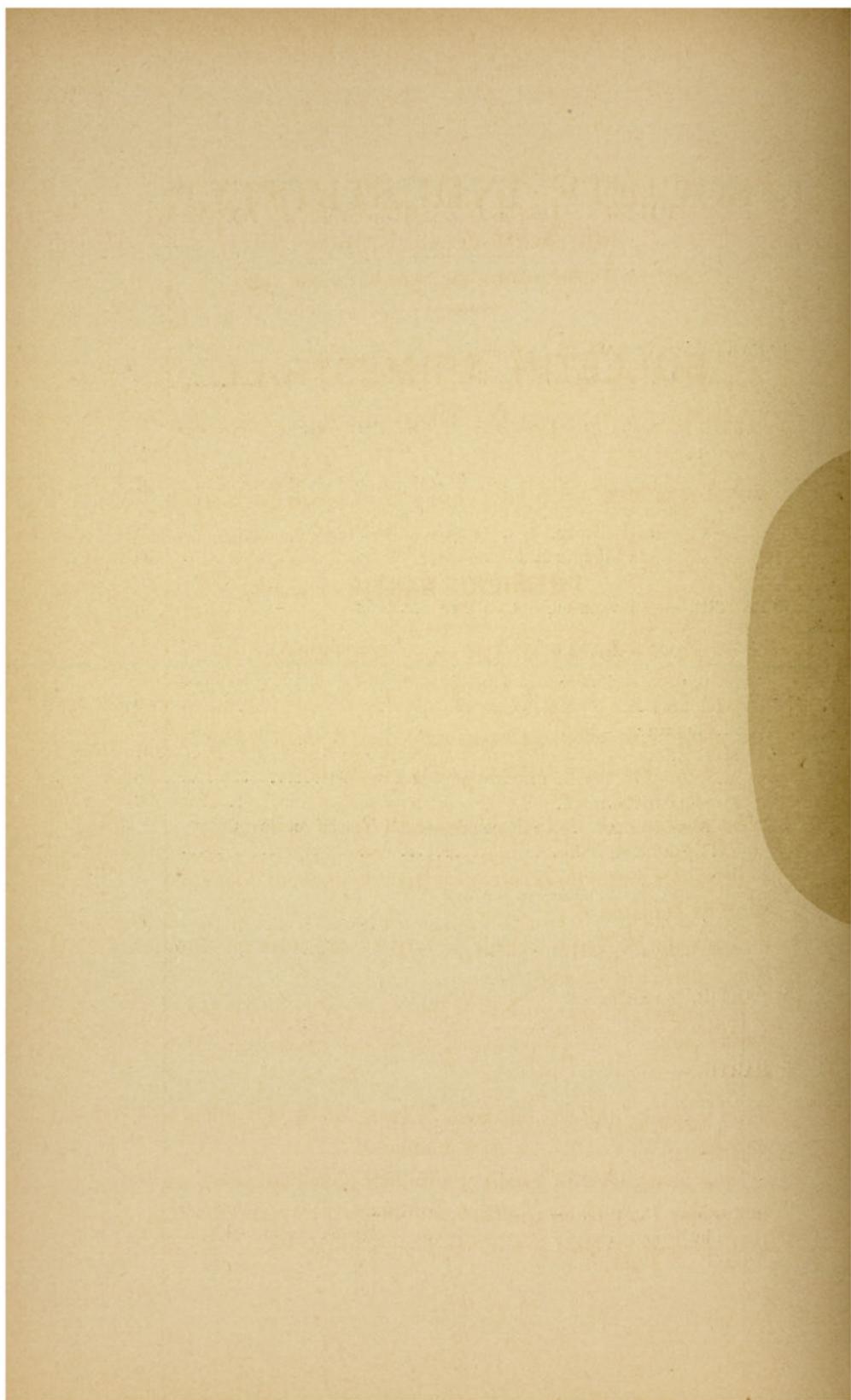


SOMMAIRE DU BULLETIN N° 79.

1 ^{re} PARTIE. — TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ :	
Assemblées générales mensuelles.....	PAGES 89
2 ^e PARTIE — TRAVAUX DES COMITÉS (<i>résumé des procès-verbaux des séances</i>) :	
Comité du Génie civil, des Arts mécaniques et de la Construction..	97
— des Arts chimiques et agronomiques.....	99
— du Commerce, de la Banque et de l'Utilité publique.....	100
— de la Filature et du Tissage.....	103
3 ^e PARTIE. — TRAVAUX PRÉSENTÉS A LA SOCIÉTÉ :	
A. — Analyses.	
M. BUISINE. — Fabrication du sulfate ferrique et son application à l'Épuration des eaux industrielles	90
M. TASSART. — Le Pétrole.	91-95
M. KESTNER. — Nouvel Élevateur de liquide par l'air comprimé....	92-97
M. NEU. — La Traction Électrique dans les Mines.....	98
M. MOLLET-FONTAINE. — La fabrication du Champagne.....	102
M. ANGE DESCAMPS. — Les conditions du Travail et les Caisses d'Épargne en Italie.....	103
B. — Mémoires in extenso.	
M. A. WITZ. — Étude sur les Explosions de chaudières à vapeur..	95-105
M. LENOBLE. — L'Hydrotimétrie.....	101-139
4 ^e PARTIE. — EXCURSION :	
Visite aux ateliers du chemin de fer du Nord à Hellemmes.....	150
5 ^e PARTIE. — DOCUMENTS DIVERS.	
Ouvrages reçus par la bibliothèque.....	163
Supplément à la Liste générale des Sociétaires.....	165
Supplément. — Bulletin 79^{bis}.	
M. ANGE DESCAMPS. — Le Régime des Eaux à Lille — Étude sur l'hygiène et l'assainissement des villes. (Pagination spéciale).	



SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE du Nord de la France

Déclarée d'utilité publique par décret du 12 août 1874.

BULLETIN TRIMESTRIEL N° 79.

—
20^e ANNÉE. — Deuxième Trimestre 1892.
—

PREMIÈRE PARTIE

TRAVAUX DE LA SOCIÉTÉ.

Assemblée générale mensuelle du 25 avril 1892

Présidence de M. ED. AGACHE, Président.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Correspondance

Parmi les pièces de la correspondance se trouvent différentes offres de conférence :

L'une de M. Coquillon sur le grisou et l'autre de M. de Montgaillard sur l'électricité.

Le Conseil, en remerciant ces Messieurs, n'a pas cru devoir donner suite à ces propositions, la saison se trouvant trop avancée.

Un mémoire qui accompagnait la lettre de M. Coquillon a été renvoyé au Comité des Arts chimiques.

Nous avons reçu du Comité de Colmar pour l'érection d'un monument à la mémoire de Hirn, une note sur les souscriptions de différentes sociétés scientifiques et industrielles. — M. LE

PRÉSIDENT pense que la Société Industrielle du Nord de la France, ne peut rester en dehors de ce mouvement destiné à honorer la mémoire d'un savant aussi éminent. En conséquence il propose de souscrire la somme de cinquante francs. — Adopté à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que les demandes de participation au Congrès des Sociétés savantes doivent être transmises au Ministère avant le 10 mai, ainsi que les titres des communications que les participants voudraient y faire.

Local.

Le Conseil d'administration étudie en ce moment divers projets de décoration du nouvel hôtel, mais aucune décision n'a encore été prise jusqu'à présent.

Excursion
aux ateliers
d'Hellemmes.

M. ED. AGACHE invite les membres présents, que l'excursion du jeudi 28 avril aux ateliers d'Hellemmes intéresseraient, à se faire inscrire à l'issue de la séance. M. LE PRÉSIDENT annonce en outre que la Compagnie du chemin de fer du Nord à mis gracieusement à notre disposition un train spécial.

Le départ aura lieu à 8 h. 1/2 du matin de la gare de Lille.

Bibliothèque.

Lecture est donnée de la liste des ouvrages offerts à la Bibliothèque.

M. BUISINE.
—
Fabrication
du sulfate
ferrique et son
application
à l'épuration
des eaux
industrielles.

M. BUISINE passe en revue les derniers perfectionnements qui ont été proposés dans les procédés d'épuration des eaux industrielles et des eaux d'égouts. Il cite notamment les dernières expériences qui ont été faites en Angleterre à Salford. Il résulte de ces essais que les sels ferriques sont, à tous les points de vue, ceux qui donnent les meilleurs résultats mais jusqu'ici leur prix de revient trop élevé ne permettait par leur emploi. Grâce à l'utilisation de la cendre de pyrite pour la fabrication de ces sels, les conditions sont changées. M. Buisine a obtenu avec la cendre de pyrite, sous diverses

formes des résultats très remarquables et une épuration très complète des eaux ainsi traitées. La cendre de pyrite peut être employée suivant le cas à l'état brut ou préalablement transformé en sulfate ferrique ou chlorure ferrique. Après avoir décrit les procédés de fabrication de ces produits il parle de de leurs applications industrielles.

Des essais très intéressants de ces produits viennent d'être faits à Roubaix à l'usine de Grimonpont, installée pour l'épuration des eaux de l'Espierre qui sont de beaucoup les plus impures qu'on puisse trouver.

Les résultats obtenus ont été très satisfaisants tant au point de vue du prix de revient que de la parfaite épuration de l'eau et de la faible quantité de résidus d'ailleurs utilisables.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Buisine de sa communication qui intéresse directement l'industrie toute entière et donne la parole à M. Tassart.

M. TASSART.
Le Pétrole.

Après avoir exposé les diverses interprétations par lesquelles on explique la production du pétrole (origine chimique, origine volcanique, origine organique), M. Tassart passe en revue la géographie et l'histoire de l'industrie pétrolifère en insistant sur les groupes principaux américain et russe.

Il indique ensuite la composition chimique et les propriétés générales du pétrole, en insistant sur le nombre extrêmement grand de composés qu'on peut supposer devoir exister dans le pétrole, et appartenant à la série grasse aussi bien qu'à la série aromatique, la série grasse étant plus spécialement représentée en Amérique, tandis que la Russie donne plutôt des pétroles contenant des corps appartenant à la série aromatique.

Il décrit ensuite les moyens employés pour transporter le pétrole ; transport dans des fûts, dans des wagons ou des bateaux-citernes circulant sur les voies fluviales et maritimes.

Vu l'importance de cette communication la suite en est

remise à la prochaine séance. M. LE PRÉSIDENT espère que M. Tassart, après nous avoir présenté à grands traits son sujet, voudra bien nous en donner les détails dans une grande conférence qui aurait lieu l'hiver prochain.

M. KESTNER
Nouvel élévateur
des liquides
par l'air
comprimé.

L'appareil imaginé par M. Kestner a pour but d'élever automatiquement les liquides par l'air comprimé sans perte de ce fluide au remplissage et sans qu'il soit nécessaire d'accoupler deux élévateurs pour obtenir ce résultat.

Cet élévateur se compose d'un vase de forme quelconque portant à sa partie supérieure une ouverture munie d'un siège de soupape tourné vers l'intérieur. C'est par cet orifice qu'arrive le liquide à élever. L'obturation peut en être faite par une sorte de soupape sphérique creuse qui fonctionne à la manière d'un flotteur. Cette soupape est guidée par un conduit cylindrique vertical qui la pénètre et qui amène l'air comprimé. Par son poids la soupape s'appuie sur l'extrémité de ce conduit dont l'orifice est petit et le ferme par l'interposition d'une bille.

Une colonne de refoulement part du fond du vase pour l'écoulement du liquide élevé sous l'action de l'air comprimé.

L'appareil fonctionne de la manière suivante : le liquide à élever, étant placé dans un récipient à un niveau un peu supérieur à celui de l'élévateur s'y déverse par l'orifice supérieur et le remplit peu à peu. Bientôt le liquide montant soulève la soupape qui reçoit une poussée suffisante en raison du volume qu'elle déplace, mais aussitôt l'air comprimé se répand dans le vase et en même temps qu'il applique par sa pression la partie supérieure en forme de sphère de la soupape sur le siège qui garnit l'orifice du haut, il fait monter le liquide. Lorsque le liquide a disparu par la colonne montante, la pression tombe brusquement et la soupape par son poids vient retomber sur l'extrémité du conduit d'air comprimé et l'obture. Le remplissage recommence sans perte d'air comprimé et les phases se succèdent ainsi indéfiniment.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Kestner de son intéressante communication et le prie de vouloir bien rédiger une note pour le Bulletin.

Assemblée générale mensuelle du 30 mai 1892.

Présidence de M. ED. AGACHE, Présideni.

M. LE SECRÉTAIRE-GÉNÉRAL donne lecture du procès-verbal de la séance d'avril. — Adopté.

Corres-
pondance.

