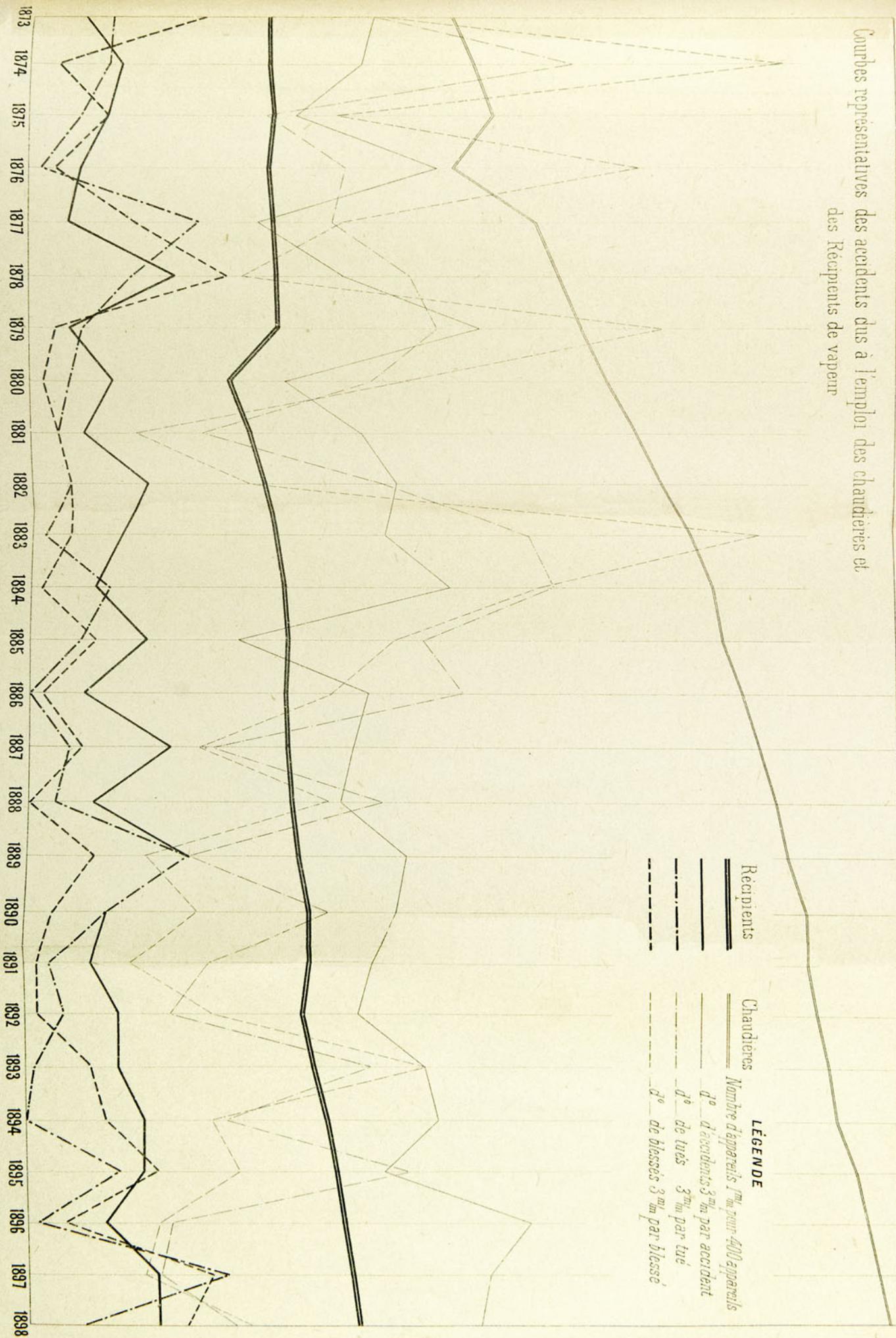
ANNEXES

Note sur l'emploi d'un élasticimètre pour mesurer les déformations des chaudières pendant leurs épreuves, par M. J.-F. de Radin- ger	365
Expériences faites aux usines Pontilof, à Saint-Petersbourg, sur les chaudières combinées avec et sans chargeur mécanique, par M. G. de Doepp	374
Procédé électrolytique de désincrustation des chaudières, par M. N. Sokovnine	381