La souscription de la Société Industrielle pour le monument à élever à la mémoire de Hirn, a été envoyée au Comité d'organisation de Colmar qui vient de nous adresser ses remerciements.

M. LE MINISTRE du Commerce nous informe que la subvention ordinaire de mille francs allouée à la Société, nous est accordée de nouveau cette année et nous sera versée par les soins de M. le Préfet du Nord. Des remerciements ont été adressés à M. le Ministre du Commerce.

M. MAMY, directeur de l'Association des Industriels de France contre les accidents, nous prie de porter à la connaissance des membres de la Société, qu'un concours est ouvert pour un bon type de lunettes d'ateliers. Les conditions du concours seront déposées au Secrétariat.

Nous avons reçu également de l'exposition de Chicago différents documents que les membres pourront consulter.

Comité
de filature.

Le comité de filature vient de composer son bureau de la manière suivante :

MM. DUPLAY, Président ;
Albert DELESALLE, Vice-Président ;
BERTHOMIER, Secrétaire.

Local.

Le Conseil s'occupe de la décoration de la grande salle et

de l'immeuble, mais aucune décision n'a pu encore être prise, M. le PRÉSIDENT attendant les projet et devis qui seront fournis prochainement par l'architecte. Différents frais seront encore nécessités pour l'organisation d'un système de ventilation et la couverture du couloir vers la rue du Nouveau-Siècle.

M. LE PRÉSIDENT prie les membres qui désireraient donner leur avis sur ces questions de vouloir bien prendre la parole.

Différentes dépenses de détail, mises aux voix, sont adoptées à l'unanimité.

Congrès
de la
navigation.

MM. les Ingénieurs qui prennent part au Congrès de la Navigation, tenu à Paris cette année, doivent se rendre le mois prochain à Lille. M. LE PRÉSIDENT pense que la Société approuvera le Conseil d'administration, qui se propose de recevoir ces Messieurs et de leur offrir la libre disposition du local pendant leur séjour.

Excursions.

Les excursions ont été inaugurées cette année par la visite aux ateliers du chemin de fer du Nord, à Hellemmes, visite à laquelle assistaient 53 membres de la Société. Un compte-rendu de cette visite paraîtra dans le Bulletin. M. LE PRÉSIDENT est heureux de pouvoir en séance, renouveler à M. Delebecque ainsi qu'à son personnel, les remerciements qu'il lui a adressés le jour de l'excursion, au nom de la Société.

Prochainement la Société visitera les papeteries de MM. Dambricourt, à Wizernes, et l'ascenseur des Fontinettes. Des circulaires seront envoyées en temps utile pour ces excursions.

La lecture de la liste de nombreux dons fait à la Bibliothèque par MM. Ed. Agache et Edm. Faucheur provoque les applaudissements de l'Assemblée.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Witz pour l'exposé de ses recherches sur les causes d'explosions par manque d'eau.

M. A. WITZ.
Recherches
sur les causes
d'explosion
par
manque d'eau.

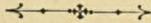
Après avoir rappelé que, sur 70,000 chaudières existant en France, il ne se produit annuellement que 25 à 30 explosions, M. WITZ établit la classification des accidents et il discute leurs causes et leurs effets, en accordant la plus grande attention aux explosions produites par manque d'eau. Tout le monde est unanime pour déclarer que le rougissement des tôles est toujours dangereux, mais si l'entente est complète sur l'appréciation du fait, elle ne l'est pas sur la recherche de ses origines. Une chaudière, dont la paroi a rougi, peut sauter, soit parce que cette paroi s'est affaiblie, soit parce que la pression intérieure a subi un accroissement considérable. Des expériences de laboratoire, faites par M. Witz, l'autorisent à affirmer que, dans une chaudière pourvue de soupapes de sûreté libres et suffisantes, la pression ne saurait devenir excessive, et il est sur ce point entièrement d'accord avec le savant ingénieur de l'association de Manchester, Ch. Fletcher. Par contre, de nombreux expérimentateurs ont observé que la résistance des tôles décroît rapidement au rouge, qu'il se produit alors des dilatations inégales qui peuvent arracher les clouures et déchirer les tôles, dès que celles-ci ne sont pas d'une qualité supérieure, etc. ; tous ces arguments tendent à faire attribuer surtout à l'affaiblissement des parois les explosions par manque d'eau, et elles conduisent M. Witz à formuler des règles de conduite à suivre en cas de rougissement des tôles de coup de feu.

M. TASSART.
Le Pétrole.

M. TASSART continue son intéressante communication en exposant les méthodes de traitement suivies et qui varient suivant les localités et les exigences douanières. Il décrit les principaux appareils employés dans cette industrie, en insistant sur ce point que la capacité des appareils va toujours en croissant bien que des innovations prématurées et mal en point aient semblé, par moments marquer un retour en arrière. Il appelle enfin l'attention des auditeurs sur les nombreuses applications des produits décriés du pétrole brut (chauffage des laboratoires et

éclairage au gaz par la gazoline, éclairage, dégraissage, extraction de corps solubles par les essences, éclairage par les pétroles ordinaires et les pétroles de luxe à point d'inflammation élevé, rendant leur emploi complètement inoffensif, éclairage par les bougies de paraffine, graissage par les huiles lourdes, graisse d'armes Farez, emploi des vaselines en pharmacie, chauffages industriels et moteurs à mélange tonnant, etc.), exprimant l'espoir que de prochaines découvertes viendront bientôt agrandir ce champ déjà si vaste.

M. LE PRÉSIDENT remercie les deux conférenciers et il espère qu'ils voudront bien nous donner leurs travaux *in extenso* pour le Bulletin.



DEUXIÈME PARTIE.

TRAVAUX DES COMITÉS.

Procès-Verbaux des Séances.

Comité du Génie civil, des Arts mécaniques et de la Construction.

Séance du 16 avril 1892.

Présidence de M. A. WITZ, Président.

Après la lecture du procès-verbal de la dernière séance qui est adopté sans observation, M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Kestner qui décrit son nouvel élévateur automatique de liquides par l'air comprimé.

L'appareil se compose d'un vase qui reçoit alternativement le liquide à élever et l'air comprimé qui doit le chasser. La fin de l'une des opérations marque le commencement de la suivante. Un flotteur en forme de sphère coulisse sur une tige centrale creuse qui amène l'air comprimé et l'obstrue par son poids. Le liquide arrive par une ouverture placée au-dessus du flotteur et au point le plus haut du vase. Dès que le niveau du liquide atteint le flotteur, il le soulève et permet à l'air comprimé d'arriver. La pression chasse le flotteur qui forme dès lors soupape contre l'ouverture d'arrivée et lance le liquide dans la colonne montante. Quand tout le liquide est élevé, la pression tombe brusquement et le flotteur, par son poids, est rappelé à sa position première pour permettre de nouveau le remplissage de l'appareil.

M. KESTNER fait ensuite fonctionner sous les yeux du Comité un élévateur en réduction.

M. LE PRÉSIDENT remercie vivement M. Kestner de sa communication.

M. DE SWARTE s'étant fait excuser, M. WITZ donne la parole à M. Neu qui parle d'une installation de traction électrique qu'il vient de faire aux mines de Marles.

Le courant est produit à la surface et actionne au fond une locomotive de 80 chevaux. Les conducteurs sont des rails Vignole de 6*6. M. Neu décrit les dispositions spéciales qui ont été prévues pour l'isolement des conducteurs, le mode de suspension du chariot collecteur, son aiguillage aux changements de voies et le démarrage de la locomotive qui présentait de grandes difficultés à cause de l'état de l'atmosphère.

M. LE PRÉSIDENT invite MM. Kestner et Neu à reproduire leurs communications en Assemblée générale.

Séance du 16 mai 1892.

Présidence de M. A. Witz, Président.

Parmi les pièces de la correspondance se trouve une circulaire du Syndicat des industries d'éclairage. M. Tassart accepte d'en prendre connaissance pour en donner communication au Comité dans une prochaine séance, s'il y a lieu.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. De Swarte qui rappelle les résultats des expériences de vaporisation faites par lui en 1885 et communiquées à cette époque à la Société.

Ce travail n'ayant pas été reproduit au bulletin, M. De Swarte demande à ce qu'il soit publié maintenant tel qu'il a paru dans les annales industrielles en 1886.

Le Comité n'ayant pas qualité pour répondre, M. le Président portera la question devant le Conseil d'administration qui décidera.

Comité de la Filature et du Tissage

Séance du 4 mai 1892

Présidence de M. Éd. AGACHE,

Le Comité procède immédiatement à la nomination du bureau pour l'année courante.

Sont élus :

MM. DUPLAY, président :

Albert DELESALLE, vice-président ;

BERTHOMIER, secrétaire.

M. DUPLAY, après avoir remercié ses collègues, prend place au fauteuil de la présidence et promet de faire tous ses efforts pour faire reprendre au Comité son activité d'autrefois.

Comité des Arts chimiques et agronomiques.

Séance du 8 avril 1892.

M. LACOMBE demande s'il est encore possible d'ajouter maintenant au programme de concours une question qui concernerait l'application de l'acide sulfureux au traitement des jus sucrés.

M. LE PRÉSIDENT répond que le programme est en tirage et demande à M. Lacombe de remettre sa proposition à l'année prochaine.

M. COQ ILLON a adressé à la Société un mémoire sur la ventilation dans les mines grisouteuses. Ce mémoire sera examiné par MM. Lacombe, Witz et Kolb.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Buisine qui entretient le Comité de l'épuration des eaux industrielles par le sulfate ferrique.

Séance du 13 mai 1892.

Présidence de M. LESCOEUR, Président.

M. Buisine s'excuse de ne pouvoir assister à la séance.

M. LE PRÉSIDENT demande au Comité s'il est d'avis de demander à la Commission du Bulletin l'impression du travail envoyé par M. Pellet pour le concours de l'année dernière. — La question est ajournée.

La parole est donnée à M. Lenoble pour sa communication sur l'hydrotimétrie.

M. LENOBLE donne communication de deux travaux, récemment parus et concernant l'hydrotimétrie.

Le 1^{er} est de M. Courtonne ; il a principalement pour objet : 1^o la préparation d'une nouvelle liqueur hydrotimétrique normale, qui s'obtient en saporifiant directement de l'huile d'olives ou d'amandes douces ;

2^o L'observation déjà faite par Wauklyn et Chapmann de la non équivalence des divers sels vis-à-vis de la liqueur d'épreuve. Notamment, tous les coefficients relatifs aux combinaisons du magnésium, donnés par Boutron et Boudet, doivent être diminués dans la proportion de 25 à 22.

Le second travail est de M. Lévy, de l'Observatoire de Montsouris. D'après les observations de cet auteur, confirmées d'ailleurs par M. Lenoble, il résulte qu'il faut, pour obtenir la nuance persistante, d'autant plus de réactif qu'on l'ajoute en masse plus considérable que l'eau distillée pure n'a pas un degré hydrotimétrique nul ; il est donc essentiel de faire au début de toute analyse une correction de mousse.

Enfin, M. Lenoble signale les essais qu'il a faits pour rechercher l'influence de l'agitation, du temps et de la température sur la formation de la mousse.

L'observation qu'il a faite, qu'une solution acqueuse d'ammoniac exerce sur la liqueur d'épreuve le minimum d'action.

En conséquence il conseille d'opérer comme suit :

1^o Faire la correction de mousse en opérant avec une solution ammoniacale à 2 c³ de solution saturée par litre ;

2^o Prendre le degré hydrotimétrique de l'eau distillée et en tenir compte dans la préparation des liqueurs titrées ;

3^o Accepter comme résultat final, celui qu'on obtient en versant le réactif en une seule fois.

M. LENOBLE passe en revue toutes les méthodes employées, donne les résultats de nombreux essais qu'il a faits lui-même et signale toutes les causes d'erreur qui pourraient fausser les résultats.

M. MOLLET-FONTAINE parle ensuite du vin de champagne et décrit successivement tous les procédés qui ont été proposés ou employés pour sa fabrication.

Bien que jusqu'ici la fermentation en bouteille ait été exclusivement employée, il est probable que dans un avenir rapproché la fermentation en grande masse dans de vastes récipients la remplacera. M. Mollet-Fontaine se propose de poursuivre des essais commencés dans ce but et cite en terminant le fait remarquable suivant qu'il a constaté au cours de ses expériences : quand un liquide en fermentation est soumis à une pression suffisante, la fermentation s'arrête mais reprend dès que la pression cesse si le laps de temps écoulé entre les deux opérations est peu considérable.

M. LE PRÉSIDENT remercie MM. Lenoble et Mollet-Fontaine de leurs intéressantes communications et les invite à les reproduire en Assemblée générale.

**Comité du Commerce, de la Banque
et de l'Utilité publique.**

Séance du 22 avril 1892.

Présidence de M. VUYLSTÈKE, Président.

M. Maxime DESCAMPS, Secrétaire du Comité, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance qui est adopté sans observation.

M. LE PRÉSIDENT ayant annoncé qu'une excursion devait avoir lieu le lundi 28 avril, aux ateliers d'Hellemmes, quelques membres émettent le vœu que cette date soit changée, d'autres excursions organisées en dehors de la Société devant avoir lieu le même jour.

La question pourra être soumise au Conseil d'administration, mais M. Godin fait observer que cette excursion ayant dû nécessiter certains préparatifs, il sera bien difficile d'obtenir un changement de date.

M. VUILLAUME informe le Comité que le réseau téléphonique de Lille vient d'être relié à ceux de Courtrai, Roulers et Tournai.

Séance du 28 mai, 1892.

Présidence de M. VUYLSTÈKE, Président.

M. Ange DESCAMPS donne lecture de documents divers que lui a fournis l'occasion d'un voyage récent en Italie, sur les conditions du travail et les Caisses d'épargne de cette contrée.

Après avoir précisé les progrès accomplis depuis 1860-1870, date de la formation de ce Royaume, dans l'industrie,

le commerce et l'agriculture, l'auteur examine la situation des patrons et des ouvriers, les lois qui régissent les Sociétés et la durée du labeur quotidien pour les femmes et les enfants. L'enseignement, les institutions coopératives et de crédit populaire forment des articles intéressants à connaître par le développement qu'ils ont acquis dans ces dernières années.

Il signale l'essor pris, au milieu des populations italiennes, par les Caisses d'Épargne, en comparaison avec les Caisses d'Épargne de la France. L'exposition détaillée des opérations de la Caisse de Bologne, dont le capital est utilisé par des Institutions diverses, (emploi non autorisé par la Loi Française), fournit un sujet d'études à nos économistes.

Les débats de nos Chambres législatives, en ce moment occupées à la discussion de cette question financière, donnent à son examen un caractère tout spécial d'actualité.

M. LE PRÉSIDENT invite M. Descamps à reprendre ce sujet dans une prochaine séance.



TROISIÈME PARTIE.

TRAVAUX PRÉSENTÉS A LA SOCIÉTÉ

ÉTUDE

SUR

LES EXPLOSIONS DE CHAUDIÈRES A VAPEUR

Par M. A. WITZ.

Docteur es-sciences

Ingenieur des Arts et Manufactures

Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

Les explosions de chaudières sont des accidents redoutables, parce qu'il est rare qu'elles ne fassent pas de victimes et qu'elles sont bien souvent accompagnées de graves dégâts ; elles engagent par suite de sérieuses responsabilités morales et économiques pour ceux qui les construisent et pour ceux qui s'en servent.

L'histoire de ces catastrophes renferme de terribles et parfois bien douloureuses pages : nous n'évoquerons pas ces pénibles souvenirs, mais nous croyons devoir rappeler les grandes explosions des dernières années, parce qu'elles peuvent nous fournir d'utiles documents. Les plus mémorables sont celles des forges de Marnaval (31 mars 1883), des forges d'Eurville (10 novembre 1884), d'un lavage et peignage de laines de Tourcoing (22 juin 1885), des forges de Friedenshütte, en Silésie, (25 juillet 1887) et de l'Hôtel du Parc Central de Hartford, dans le Connecticut, survenue dans la nuit du 18 février 1889. A Marnaval, à Eurville et à Tourcoing, des cons-

tructions ont été détruites sur d'immenses surfaces et l'on a vu, à Eurville notamment, un fragment de fer, pesant 6.500 kilogs, projeté par-dessus le faite d'un bâtiment élevé et retomber à 80 mètres de distance ; à Friedenshütte, 22 générateurs sautaient à la fois et un ouragan de fer et de matériaux de toute nature s'abattait sur les maisons voisines ; enfin à Hartford, une petite chaudière semi-tubulaire de 1^m87 de diamètre et de 4^m58 de longueur, placée au sous-sol de l'hôtel, provoquait l'effondrement de cette vaste construction de 6 étages, mesurant 31 mètres de développement sur une rue et 17 sur une autre. Ces cinq explosions ont coûté la vie à près de 100 personnes et elles en ont blessé ou brûlé grièvement plus du double. Ces exemples, relevés dans la dernière période décennale, sont bien faits pour inspirer à tous une salutaire terreur des explosions de chaudières.

Constatons heureusement que ces accidents sont rares, relativement au grand nombre de chaudières en service. Il y avait en France, en 1889, 68.747 chaudières à vapeur et 784 en Algérie, soit, en tout, un total de 69.531 : dans ce nombre, nous ne comprenons que les chaudières motrices et calorifères, à l'exclusion des récipients de tout genre employés par l'industrie, alors même qu'ils seraient soumis aux formalités des épreuves administratives. Or, il n'y a eu, en 1889, que 29 explosions de chaudières proprement dites, soit un accident par 2.397 chaudières. Et encore cette proportion a-t-elle été au-dessus de la moyenne, attendu qu'il y avait eu 26 explosions seulement en 1883, 32 en 1884, 15 en 1885, 25 en 1886, le même nombre en 1887, et 28 en 1888, ce qui fait une moyenne de moins de 26 par an, pour l'industrie française (1).

La décroissance du nombre et de la gravité des accidents est assez marquée depuis 1879 : cette amélioration se poursuivra, car elle est due à l'étude plus complète et plus rationnelle des conditions

(1) Nous avons relevé ces chiffres dans les *Annales des Mines*.

de fonctionnement des chaudières, au perfectionnement de leur construction, à la meilleure éducation des chauffeurs et à la surveillance plus active exercée par ceux qui ont mission de le faire. Notre camarade M. Bour, ancien élève de l'École Centrale, qui a créé et dirigé longtemps, avec le plus grand succès, l'Association lyonnaise des propriétaires d'appareils à vapeur, relevait avec complaisance, en 1889, dans une remarquable conférence faite au Congrès de mécanique appliquée, que cette association n'avait eu à déplorer que deux explosions en 13 ans, ce qui correspond à une explosion sur 4.228 chaudières. La *Boiler Insurance and Steam Power Co* de Manchester, qui est non-seulement une association, mais aussi une compagnie d'assurances, surveille et assure, au prix de 12 shillings par 100 livres, toutes les chaudières; sa surveillance est extrêmement active et elle s'étend sur 23.000 chaudières; la faible valeur de la prime permet d'évaluer la faible importance du risque. Nous ignorons le nombre de sinistres que la compagnie a dû payer, mais nous savons qu'une association rivale, qui avait 4.864 chaudières à surveiller et à assurer, n'eut pas un accident en douze ans d'exercice.

Si les explosions sont redoutables, il faut donc reconnaître qu'elles sont rares, quand les chaudières sont en de bonnes mains.

Le fait qui me paraît caractériser le mieux le progrès réalisé depuis dix ans, c'est qu'il se produit fort peu d'explosions dont on ne puisse déclarer la cause. On les attribuait autrefois, dit M. Ser, dans son remarquable cours de physique industrielle professé à l'École Centrale, « à des causes exceptionnelles, mystérieuses, et le plus souvent au-dessus des prévisions; on les considérait presque toujours comme des cas de force majeure. Mais une étude sérieuse a fait reconnaître que les explosions étaient, au contraire, presque toujours dues aux causes les plus naturelles, et qu'on aurait pu les éviter avec des soins convenables dans la construction, la surveillance, la conduite et l'entretien. » Il est rare, en effet, que les enquêtes officielles de l'Administration et officieuses des intéressés ne révèlent

soit une défectuosité de l'appareil, soit une erreur ou une imprudence du chauffeur, à laquelle on doit attribuer l'accident survenu. Il peut arriver que l'information ne puisse être poursuivie à fond, parce que les témoins ou les auteurs de la catastrophe en ont été les premières victimes ou bien encore parce que les organes suspects ont été détruits ou dispersés au loin : on note alors l'explosion sous la rubrique des causes ignorées. Malgré cela, cette catégorie d'accidents n'est guère que de 8 pour 100 de l'ensemble. Il est donc manifeste que le progrès des connaissances physiques et techniques a restreint, ici comme en toute chose, le domaine de l'inconnu.

Voici comment je crois devoir faire la classification des accidents de chaudières qui se sont produits depuis dix ans.

I. *Explosions produites par des conditions défectueuses d'établissement :*

Vices de construction ; épaisseurs trop faibles, entretoises trop espacées, etc.

Vices de matière ; pailles, criques, fentes, doublures, etc.

Vices de forme et de disposition ; défauts de rivure et d'armature, etc.

II. *Explosions produites par des conditions défectueuses d'entretien :*

Usure et fatigue des tôles.

Corrosions extérieures et intérieures.

Réparations mal faites.

III. *Explosions produites par des causes défectueuses d'emploi :*

Excès de pression, par surcharge ou calage des soupapes, exagération des feux, etc.

Coups de feu par $\left\{ \begin{array}{l} \text{manque d'eau.} \\ \text{incrustations, eaux grasses, etc.} \end{array} \right.$

IV. *Causes fortuites :*

Surchauffe de l'eau.

Détonations dans les carneaux.

Phénomènes mal définis.

Quelle est l'importance relative de ces diverses causes ?

Il est assez difficile de l'évaluer, car il faudrait relever un très grand nombre d'observations pour établir une moyenne acceptable. Toutefois, en tenant compte de l'opinion motivée de MM. Fairbairn, Ser, Hirsch, Bour, Walther-Meunier, Cornut, Marten (ingénieur de la *Midland Steam Boilers inspections and assurance Co* (1), Fletcher (ingénieur de l'Association de Manchester), et en m'inspirant des diverses statistiques dressées par les administrations officielles, notamment celles qui sont insérées dans les *Annales des Mines*, je ne crois pas être loin de la vérité en adoptant le pourcentage suivant :

1 ^o Défauts d'établissement.....	25
2 ^o — d'entretien.....	38
3 ^o — d'emploi.....	33
4 ^o Causes fortuites.....	4
Total.....	100

Le choix d'un constructeur habile et consciencieux permet donc de réduire d'un quart les chances d'explosion ; une surveillance générale des appareils et un examen scrupuleux de leurs divers organes, fait par des chaudronniers habiles et des ingénieurs compétents, peut en éviter 38 pour cent ; la surveillance quotidienne et incessante exercée par l'œil du maître, bien secondé par ses aides et fidèlement servi par ses chauffeurs, supprime un tiers des malchances ; le reste, est à la grâce de Dieu, mais il ne s'agit plus que de 4 pour cent.

Les règles de la construction sont très nettes et très précises, et bien connues des constructeurs : nous n'avons pas à les rappeler. Disons seulement que si le décret extrêmement libéral du 25 janvier

(1) Cette Compagnie surveille plus de 20.000 chaudières.

1865, a dégagé les constructeurs de toutes entraves et leur a accordé une grande liberté, il a augmenté en même temps leur responsabilité. Il est vrai que la responsabilité des grandes maisons de construction est fort rarement mise en jeu, par suite des progrès réalisés dans l'étude des projets, l'essai des matériaux et l'organisation du travail.

La qualité des tôles de fer ou d'acier employées est peut-être le plus grand gage de sécurité qu'on puisse se donner ; aussi spécifie-t-on nettement dans les contrats les marques des tôles et les conditions qu'elles doivent remplir. Le syndicat des associations allemandes pour la surveillance des appareils à vapeur a pris l'initiative, dont il faut le louer, de définir ces conditions de la manière la plus formelle. (1) Voici d'abord les résistances à la rupture et les allongements d'une *bonne tôle*.

	SENS DU LAMINAGE			PERPENDIC ^t AU LAMINAGE		
	Corps de chaudière	Tôles embouties	Coups de feu.	Corps de chaudière	Tôles embouties	Coups de feu.
Résistance à la rupture	33 k.	35 k.	36 k.	30 k.	33 k.	34 k.
Allongement	7 %	12 %	18 %	8 %	5 %	12 %

Ces coefficients de rupture doivent être déterminés sur des éprouvettes de 150 ^m/_m de longueur.

Mais voici une épreuve que nous estimons plus décisive encore : elle est basée sur le pliage des tôles, lequel doit pouvoir être exécuté sans qu'il se produise de fentes ni de criques apparentes sur la partie convexe du pli : l'angle varie évidemment avec l'épaisseur de la tôle et avec l'emploi qui doit en être fait.