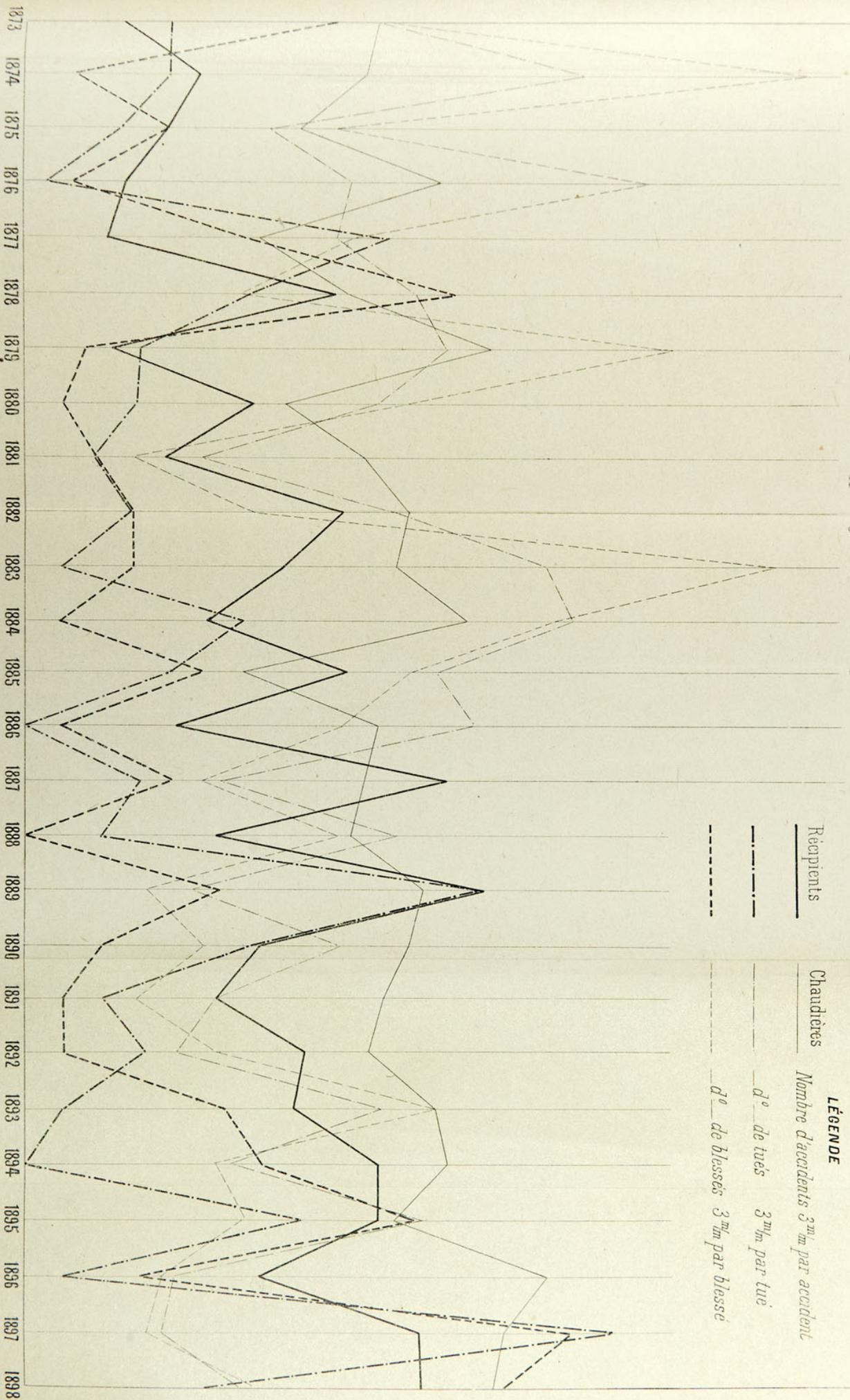
PROCÈS-VERBAUX

Séance d'inauguration. <i>Lundi 16 juillet 1900</i> (matin).....	385
2° SÉANCE. — <i>Lundi 16 juillet 1900</i> (après-midi).....	392
3° SÉANCE. — <i>Mardi 17 juillet 1900</i> (après-midi).....	427
4° SÉANCE. — <i>Mercredi 18 juillet 1900</i> (matin).....	459
5° SÉANCE. — <i>Mercredi 18 juillet 1900</i> (après-midi).	484
Vœux adoptés par le Congrès.....	502
Visite du Congrès aux Expositions des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur et aux chaudières en fonctionnement. — <i>Mardi 17 juillet 1900</i>	514
Compte rendu du banquet du Congrès. — <i>17 juillet 1900</i>	519
Documents administratifs sur les appareils à vapeur en France.	524

Courbes représentatives des accidents dus à l'emploi des chaudières et des Réipients de vapeur



Courbes comparatives des accidents dus à l'emploi des chaudières et des Réceptifs de vapeur
 Le nombre de Chaudières ayant fonctionné chaque année a été supposé égal au nombre de réceptifs



LÉGENDE

Recipients
 Chaudières

Nombre d'accidents 3^m par accident
 d° de tués 3^m par tué
 d° de blessés 3^m par blessé