(1) Voir *Portefeuille économique des Machines*, avril 1885

		Angles de pliage.	
Tôles de coups de feu	{	Tôle de 6 ^m /m..... { Sens du laminage.....	110°
		Sens perpendiculaire ..	90°
	{	Tôle de 12 ^m /m..... { Sens du laminage.....	80°
		Sens perpendiculaire ..	60°
	{	Tôle de 20 ^m /m..... { Sens du laminage.....	60°
		Sens perpendiculaire ..	30°
Tôles du corps de chaudière.....	{	Tôle de 6 ^m /m..... { Sens du laminage.....	50°
		Sens perpendiculaire ..	30°
	{	Tôle de 12 ^m /m..... { Sens du laminage.....	35°
		Sens perpendiculaire ..	15°
	{	Tôle de 20 ^m /m..... { Sens du laminage.....	15°
		Sens perpendiculaire ..	5°

L'importance de ces essais et des résultats qu'ils fournissent est facile à comprendre : ils font connaître la ductilité du métal ; or, cette ductilité est, comme nous le verrons plus loin, au moins aussi capitale dans une chaudière que la tenacité du fer.

On complète ces épreuves par un forgeage au rouge à l'aide du marteau : un échantillon de 10 centimètres de largeur doit pouvoir subir sans déchirure un élargissement égal à une fois et demi la largeur primitive dans le sens perpendiculaire au laminage. Enfin un poinçonnage à froid sera fait à une distance du bord égale à la moitié de l'épaisseur, pour juger de l'homogénéité du métal.

L'ensemble des essais que nous venons de décrire constitue une base excellente pour apprécier la valeur d'une tôle : un constructeur qui emploie de mauvaises tôles est coupable ; un client qui les accepte fait preuve d'incurie, car les moyens de contrôle dont il dispose sont faciles et nombreux.

La construction des générateurs s'est beaucoup améliorée depuis trente ans : toutes les rivures longitudinales et transversales sont toujours à double clouure et en quinconce (1) ; les trous des rivets

(1) Ne sont exceptées que les attaches des fonds et des piétements.

sont percés au forêt et jamais poinçonnés ; les trous d'hommes et les contours des portes sont dressés à la fraise, etc. Ces pratiques augmentent beaucoup la stabilité des chaudières. L'emploi des entretoises creuses, mandrinées dans les trous, présente de grands avantages. Les ingénieurs chargés de dessiner les chaudières se préoccupent beaucoup plus qu'autrefois de donner de l'élasticité aux appareils, de faciliter leurs dilatations inégales, d'assurer de larges dégagements à la vapeur de produire des courants qui renouvellent incessamment l'eau sur les tôles de coup de feu, etc. Il nous est impossible d'insister davantage sur ces divers points, dont l'importance n'échappe à personne.

Les défauts d'entretien sont révélés par les visites extérieures et surtout intérieures des chaudières faites, non pas par des ingénieurs, car ce n'est pas leur rôle, mais par des ouvriers habiles dont le marteau ira sonder tous les coins de l'appareil et qui sauront reconnaître des fuites, des doublures, des défauts quelconques invisibles à l'œil, mais qu'il importe de découvrir. Ils signaleront les incrustations, les dépôts de corps gras, toujours nuisibles et surtout fort dangereux, les usures intérieures, les corrosions, etc. : les coups de feu, les eaux acides ou alcalines, les flexions et les dilatations alternatives de certaines pièces, des ciels d'air, etc., voilà autant de causes de détérioration qu'il faut découvrir et prévenir. C'est le rôle des associations de propriétaires d'appareils à vapeur, tel qu'il a fort bien été défini par M. Bour, dans la conférence dont nous avons déjà parlé, et par M. Compère, dans le travail qu'il a présenté au Congrès international des accidents du travail, tenu à Paris en 1889. Nous n'avons rien à ajouter aux remarquables communications de ces savants ingénieurs.

Arrivons à l'examen des défauts d'usage ; sur ce point, l'action des associations trouve assurément encore moyen de s'exercer, mais avec beaucoup moins d'efficacité, attendu qu'il faudrait une surveillance de tous les instants pour empêcher un chauffeur de trop pousser ses feux, de surcharger ou de caler ses soupapes et d'ali-

menter insuffisamment au point de laisser baisser le niveau de l'eau au-dessous des limites fixées. C'est aux chefs d'industrie et à leurs collaborateurs qu'incombe cette charge : elle sera allégée par l'emploi des appareils d'enregistrement automatique, tels que les manomètres enregistreurs Bourdon et Richard frères, l'indicateur de niveau enregistreur de Dulac, etc., qui donnent la preuve graphique de la régularité du travail des chauffeurs.

On ne saurait trop insister sur les dangers auxquels on est exposé par les chauffeurs ignorants ou imprudents : dans les célèbres *Lectures* que fit à Manchester l'illustre Fairbairn, en 1855, à la veille de la création de l'*Association for the prevention of steam boilers explosions*, il s'écriait : « Un chauffeur qui assujettit ses soupapes est comparable à l'insensé qui se précipite une torche à la main dans un magasin à poudre. » On devrait faire rééditer ces magistrales leçons de Fairbairn, devenues aujourd'hui presque introuvables, et en répandre partout de nombreux exemplaires ; ce serait un excellent manuel du chauffeur, dans lequel les ingénieurs eux-mêmes trouveraient beaucoup de choses à méditer. On pourrait aussi contribuer efficacement à l'éducation des chauffeurs en leur faisant lire, voire même apprendre par cœur, le *Catéchisme des Chauffeurs* publié à Liège par les ingénieurs sortis de l'Université de cette ville ; c'est un remarquable petit livre, édition in-42 de 105 pages, composé par questions et réponses : un chapitre spécial traite avec une grande précision des règles à suivre dans le chauffage des chaudières au point de vue de la sécurité, et il suffit de 26 réponses pour examiner tous les cas de la pratique.

Caler des soupapes, c'est une folie, puisqu'on s'expose ainsi de gaieté de cœur à dépasser la pression limite pour laquelle ont été calculées les résistances de la chaudière. Il me semble que les chauffeurs le feraient rarement, si leurs soupapes étaient toujours bien hermétiques ; qu'on leur fasse donc roder les soupapes qui laissent fuir de la vapeur !

Une pression excessive se produit bien difficilement par une

poussée exagérée des feux lorsque les soupapes jouent librement ; d'ailleurs, quand une chaudière est bien dessinée et qu'il ne se forme pas de poches de vapeur en plein liquide, quand d'autre part l'eau est maintenue à son niveau normal, qu'elle est bien épurée, et qu'elle n'est pas mêlée de corps gras, l'activité trop grande des feux ne peut guère occasionner d'accident. Remarquons à ce sujet qu'une poussée trop vive des feux est peu économique, car il est bien certain qu'on obtient de meilleurs rendements avec des feux doux qu'avec des feux trop ardents.

Arrivons aux accidents produits par défectuosité d'emploi.

C'est le manque d'eau que l'on considère comme la cause la plus ordinaire des accidents par défaut d'usage, et l'on recommande surtout aux chauffeurs de maintenir leur niveau d'eau à la hauteur voulue : de fait, ils témoignent d'un grand souci pour cette prescription et ils font bien.

Il est assez difficile d'évaluer le nombre d'explosions *réellement* dues au défaut d'alimentation, bien que les ingénieurs des mines, chargés des enquêtes officielles, rangent ces cas sous une rubrique spéciale, intitulée, *Manque d'eau suivi ou non d'alimentation intempestive* : on doit sans doute estimer leur proportion à 20 pour cent au moins de l'ensemble des accidents. L'eau manque quelquefois par incurie du chauffeur, mais plus souvent encore parce que les appareils d'alimentation fonctionnent mal, ou bien parce que la chaudière fuit ou qu'elle se trouve mise accidentellement en vidange par les tuyaux d'alimentation. L'administration a sagement cherché à obvier à ce dernier phénomène en imposant une soupape ou un clapet de retenue automatique placé directement contre la chaudière au point d'insertion du tuyau d'alimentation.

Quand le niveau de l'eau tombe à plus de six centimètres au-dessous de sa hauteur normale, certaines parties de la surface de chauffe se trouvent hors de l'eau et elles sont exposées à rougir et à se brûler : ce rougissement du métal est réputé comme fort dangereux, et à bon droit ; tout le monde est d'accord sur ce point. Mais, où est le danger ?

La cause d'explosion est double : en effet, d'une part, le métal perd de sa tenacité et de sa résistance à la température du rouge ; d'autre part, la paroi rougie peut produire de la vapeur en telle abondance qu'il en résulte un excès de pression. L'explosion peut donc résulter soit d'un affaiblissement du récipient, soit d'une augmentation excessive de pression ; il est extrêmement important de savoir laquelle de ces deux actions est prédominante.

Nous allons les étudier tour à tour.

Mais d'abord efforçons-nous d'apprécier et de mettre en lumière le caractère général de ce genre d'accidents, consécutifs d'un surchauffement du métal.

Il y a deux espèces d'explosions produites par défaut d'eau : les unes sont extrêmement vives, très violentes, quelquefois même tonnantes, accompagnées de projections de fer, de pierres et de maçonneries, et suivies le plus souvent de déplacements notables des corps de chaudières restés plus ou moins intacts ; les autres sont molles, sans force, pour ainsi dire, sans effets dynamiques considérables, et, n'étaient les brûlures occasionnées par les jets d'eau et de vapeur, elles ne donneraient lieu le plus souvent qu'à de faibles dégâts et à des accidents sans gravité.

Pour bien établir la réalité de ces deux catégories d'explosions, nous citerons quelques exemples dont nous puiserons les détails aux sources officielles.

Le 10 juin 1880, une chaudière sautait à Roanne ; elle était à foyer intérieur, sa longueur mesurait 6^m,08, ses diamètres étaient de 4^m,45 et de 0^m,80 et elle avait été timbrée à 7 kilogs. Cette chaudière était fatiguée ; elle avait subi deux fois déjà des coups de feu ; mais aucun accident ne s'en était suivi, car chaque fois le chauffeur avait eu le temps de retirer ses feux et de laisser refroidir les tôles, de manière à conjurer toute rupture. Le jour de l'explosion, le travail était arrêté, comme d'habitude, de midi à deux heures, et l'ouvrier venait de lever son registre à 1 h. 40 m., pour réveiller ses feux qui dormaient, lorsque tout-à-coup le ciel du foyer se déchira sur

une longueur de 4 mètres, jusqu'à l'extrémité de la première virole : l'enquête démontra qu'il y avait eu manque d'eau et que le ciel du foyer avait rougi fortement, au point de former une grande ampoule de 35 centimètres de saillie ; un oubli de fermeture d'une valve et l'absence du clapet de retenue d'alimentation, prescrit le 30 avril de cette même année, avait permis à cette chaudière de se vider complètement dans sa voisine, en vertu d'un léger excès de pression. La pression à laquelle l'explosion se produisit était *inférieure à celle du timbre* ; l'explosion fut bénigne, les maçonneries ne furent pas ébranlées, la chaudière ne se déplaça pas, et il n'y eut que fort peu de dégâts. Notons que la chaudière était presque vide.

Une explosion du même genre a eu lieu à Solre-le-Château (Nord), en 1886, le 7 octobre : le générateur était du type horizontal à deux bouilleurs et trois réchauffeurs ; sa capacité totale était fort grande car elle dépassait 26 mètres cubes ; on l'avait réparé et remis à neuf deux ans auparavant ; il était timbré à 6 kilogs. La tôle de coup de feu du premier bouilleur étant venue à rougir, par manque d'eau, elle se déchira et s'ouvrit sur une génératrice, en formant une fente de 1^m,80 de longueur. Les dégâts furent nuls : mais l'appareil était presque vide d'eau. Un manomètre enregistreur Naudin avait inscrit fidèlement la pression sous laquelle la rupture s'était déclarée : elle n'était que de 5 kilogs, donc inférieure de 1 kilog au timbre, comme dans le cas précédent. Ces faits sont très importants dans l'espèce.

Voici du reste, un troisième exemple de la chose ; il a été relevé en 1882 (6 janvier), à la sucrerie de Pont-l'Évêque (Oise), sur une chaudière à bouilleurs, semblable à celle de Solre ; ici l'explosion a eu lieu bien exactement à la pression du timbre.

Il arrive fréquemment que les explosions par défaut d'eau soient sans gravité, alors même qu'elles se produisent dans les conditions les plus mauvaises : tel est le cas de l'accident survenu, le 27 février 1888, à l'usine d'épailage chimique d'Elbeuf (Seine-Inférieure), où nous trouvons encore une chaudière à bouilleurs, que le chauffeur

avait laissé manquer d'eau. La tôle de coup de feu d'un des bouilleurs, déjà amincie par des corrosions, se ramollit et se boursouffla d'abord, puis elle s'ouvrit sur la génératrice inférieure. Bien que la pression d'une chaudière voisine vint s'exercer sur le générateur explosé, les effets de l'accident furent peu conséquents. Rappelons encore les explosions des chaudières à foyer intérieur arrivées à Roubaix, dans une teinturerie, le 27 mars 1888, à Azy-le-Château (Nièvre), le 16 avril 1889, et à Persan (Seine-et-Oise), le 8 juillet 1889; les chauffeurs furent brûlés par les jets de vapeur et d'eau qui jaillissaient des ouvertures béantes de la paroi, mais les rapports des ingénieurs des mines ne signalent que d'insignifiants dégâts matériels. Nous pourrions citer aussi une explosion de Croix (27 mai 1885), et une autre de St-Quentin (31 octobre 1889) portant la mention: «*Néant accident*». La dernière explosion qui vient d'avoir lieu à Tourcoing, en avril 1892, dans laquelle un bouilleur de 65 centimètres de diamètre s'est ouvert, en pleine tôle de 44 millimètres d'épaisseur, a encore été accompagnée de très faibles dégâts; si la tôle avait été saine et qu'elle fût restée à sa température normale, il eût fallu une pression colossale pour rompre ce bouilleur; eh bien, cet effet s'est produit et le reste de la chaudière n'a pas été déplacé, le massif de maçonnerie enserrant l'appareil n'a pas été bouleversé et les effets extérieurs ont été pour ainsi dire négligeables!

En somme, les trois quarts au moins des explosions par manque d'eau causent peu de dommages; elles sont redoutables pour le personnel, qui n'échappe pas souvent aux brûlures, mais elles ne donnent lieu qu'à de faibles effets dynamiques.

Par contre, il est de ces explosions qui sont vraiment terribles. A la sucrerie de Beaufort, le 6 juin 1882, une petite chaudière cylindrique de 0^m,70 de diamètre et 3^m,65 de longueur, se brise en de nombreux fragments et renverse le bâtiment qui l'abrite: en oubliant d'alimenter, on avait laissé les tôles de chauffe se découvrir. Dans les mines de Montvicq (Allier), une chaudière à flamme renversée, formée d'un corps cylindrique, relié par deux communications

hautes à un réchauffeur inférieur, produit une catastrophe dans les mêmes conditions. Les deux tôles inférieures du corps principal faisant suite à la tôle du coup de feu se sont ouvertes longitudinalement, suivant une ligne assez voisine de leur génératrice inférieure; d'autres déchirures transversales ont aussi pris naissance. Il en est résulté une projection de la partie antérieure du corps principal, qui a été lancé à 45 mètres en avant en faisant un demi-tour complet; la partie postérieure n'a subi qu'un léger recul. Mais le massif des maçonneries a été complètement désorganisé et les briques ont été semées au loin dans un rayon de plus de 450 mètres. Un accident tout à fait analogue s'est produit aux mines de la Béraudière, dans la Loire; il s'agissait d'une chaudière horizontale cylindrique, munie d'un bouilleur réchauffeur latéral; sa longueur était de 42^m. On l'avait réparée en février et elle avait subi à cette époque l'épreuve officielle: le 11 décembre de la même année, elle sautait, par abaissement excessif du niveau de l'eau. Le corps cylindrique se rompit au droit du foyer et de l'autel; la déchirure prit 2^m,10 de la clouure latérale de droite de la première virole; puis, à ses extrémités, il se forma deux déchirures en pleine tôle, intéressant tout le berceau supérieur du corps cylindrique jusqu'à la clouure du côté gauche. La chaudière se déplaça de 40 centimètres; et l'avant du fourneau fut lancé au loin en même temps qu'une pluie de matériaux de tout genre tombait tout alentour, à de grandes distances.

L'explosion qui a eu lieu en décembre dernier à Hénin-Liétard n'a pas eu la même gravité, mais elle a aussi été marquée par une rupture d'un corps cylindrique suivie d'une projection de la partie antérieure à plusieurs mètres en avant.

Les cas que je viens de citer sont presque les seuls qui aient entraîné des dégâts considérables parmi les accidents dus à un manque d'eau, pendant les dix dernières années. C'est un fait très important qui se dégage nettement de l'étude des statistiques: les explosions par manque d'eau sont rarement accompagnées de

grands dégâts matériels. L'explication de la chose est fournie par les statistiques elles-mêmes.

On a observé en effet, que les explosions par manque d'eau sont toujours inoffensives, lorsque la chaudière ne renferme réellement pas d'eau au moment où elle se rompt; la puissance dynamique développée est par suite d'autant moindre que la masse du liquide était plus faible. Cette observation, parfaitement certaine, est facile à justifier. En effet, d'où provient le *ressort* d'une explosion, c'est-à-dire sa puissance destructive? Elle réside uniquement et entièrement dans l'énergie emmagasinée dans l'appareil; on peut dire qu'elle est proportionnelle au nombre de calories possédées par les fluides renfermés dans le récipient. Comparons donc la chaleur interne d'un mètre cube d'eau et d'un même volume de vapeur à la température de 158 degrés, correspondante à une pression effective de 5 kilogs; elle est représentée proportionnellement par le nombre de calories nécessaires pour produire ce volume d'eau chaude et de vapeur à partir de zéro. Voici les éléments de ce calcul de comparaison :

1^o Un mètre cube d'eau à 158^o pèse 907 k., 8.

Le nombre de calories nécessitées pour chauffer 1 kilog d'eau de 0^o à 158 est égal à 159, 68 calories.

Chaleur par mètre cube d'eau = 144. 957 calories.

2^o Un mètre cube de vapeur à 158^o pèse 3 k., 465.

Le nombre de calories nécessitées pour transformer 1 kilog d'eau à 0^o en vapeur saturée à 158^o est égal à

$$606,5 + 0,305 \times 158 = 652,69 \text{ calories.}$$

Chaleur par mètre cube de vapeur = 2072 calories.

La vapeur renferme par conséquent 70 fois moins d'énergie que l'eau.

Le premier élément qu'il faut donc considérer, quand on veut évaluer la puissance dynamique d'une chaudière faisant explosion, est la quantité d'eau liquide qu'elle contient. Il est aisé de calculer

le travail développé dans l'explosion d'une chaudière renfermant une proportion x de vapeur et $1-x$ d'eau liquide, à une température T , au moment même où l'appareil se brise : le problème consiste à déterminer le travail \mathfrak{C} produit dans la détente adiabatique d'un tel mélange entre la température T de régime et celle de 100 degrés, qui correspond à la pression atmosphérique. Nous avons

$$\mathfrak{C} = J [q_1 - q + x_1 \rho_1 - x \rho], \quad (1)$$

en appelant q_1 et q la chaleur de l'eau, x_1 et x les proportions de vapeur, ρ_1 et ρ la chaleur latente interne du kilog de vapeur saturée; cette formule est relative au kilog, pris comme unité de poids. On sait que ρ est égal à $r - A p u = r - \frac{1}{J} p (S - 0,001)$, r étant la chaleur latente de vaporisation, p la force élastique de la vapeur en kilogs par mètre carré et S le volume spécifique de la vapeur ; on calcule donc aisément ρ , mais il est plus simple d'en chercher la valeur dans les tables de Zeuner. On peut par suite déterminer la valeur de \mathfrak{C} pour toute valeur de x .

Prenons les cas extrêmes d'un kilog d'eau et d'un kilogramme de vapeur ; dans le premier cas, $x_1 = 0$, alors que dans le second $x_1 = 1$. Il s'agit de calculer la valeur que prendra x à la suite de la détente adiabatique, à la température de 100° ; l'équation connue de Clausius :

$$\frac{x_1 r_1}{T_1} + \int_0^T \frac{dQ}{T} = \text{const.} = \frac{x r}{T} + \int_0^T \frac{dQ}{T}$$

nous donnera aisément cette valeur de x .

(1) \mathfrak{C} est le travail en kilogrammètres et J représente l'équivalent mécanique de la chaleur, rapporté à la même unité: la formule que nous rappelons est fondamentale dans le thermodynamique des vapeurs.

Premier cas :

A 158°, $q_1 = 159,68$; à 100°, $q = 100,50$

$$x_1 = 0$$

$$\frac{x r}{T} = \int_{158}^{100} \frac{dQ}{T}$$

Les tables donnent $\frac{r}{T}$ et $\frac{dQ}{T}$; tous calculs faits, il vient

$$x = 0,10$$

$$\bar{G} = 425 (59,18 - 0,1 \times 496,31) = 4059 \text{ kilogr.}$$

Comme le mètre cube pèse 907,8 kilogs, le travail développé par la masse de liquide qui y est contenue est égal à 3.684.760 kilogrammètres.

Deuxième cas :

Supposons maintenant que x_1 soit égal à 1, c'est-à-dire qu'il n'y ait plus d'eau dans la chaudière, et qu'elle ne renferme plus que de la vapeur.

Nous avons :

$$\frac{x r}{T} = \frac{r_1}{T_1} + \int_{158}^{100} \frac{dQ}{T}$$

d'où

$$x = 0,9$$

Pour 3 k., 465 de vapeur (poids du mètre cube à la pression effective de 5 kgs), nous aurons un travail disponible de 84.553 kilogrammètres.

C'est 43 fois moins que dans le cas précédent.

La différence est énorme et la thermodynamique justifie bien nos prévisions. Quand une chaudière renferme un grand volume d'eau, elle renferme dans ses flancs une provision colossale d'énergie et

l'on ne s'étonnera pas de voir alors projetées à plus de 100 mètres de distance des masses de fer pesant plusieurs tonnes, avec des vitesses initiales de 20 mètres à la seconde ; au contraire, une chaudière vide d'eau par défaut d'alimentation donnera des effets dynamiques relativement peu considérables ; elle sera pour ainsi dire inexplosible, dans le sens qu'on accorde à ce mot quand on parle des chaudières multitubulaires.

Voilà donc la cause qui produit ces deux catégories de phénomènes si différents ; leur double caractère ressort bien de ce premier facteur.

Mais il y a d'autres éléments qu'on ne saurait négliger ; nous les étudierons en recherchant quelle est la cause prédominante de la rupture des parois.

Elle peut tenir, nous l'avons dit, à un affaiblissement de ces parois par l'effet du coup de feu. La résistance de la tôle de fer diminue beaucoup quand sa température atteint celle du rouge sombre : ce fait a été établi avec certitude par les expériences de Fairbairn et par les recherches des ingénieurs de l'Institut Franklin en Amérique (1). On peut résumer les résultats obtenus en disant que la tôle présente un maximum de résistance vers 180° ; mais cette résistance diminue fort rapidement quand on dépasse cette température, et au rouge sombre elle n'est plus guère que la moitié de sa résistance normale. Ainsi une tôle, dont la charge de rupture serait égale à 36 kilogs, se romprait à 18 kilogs, quand elle arriverait au rouge : une tôle excellente devient donc plus que médiocre. Par contre, si la résistance du métal décroît, la ductilité augmente : on constate, en effet, que l'allongement élastique croît au fur et à mesure que la charge et l'allongement de rupture diminuent. Ces données, qui sont incontestables, prennent une importance capitale dans la question des explosions de chaudières, car elles expliquent tous les phénomènes observés dans la pratique. Que voit-on dans les chaudières qui ont

(1) Voir *Traité de la Chaleur* par Pécelet, 3^e édition, revue par Hudelo, page 12, tome II.

reçu un coup de feu ? Il s'y forme des bosses, des poches, des ampoules, des déformations permanentes; dans les chaudières à bouilleurs, les saillies sont extérieures, par suite de la pression exercée de l'intérieur vers l'extérieur; les tubes se plient, on en a vu même qui augmentaient de diamètre, et c'est ce qui a été relevé sur une chaudière Uhler, à Issy, le 4 novembre 1889, dans laquelle un tube a éprouvé une augmentation de 44 millimètres sur un diamètre de 314; dans les chaudières à foyer intérieur, les ciels de foyer se surbaissent, et l'on cite des cas dans lesquels ils ont fléchi, au point de venir s'appuyer sur l'autel. Si le métal est d'excellente qualité, et si de plus la pression de la vapeur ne devient pas excessive, ces actions peuvent se produire sans déchirure; il n'y aura donc pas d'explosion. Au contraire, si le métal est aigre, pailleux, peu résistant, il ne se prêtera pas à ces changements de forme et il se rompra: l'explosion se produira quelquefois sans excès de pression, comme à Solre-le-Château et à Pont-l'Évêque; elle sera inoffensive, lorsqu'il y aura un petit volume d'eau dans la chaudière, et le chauffeur sera sauvé, s'il échappe aux jets de vapeur brûlante qui viennent balayer le devant de la chaudière en projetant les escarbilles incandescentes du foyer.

On s'explique donc aisément par ces considérations que le manque d'eau donne lieu souvent à des explosions sans gravité, survenues quelquefois à la pression même à laquelle le récipient a été timbré par l'administration.

Malheureusement, il n'en est pas toujours ainsi et la statistique nous fait connaître des explosions véritablement tonnantes, qu'on ne saurait attribuer seulement à l'affaiblissement de la paroi: il faut alors forcément mettre en cause les excès de pression survenus au contact du métal rougi.

Il s'était formé, à cet égard, une véritable légende dans la technique des chaudières: elle était fondée sur les remarquables expériences de Leidenfrost, de Boutigny, de Melsens, de Pouillet, etc., par lesquelles a été établie la théorie de l'état sphéroïdal. Il n'est

pas inutile de rappeler brièvement les grandes lignes de cette théorie. Quand on projette un liquide sur une capsule métallique chauffée à une température notablement supérieure à celle de l'ébullition de ce liquide, ce dernier, au lieu de s'étaler, se ramasse en un globule sphéroïdal, aux bords déchiquetés, qui tournoie rapidement sur lui-même et s'évapore avec une extrême lenteur. Mais qu'on cesse de chauffer la capsule, de manière à ce que sa température baisse, il viendra un moment où l'état sphéroïdal disparaîtra et aussitôt l'on verra se produire une évaporation brusque et très violente. Boutigny avait cherché à expliquer par ce phénomène les explosions par manque d'eau survenues à la suite d'une alimentation intempestive: les surfaces de la chaudière abandonnées par l'eau, ou bien recouvertes d'une couche de graisse ou de concrétions calcaires, ayant pris une température élevée, donnaient l'état sphéroïdal au liquide qui les touchait, au moment où l'on ramenait le niveau à sa hauteur normale (1); la paroi venant alors à se refroidir, l'état sphéroïdal prenait fin et il y avait, disait on, formation instantanée d'une énorme quantité de vapeur, qui faisait sauter la chaudière. Une expérience classique bien connue avait la prétention de justifier cette explication. Dumas avait résumé la théorie en ce peu de mots, dans son *Traité de chimie appliquée aux arts*: « ce phénomène doit mettre en garde contre les dangers que présenterait une chaudière portée accidentellement à une température très élevée, car il pourrait arriver qu'elle cessât de fournir de la vapeur et que pourtant un abaissement de température en déterminât l'explosion. »

La théorie de Boutigny était admise assez généralement; mais on avait formulé contre elle des objections sérieuses, qui avaient singulièrement diminué sa valeur. Ainsi l'on avait fait remarquer que les expériences de Boutigny étaient réalisées sur une si petite échelle, qu'on n'avait guère le droit d'en transporter les conclusions dans la pratique.

(1) Le même effet a lieu quand les incrustations se disloquent et se brisent, parce que le métal se trouve ainsi mis à nu.

On avait calculé, d'autre part, le calorique possédé par une tôle de paroi, amenée au rouge, et l'on avait trouvé que, par suite de la faible capacité calorifique du fer, le nombre de calories disponibles était si faible, qu'il n'en pouvait résulter une vaporisation d'eau considérable. En effet, un mètre carré d'une tôle de fer, présentant 15 millimètres d'épaisseur, pèse 117 kilogs ; la chaleur spécifique du fer est égale à 0,1138 à zéro ; de 0° à 4.000°, nous prendrons la valeur moyenne de 0,171. En tombant de 400° à 158°, la tôle donnerait donc $117 \times 0,171 (400 - 158) = 4.840$ calories, soit de quoi vaporiser environ 10 kilogs d'eau prise à 158°. Les excellents traités de Pécelet et de Ser relevaient ces incohérences de la théorie à la mode, et ces maîtres n'étaient pas éloignés de conclure contre elle (1).

Mais la meilleure, pour ne pas dire l'unique manière d'élucider la question était de la soumettre au contrôle de l'expérience. Dès 1885, M. Romain de Swarte avait essayé d'évaluer la puissance d'évaporation d'une tôle rougie ; il obtint des résultats surprenants (2) qui lui fournirent des arguments en faveur de la soupape Barbe et de l'appareil Delsart, dont il s'occupait alors. M. de Swarte prétend qu'il n'observa pas l'état sphéroïdal, même au rouge clair, bien qu'il versât le liquide litre par litre, donc en très faible masse : il fut amené à assigner aux tôles rougies des pouvoirs de vaporisation énormes qui nous paraissent fort exagérés. Mais ces expériences étaient peu précises, attendu qu'il fallait passer de l'observation d'un phénomène

(1) Nous trouvons notamment cette conclusion dans le *Traité de la Chaleur* de Pécelet, édition Hudelo : « ainsi, toutes ces explications qui reposent uniquement sur une formation très rapide de vapeur par le contact de l'eau avec le métal très échauffé sont insuffisantes » Tome II, page 221.

(2) *Bulletin de la Société Industrielle du Nord de la France*, 13^e année, 1885, pages 446 et 452 et *Annales Industrielles* du 5 septembre 1886. Dans ces expériences, les tôles n'étaient pas exposées au rayonnement incessant et à l'action d'un foyer, mais elles étaient chauffées au rouge blanc dans un four ; on les en retirait vivement et on y versait du liquide, en notant le temps nécessaire pour l'évaporer entièrement.

qui durait quelques secondes et qui se développait sur une petite surface à la vaporisation par heure et mètre carré.

M. Hirsch, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, entreprit, en 1889, une série nouvelle d'expériences qui ont été publiées dans les annales du Conservatoire des Arts et Métiers (1) et qui ont eu un grand retentissement. Ce travail magistral fera époque dans la science : il a fourni des données indiscutables sur la température des tôles, l'influence des corps gras, etc. ; M. Hirsch n'a point observé non plus la production de l'état sphéroïdal.

Des circonstances particulières m'amènèrent à mon tour à faire des expériences de vaporisation et je dirigeai mes recherches tout spécialement en vue de l'étude de l'état sphéroïdal. Il s'agissait de savoir si les choses se passent dans une chaudière d'un certain volume comme dans une cuiller de fer, dans laquelle on verse quelques gouttes de liquide : il importait de formuler des conclusions catégoriques et indiscutables. A cet effet, j'ai opéré dans un appareil renfermant plusieurs litres d'eau : la forme de cette chaudière était celle d'un cylindre circulaire à fond plat. Ce fond était amovible, de manière à ce qu'on pût faire des essais sur des tôles d'épaisseur et de nature variable. Le foyer était constitué dans mes premières expériences par des brûleurs à gaz, alimentés d'air ou d'oxygène sous pression ; mais j'ai reconnu bientôt que ces chalumeaux, quel que fût leur nombre et leur puissance, se prêtaient moins bien aux grandes productions de vapeur et à la réalisation d'un coup de feu, qu'un foyer de coke et d'escarbilles activé par un grand soufflet de forge. En plaçant ma chaudière directement sur le feu, le rayonnement s'ajoutait au contact des gaz chauds et il devenait facile de faire rougir des tôles de grande épaisseur non recouvertes d'eau, et de les maintenir ensuite au rouge sous une couche de liquide, pendant un temps quelconque. Le niveau de l'eau était tenu à une hauteur constante par un alimentateur hydraulique

(1) 2^e série, tome I, page 51, 1889.

à action continue, déversant l'eau goutte à goutte au fur et à mesure de la vaporisation : il y avait une épaisseur d'au moins 8 centimètres d'eau sur le fond de la chaudière. La surface supérieure de la tôle étant bien nette et parfaitement décapée, j'ai reconnu qu'il était impossible de faire rougir une tôle de 11 millimètres en pleine eau ; mais, si la tôle était amenée au rouge préalablement sans eau, on pouvait conserver cet état pendant un temps suffisant pour apprécier exactement la quantité d'eau évaporée par le volume débité par l'alimentateur continu. Or, voici les résultats obtenus (1) : ils donnent la quantité d'eau évaporée et, par suite, le nombre de calories cédées à l'eau à travers le métal par mètre carré et par heure, l'intensité du foyer allant croissant avec continuité. Si l'état sphéroïdal est réalisable dans une chaudière, l'évaporation augmentera d'abord jusqu'à une limite déterminée, correspondante à un maximum, puis elle tombera brusquement ; s'il n'est, au contraire, pas réalisable, on n'observera pas ce maximum. Le criterium est donc extrêmement net et très facile à saisir.

FOYER	Pression atmosphérique.	Température d'alimentation.	Quantité d'eau évaporée par m. c. et heure.	Calories transmises par m. c. et heure.
7 brûleurs Bunsen.....	745 ^m /m	15°	k. 63,3	39.262
id. + 1 chalumeau soufflé.....	758	16°	179,4	111.403
id. + 1 chalumeau oxhydrique...	758	18°	200,9	124.353
id. + 3 chalumeaux oxhydriques..	753	19°	263,2	163.953
Feu de coke.....	760	19°	433,5	267.903

(1) Ces résultats ont été communiqués à l'Académie des Sciences, dans la séance du 22 février 1892, et ils ont été insérés aux comptes-rendus de cette séance ; ce travail a eu les honneurs de l'insertion dans les Proceedings of the Institution of civil Engineers.

Dans cette dernière expérience, les supports de la chaudière étaient au rouge blanc ; l'évaporation était violente, le liquide était vivement agité en tous sens, mais la tôle ne rougissait pas. Le feu de coke était pourtant le foyer le plus intense dont j'aie pu disposer.

Il a fallu, pour arriver au rouge, suspendre l'alimentation jusqu'à évaporation complète de liquide. Alimentons alors : nous sommes bien dans les conditions pratiques d'une chaudière ayant rougi par manque d'eau.

FOYER	Pression atmosphérique.	Température d'alimentation.	Quantité d'eau évaporée par m. c. et heure.	Calories transmises par m. c. et heure.
7 Bunsen + 1 chalumeau soufflé + 1 chalum. oxydrique.....	754 ^m /m	14°	k. 662,8	412,858
Feu de coke.....	760	90°	994,3	543,882

Le résultat est indiscutable et les conclusions formelles : l'état sphéroïdal ne se produit pas dans les chaudières sur les tôles rougies. La cause en est probablement dans les courants qui se développent au sein du liquide et qui renouvellent incessamment les couches exposées au rayonnement du métal rougi (1). Le contact n'ayant pas lieu, la conductibilité n'intervient sans doute presque pas dans le phénomène, mais le rayonnement s'y substitue, et comme il est fonction tout au moins de la différence de température de la tôle et du liquide, il prend une importance énorme. Les ingénieurs remar-

(1) Nous renonçons à discuter plus complètement ici les causes pour lesquelles l'effet Boutigny ne se réalise pas en grande masse d'eau continue, non globulaire : il faut y faire intervenir des actions fort complexes.

queront, en effet, cette vaporisation colossale de 994 kilogs par mètre carré et par heure; ils reconnaîtront que, si l'état sphéroïdal n'est pas à craindre, on n'a pas moins à redouter cette grande puissance vaporisatrice du métal amené à une température élevée.

Il résulte donc de nos expériences que le phénomène de l'évaporation instantanée, invoqué par Boutigny, ne devait pas être admis pour expliquer l'excès de pression. Mais il y a lieu de tenir compte des 543.882 calories qui traversent alors un mètre carré de surface de chauffe par heure. Ce fait doit être examiné à fond, car il pourrait conduire à une explication rationnelle de certaines augmentations de pression constatées lors d'une alimentation d'eau sur des tôles rougies.

Et d'abord, il est nécessaire de rechercher, par le calcul, quel accroissement de pression peut résulter de l'introduction dans une chaudière d'une aussi grande quantité de chaleur. Afin de donner à ce calcul le caractère pratique qui lui convient, je l'appliquerai à une chaudière déterminée, et je choisirai comme exemple le beau générateur tubulaire à foyer intérieur exposé, en 1889, à Paris, par la Société de Fives-Lille. Voici les dimensions de cet appareil que nous aurons besoin de connaître :

Surfaces de chauffe : du foyer	6,50 mètres carrés.	
— des tubes	53,60	—
— de la paroi extérieure.	32,70	—
	<hr/>	
Surface totale.....	92,80	—
Volume de la vapeur.....	1,920 mètres cubes.	
Volume de l'eau.....	6,260	—
	<hr/>	
Volume total.....	8,180	—
Tôles de coup de feu : longueur.....	2,83 mètres.	
Demi-circonférence du tube-foyer.....	1,60	—
Surface des tôles de coup de feu.....	$2,83 \times 1,60 = 4,928^{\text{m.c.}}$	
Timbre : 9 k. ; Température.....	179°	

Pour arrondir ces nombres, prenons la vapeur à une température de 180° et comptons sur 5 mètres carrés pour la surface des tôles

de coup de feu ; admettons que pour une cause quelconque, elles aient pu rougir, qu'elles soient maintenues à cet état par un feu violent et qu'elles viennent alors à être recouvertes d'eau. Mes expériences démontrent qu'elles *peuvent rester rouges* et qu'il passe alors à l'eau 543.883 calories par mètre carré et par heure ; or, la transmission normale est de 93.982 calories ; l'excédent est par suite de 450.000 calories.

Or, représentons par Q le calorique excédent cédé en une heure par un mètre carré de tôle rougie ; soit S la surface portée au rouge et M la masse d'eau renfermée dans l'appareil ; considérons un intervalle de temps dt , pendant lequel il se produit une élévation de température $d\theta$; nous aurons

$$Q s d\theta = M c dt ;$$

C est la chaleur spécifique moyenne de l'eau aux températures des chaudières ; Clausius faisait toujours $C = 1,013$.

Nous voyons donc que

$$d\theta = \frac{MC}{Q s} dt$$

Appelons ϵ la variation de pression dans l'unité de temps, c'est-à-dire, par minute, puisque Q est rapporté à cette unité.

$$\epsilon = \frac{dp}{d\theta} = \frac{dp}{dt} \frac{Q s}{MC}$$

Cette formule nous montre que ϵ est d'autant plus grand que S est lui-même plus grand et M plus petit ; ainsi l'accroissement de pression sera maximum dans une chaudière dans laquelle la surface de chauffe directe sera considérable et qui renfermera un faible volume d'eau ; tel serait le cas d'une chaudière multitubulaire (1).

(1) Quand l'eau manque dans une chaudière, un chauffeur perspicace peut en être prévenu, en dehors de toute indication des niveaux, par les variations rapides de pression à la suite d'un arrêt.

On peut calculer facilement ε , car les valeurs de $\frac{dp}{dt}$ sont données par les tables de Zeuner ; à 180° , $\frac{dp}{dt}$ est égal à 173,423 en m/m de mercure, soit à $173,423 \times \frac{1,033}{760}$ en kilogs par centimètre carré ; cela fait 0,2357.

Nous trouvons par suite :

$$\varepsilon = 0,2357 \frac{37,500}{6260 \times 1,013} = 1 \text{ k. } 39$$

Telle est l'augmentation de pression qui se produirait par minute par le fait d'une alimentation d'eau sur des tôles amenées et maintenues au rouge ; nos expériences faites en chaudière ouverte ne sont assurément pas identiques au cas de la pratique industrielle, mais nous croyons néanmoins pouvoir conclure de nos essais et de nos calculs que l'augmentation de pression ne peut être que faible. Elle n'a rien d'inquiétant, quand les soupapes de sûreté jouent librement, car ces soupapes donnent issue à une quantité de vapeur plus que suffisante pour maintenir la pression à sa valeur normale ; elle ne serait réellement dangereuse que dans le cas contraire. Or, il importe de remarquer que nous nous sommes placés dans les conditions essentiellement défavorables d'une chaudière fonctionnant à une pression fort élevée, pour laquelle $\frac{dp}{dt}$ a une valeur considérable.

Si donc on se place *au seul point de vue de l'élévation de pression*, on doit reconnaître que l'alimentation sur tôles rouges est loin de présenter un danger immédiat d'explosion. Nos conclusions concordent absolument avec celles que M. Fletcher, ingénieur en chef de l'Association de Manchester, a déduites des fameuses expériences faites par lui, en 1890, sur une chaudière fermée dont il faisait rougir les tôles de propos délibéré pour voir ce qu'il adviendrait lorsqu'on procéderait à une injection d'eau froide. Le

rapport de M. Fletcher a été publié par l'*Engineering* et analysé par M. Serment dans le Bulletin de la Société scientifique de Marseille, tome XVIII, page 39. La chaudière sur laquelle on a opéré était une chaudière à foyer intérieur, de 8^m,45 de longueur, de 2^m,13 de diamètre pour le corps extérieur et de 0^m,91 de diamètre pour le tube foyer ; les tôles avaient 11 et 15 ^m/_m d'épaisseur. Ce générateur était installé au milieu d'une grande cour des ateliers de chaudronnerie de M. Clayton, à Preston ; il était entouré de fortes barricades en gros madriers de 76 ^m/_m, cloués sur des pieux et soutenus par un terre-plein ; les observateurs s'abritaient derrière ce solide parapet et ils manœuvraient de là les divers appareils placés sur la chaudière. Les feux étaient poussés vivement, alors que le ciel du foyer était découvert d'une certaine quantité : des bandes fusibles de plomb avaient été disposées de manière à faire savoir aux opérateurs que le rouge était obtenu, et l'on alimentait alors. Quatorze expériences furent faites à la suite : on activa le feu à outrance et, à cet égard, il faut reconnaître que l'essai reproduisit les conditions des plus forts coups de feu, attendu qu'il se forma sur la tôle des ampoules de 50 sur 21 centimètres ; l'alimentation avait lieu tantôt en plein sur la paroi rouge, tantôt contre les flancs du corps cylindrique extérieur, suivant le procédé habituel. On ne réussit qu'une seule fois à faire sauter la chaudière, et encore ne fût-ce pas une véritable explosion, car le foyer se déchira fort doucement ; un chauffeur, placé devant la porte du foyer eût pu être brûlé, mais il n'y aurait pas eu de dégâts matériels. Cette déchirure se produisit à la première rangée de rivets du foyer ; elle avait 91 centimètres de développement et elle baillait de 30 centimètres au milieu de sa longueur. Dans la plupart des essais, la pression baissait au moment de l'alimentation et les tôles se refroidissaient rapidement ; on n'observa qu'une seule fois une augmentation de pression de 1 k., 47 en 45 secondes, mais ce fut un maximum et la pression tomba ensuite graduellement, au point de revenir à sa valeur initiale après 13 minutes et demie. M. Fletcher eût désiré

continuer ces essais en opérant en rase campagne, et non plus au sein d'un quartier populeux de grande ville ; mais il ne put réaliser son projet. Ses expériences ont du reste donné la preuve des faits que nous avançons à la suite de nos calculs, à savoir que l'alimentation sur tôles rouges ne produisait pas une forte élévation de pression. M. Fletcher a résumé ses conclusions en ces termes : « Ces expériences mettent à néant l'opinion généralement reçue que le fait de projeter de l'eau froide sur les ciels de foyer portés au rouge produit le dégagement instantané d'un immense volume de vapeur, qui agit comme la poudre, annulant l'effet des soupapes de sûreté et faisant sauter la chaudière en projetant des éclats à des distances considérables. »

Nous déduirons donc de nos calculs et des essais de Manchester que les explosions tonnantes par manque d'eau ne paraissent généralement pas imputables à un grand développement de la pression.

Comment expliquer dès lors, les explosions si violentes par défaut d'eau, dont nous connaissons, il est vrai, assez peu d'exemples, mais qu'il serait imprudent de vouloir contester, car il existe certains cas absolument indiscutables. Nous proposons d'en rendre compte de la manière suivante :

Supposons une chaudière dont les tôles soient aigres, cassantes et peu ductiles, et dans laquelle, par suite du rougissement d'une assez grande surface, il se développe une surpression de un ou deux kilogrammes au-dessus du timbre : assurément l'affaiblissement de la paroi et l'excès de tension seront insuffisants généralement pour provoquer une rupture, et la chaudière résistera à cette épreuve. Mais qu'il survienne une commotion quelconque, tel qu'un violent soubresaut de l'eau ; qu'il se produise une contraction subite d'une paroi, par un courant d'air froid s'engouffrant par les portes dans les carneaux, dont le contre-coup entraînera une tension plus grande sur la tôle rougie ; qu'on abaisse brusquement la température de la paroi rougie par une projection d'eau froide ainsi qu'il est arrivé à Marnaval, d'après les données de l'enquête faite par M. Trautmann,

ingénieur des mines (1) ; toutes les causes que nous venons d'énumérer peuvent provoquer une brusque déchirure ; il y aura explosion si la chaudière renferme à ce moment une certaine quantité d'eau, et cette explosion sera violente. Ce résultat n'est certes pas fatal, les expériences de M. Fletcher le démontrent surabondamment, mais il peut se produire, et cela suffit à notre thèse.

Il y aura encore grand danger d'explosion, lorsque les tôles rougiront et que les soupapes seront calées ; car, nous l'avons démontré, la pression peut monter de 4 k. 39 par minute, ce qui fera une augmentation de 7 kilogs en cinq minutes, et cela suffit bien pour faire rompre une chaudière affaiblie.

De tout ce qui précède, découlent d'importantes conclusions pratiques, que nous allons formuler avec la plus grande précision, parce qu'en cette matière il faut une rigueur mathématique.

Il est souverainement imprudent de laisser sans une couverture d'eau les surfaces de chauffe directe d'une chaudière, parce qu'alors les tôles sont exposées à rougir, et qu'une explosion peut se produire. Les dangers d'explosions sont moins grands, si le métal est d'excellente qualité, ductile, non cassant, et si les soupapes de sûreté fonctionnent bien ; les dégâts seront d'autant moins considérables que l'appareil renfermera moins d'eau ; avec une chaudière dont le métal est aigre ou fatigué, et qui renferme une grande réserve d'eau, l'explosion peut devenir terrible. C'est donc avec raison que les chauffeurs redoutent par dessus tout le manque d'eau, et il faut se garder de leur donner à cet égard une assurance qui pourrait avoir les plus redoutables conséquences. Nous tenons à le proclamer hautement, de crainte qu'on ne cherche dans nos expériences des arguments pour excuser ceux qui se seraient rendus coupables d'une négligence quelconque au point de vue de la continuité de l'alimentation.

(1) M. Trautmann déclare que, si une tôle a rougi, « la moindre projection d'eau froide suffit pour la faire fendre, non pas par suite d'une augmentation brusque de pression, mais bien par suite du contact de l'eau avec une tôle rougie. » *Annales des Mines*, 8^e série, Tome IV, page 260.

Il nous reste une dernière question à étudier.

Admettons le cas d'une surchauffe de tôle à la suite d'un manque d'eau, d'un défaut de circulation d'eau ou de vapeur, d'une incrustation brusquement décollée ou pour toute autre cause. Que doit faire le chauffeur au moment où il s'en aperçoit ?

Il était difficile de répondre nettement à cette question et de donner satisfaction à toutes les théories, tant qu'on pouvait admettre la réalisation de l'effet Boutigny dans les chaudières. En effet, ce qui faisait sauter la chaudière, disait-on, c'était la vaporisation instantanée de l'eau, au moment où l'état sphéroïdal cessait d'exister ; tant qu'il durait, il ne se produisait qu'une faible quantité de vapeur ; dès qu'il prenait fin, à la suite d'un abaissement de température de la tôle, aussitôt toute l'eau devait se vaporiser en développant soudainement une masse de vapeur telle qu'aucune soupape ne suffisait à l'évacuer, et une pression si énorme qu'aucune paroi ne pouvait la soutenir. Quel conseil fallait-il donner au chauffeur ? En bonne logique il devait continuer de pousser ses feux, de crainte de laisser baisser la température du fer et de mettre fin à l'état sphéroïdal. C'était logique, mais qui aurait osé soutenir et surtout mettre en pratique une semblable conclusion ?

Mais du moment qu'il n'y a pas d'effet Boutigny à redouter, nous savons bien ce qu'il y a à faire : aussitôt que le chauffeur aura vu qu'une tôle a rougi, aussitôt il abaissera son registre, et il fera tomber ses feux, en cherchant surtout à faire refroidir l'appareil le moins brusquement possible ; le feu tiré, il vaudra donc mieux fermer les portes que les laisser ouvertes. Que le chauffeur se garde surtout d'alimenter sa chaudière ; la raison en est évidente, parce que d'une part l'explosion serait plus vive s'il y avait davantage d'eau (l'eau de la chaudière est la poudre de l'obus), et parce que d'autre part cette affusion d'eau froide peut produire une déchirure des tôles. Ce ne sera pas sans danger que le chauffeur se présentera ainsi devant le foyer, mais, en se dévouant, il pourra éviter un grand désastre. S'il est coupable de négligence, il n'a pas le droit de reculer ; ce serait

une lâcheté de fuir. Il lui reste d'ailleurs de grandes chances de salut, s'il opère vite, si les soupapes sont libres et si la chaudière est en bon état.

Nous avons insisté beaucoup sur les explosions par manque d'eau, parce qu'elles nous ont fourni l'occasion d'entreprendre des expériences nouvelles et que tout ce que nous avons dit s'applique aux coups de feu de tout genre produits par obstructions, incrustations, dépôts de corps gras (1), défaut de circulation, etc. ; quelle que soit la cause pour laquelle une tôle rougisse, le danger est le même.

Il nous reste à nous occuper des causes fortuites ou mal définies ; ici le champ s'ouvre largement aux théories et aux conjectures.

On se rappelle sans doute le mouvement d'opinion provoqué il y a quelques années par les notes présentées à l'Académie des Sciences par le commandant Trèves ; d'après lui, la plupart des explosions produites sans cause connue, devaient être attribuées à l'état de surchauffe de l'eau. Il exposait sa thèse dans les termes suivants, que nous empruntons à sa communication du 24 avril 1883 : « Quand un liquide est entièrement privé d'air par une longue ébullition, il se surchauffe, c'est-à-dire que sa température peut s'élever de 30 à 40° au-dessus du point normal d'ébullition dans cet état, l'eau va donc emmagasiner de la chaleur, sans pouvoir la restituer sous forme de chaleur ; c'est une eau devenue dangereuse. Survienne alors incidemment une de ces nombreuses causes, donnant naissance à ces surfaces d'évaporation que MM. Donny et Gernez ont si bien étudiées et décrites, il se produira une soudaine et terrible explosion, attribuée le plus souvent encore à des causes inconnues. Il reste donc établi que, en dehors de ces grossières fautes d'un manque d'eau et d'un encrassement des chaudières, c'est à la surchauffe qu'il faut recourir pour expliquer la plu-

(1) L'alimentation des chaudières marines avec des eaux chargées de corps gras est la cause la plus fréquente des coups de feu qu'elles subissent ; MM. Hirsch en France et Lewis en Angleterre ont publié sur ce fait d'importantes consultations.

part des nombreuses explosions de ces dernières années. » Ainsi le fait que l'eau pouvait, après avoir longtemps *bouillauté* (le mot est de M. Trèves), se trouver à une température supérieure à la température de vaporisation correspondante à la pression à laquelle le liquide est soumis, ce fait, disait-on, suffisait pour expliquer bien des accidents ; le surchauffage constitue en effet un état d'équilibre éminemment instable ; la rupture de cet équilibre pouvait produire une vaporisation rapide, suffisante pour compromettre la résistance de la chaudière la mieux établie.

La théorie de M. Trèves trouva tant d'écho dans le public, que M. le Ministre des Travaux Publics invita la Commission centrale des machines à vapeur à examiner la question : une sous-commission composée de MM. Tresca, Forquenot, Hirsch, Solier, Linder et Luuyt, fut nommée à cet effet, et elle entreprit des études et des expériences dans le but de vérifier l'exactitude des affirmations du commandant Trèves ; M. Hirsch écrivit un rapport sur la question, et il conclut en ces termes :

« La théorie des explosions que la sous-commission a eu à examiner semble, pour le moment du moins, ne s'appuyer sur aucun fait matériel ; elle a pour point de départ une assimilation fort discutable des chaudières à vapeur avec certains appareils délicats des laboratoires de physique ; elle ne paraît pouvoir être considérée jusqu'ici que comme une hypothèse non appuyée de preuves suffisantes. »

Il n'y a rien à ajouter à cet arrêt de la Commission centrale.

Constatons néanmoins qu'un certain nombre d'ingénieurs s'en tiennent encore à l'explication de M. Trèves, parce qu'elle leur paraît seule capable de rendre compte de quelques explosions produites au moment même de l'ouverture du robinet de la chaudière et de la mise en route du moteur qu'elle alimente. Nous ne sommes point de leur avis, parce que ces explosions ont toujours eu lieu dans des chaudières présentant une tare quelconque ou excessivement fatiguées : dès lors, il est inutile de se tourmenter l'esprit

pour découvrir la cause de l'accident. En effet, supposons qu'après un long arrêt, on ouvre rapidement un robinet : la vapeur se précipitera dans les conduites, qui sont très refroidies, et elle s'y condensera abondamment ; il en résultera une forte et brusque dépression dans la chaudière. Par suite, l'eau, qui aura conservé sa température, fournira une grande quantité de vapeur, dont la pression s'ajoutera à la commotion produite pour faire succéder à la dépression une surpression non moins subite, bien suffisante pour provoquer une rupture dans une chaudière mal conditionnée.

Les explosions de gaz tonnantes dans les carneaux sont une autre cause fortuite d'explosion : c'est à ce phénomène qu'a été due vraisemblablement la catastrophe de Friedenshütte. On y est exposé dans les appareils chauffés par la chaleur perdue des fours ou par des gazogènes : mais on a observé des explosions de carneaux dans des installations faites sur le type ordinaire et cette cause d'accident, bien que rare, devait être mentionnée.

Il reste enfin la part des actions ignorées ; mais elle se restreint de plus en plus.

Résumons cette longue étude.

La plupart des explosions sont dues soit à un vice originel dans la construction des générateurs, soit à son état de délabrement, de fatigue ou d'usure : il est donc facile de réduire à une fraction très faible les malchances auxquelles on s'expose. Une chaudière bien étudiée dans son ensemble, bien dessinée dans ses détails, construite en bonne tôle, suivant toutes les prescriptions de l'art, pourvue de ses appareils de sûreté, alimentée d'eau bien épurée, (ni boueuse, ni grasse, ni corrosive), non surmenée, soumise à des visites consciencieuses, mise entre les mains d'un chauffeur intelligent, habile, sobre, zélé et honnête, est pour ainsi dire inexplosible, et j'estime à $\frac{1}{10.000}$ ses chances d'explosion et à $\frac{1}{20.000}$ celles d'explosion grave. Cette évaluation doit rassurer les industriels, mais non pas leur inspirer une négligence coupable, qui pourrait produire une trompeuse sécurité.

L'HYDROTIMÉTRIE

PAR M. LENOBLE,

Professeur de chimie à l'école des hautes études industrielles.

L'hydrotimétrie est une opération qui présente une grande importance au point de vue industriel, c'est pourquoi je n'hésite pas à vous résumer deux travaux parus récemment sur ce sujet.

Le premier travail est de M. H. Courtonne ; il a été publié dans le *Moniteur scientifique*.

Ce travail a principalement pour objet la préparation d'une liqueur hydrotimétrique normale.

A l'époque où Boutron et Boudet firent connaître la nouvelle méthode d'analyse des eaux, on trouvait couramment dans le commerce du savon de Marseille préparé exclusivement avec de l'huile d'olives. C'est à l'aide de ce savon que ces auteurs obtenaient leur liqueur hydrotimétrique normale. Mais, aujourd'hui, on ne trouve plus ce savon pur ; aussi les liqueurs préparées avec le savon de Marseille sont-elles toujours trop faibles. De plus, elles ne se conservent guère ; on y voit apparaître des flocons au bout de très peu de temps.

C'est pour obvier à ces inconvénients que M. Courtonne a fait

sur ce sujet quelques recherches. Finalement il propose de fabriquer extemporanément le savon et de préparer la liqueur de la façon suivante :

Dans un ballon d'un litre on introduit :

Huile d'olives ou d'amandes douces	30 c ³
Soude à 36°	10 c ³
Alcool à 95°	10 c ³

On chauffe au bain-marie bouillant. Après quelques minutes, le savon est formé, on le dissout dans

Alcool à 60°	900 c ³
--------------------	--------------------

On agite quelques instants, on filtre, puis, après refroidissement, on complète exactement 1 litre avec de l'alcool à 60°.

La liqueur ainsi préparée se conserve bien, surtout si on a la précaution de la tenir à l'abri de l'acide carbonique de l'air ; elle ne donne qu'un dépôt insignifiant.

En outre, si on opère très exactement, son titre hydrotimétrique est de 22°. D'ailleurs, si ce titre n'est pas exact, il est facile de le corriger soit en augmentant, soit en diminuant la quantité d'huile. Je pense qu'il serait encore préférable de forcer d'abord la quantité d'huile de manière à obtenir une liqueur trop forte qu'on ramènerait au titre voulu par une addition convenable d'eau distillée.

L'auteur passe ensuite en revue quelques-unes des causes d'erreur qui ont été indiquées à propos des recherches hydrotimétriques. Voyons-les successivement :

1° *La température.* — Boutron et Boudet avaient signalé cette cause d'erreur et Pélégot, pour éviter la dilatation qui peut se produire quand on tient la burette en main pendant l'opération, avait conseillé de tenir l'hydrotimètre avec une pince en bois.

Comme le fait observer M. Courtonne, le calcul permet de déterminer la valeur de cette dilatation.

L'alcool à 60° a une densité de 0,914 à 15° centigrades.

A 25° cet alcool marque 63°5, ce qui correspond à la densité 0,906.

Pour cette élévation de température de 10° , le volume de l'alcool augmente donc dans la proportion de 906 à 914, c'est-à-dire que 1.000 c³ de cet alcool mesurés à 15° deviennent, quand la température passe à 25° , 1.008c³,8 et la quantité d'alcool qui correspond à 22 divisions de la burette devient 22⁰2 ; l'augmentation est de 0,2 ou $1/5$ pour une élévation de température de 10° au moins d'un $1/2$ degré pour une différence de température de 20° .

Il serait d'ailleurs facile d'éviter cette cause d'erreur en remplaçant la burette hydrotimétrique de forme anglaise, par une burette de Mohr et déterminant la valeur en degrés hydrotimétriques par exemple des dixièmes de c³.

2^o *Le degré alcoolique de la liqueur normale.* — L'auteur a recherché l'influence de ce degré sur la production de la mousse ; l'alcool fort ayant, comme on le sait, la propriété d'abattre les mousses.

Cette influence est nulle, car dans les conditions normales, la quantité de liqueur d'épreuve qu'on ajoute est si petite relativement aux 40 c³ d'eau sur lesquels on opère, que le degré alcoolique de l'eau additionnée de réactif est faible, 3° ou 4° , et ne varie, quand on augmente la force de l'alcool, que dans des limites très restreintes.

3^o *La nature de l'eau distillée* servant pour préparer les liqueurs titrées et pour diluer les eaux sur lesquelles on opère.

M. Courtonne recommande, comme l'avait déjà fait M. Vignon, de n'employer que de l'eau distillée, récemment bouillie dans des vases métalliques de platine ou de nickel.

4^o Enfin *l'équivalence des divers sels vis à vis de la liqueur d'épreuve.*

Wanklyn et Chappmann avaient observé que l'action des différents sels n'était pas équivalente et que notamment la précipitation complète de la magnésie exigeait une fois et demie autant de savon que la précipitation totale d'une quantité équivalente de chaux.

L'auteur a préparé deux liqueurs équivalentes, l'une de
 $\text{NO}^5, \text{BaO},$
autre de
 $\text{SO}^3, \text{MgO}.$

Voici les résultats obtenus :

40 c³ de $\text{NO}^5 \text{BaO}$ ont exigé 22° de liqueur hydrotimétrique.

40 c³ de $\text{SO}^3 \text{MgO}$ ont exigé 25° fort de liqueur hydrotimétrique.

Conséquemment, pour obtenir une liqueur magnésienne équivalente, il faut diminuer la liqueur précédente dans la proportion de 22/25.

C'est-à-dire qu'au lieu de dissoudre dans 1 litre d'eau 0 g. 556 de $\text{SO}^3 \text{MgO}, 7 \text{HO}$, il ne faut en employer que 0 g. 489.

Ces résultats exigent la correction de quelques coefficients donnés par Boutron et Boudet : tous les chiffres se rapportant aux combinaisons du Mg, doivent être réduits dans une proportion semblable ; on doit en prendre les 22/25.

Le second travail plus récent a paru dans la Revue des Sciences pures et appliquées, il est de M. Lévy, directeur du service chimique à l'observatoire de Montsouris.

L'auteur signale surtout les causes d'erreur de la méthode telle qu'elle a été présentée par Boutron et Boudet en 1856.

1° Il recommande de titrer la liqueur qu'on achète chez le fabricant de produits chimiques et signale en passant la formule de M. Courtonne.

2° Il conseille de remplacer le flacon portant quatre divisions par un flacon ordinaire dans lequel on introduit l'eau à l'aide d'une pipette graduée.

Cette indication est précieuse car il est difficile de graduer exactement un flacon d'une aussi large section, de plus une différence faible de lecture peut fausser considérablement le résultat.

Je suppose, en effet, un flacon de 4 centimètres de diamètre et

une différence de volume de 1 millimètre de hauteur (graduation et erreur de lecture comprise).

Cette différence correspond à un volume égal à $\pi \times 20^2 \times 1 = 1 \text{ c}^3 \text{ 256}$, soit $1/32$.

Supposons un résultat de 30° , la différence sera d'un degré environ.

3° A l'hydrotimètre de Boutron et Boudet, M. Lévy conseille, comme l'avait fait M. Courtonne, de substituer une burette de Mohr, afin d'éviter l'erreur due à la dilatation de l'alcool.

Nous avons vu tout à l'heure que cette erreur est négligeable, néanmoins l'emploi d'une burette de Mohr est certainement plus commode.

4° L'eau distillée pure n'a jamais un degré hydrotimétrique nul même après ébullition dans un vase métallique; il faut mesurer son degré hydrotimétrique et en tenir compte dans tous les calculs.

Nous reviendrons tout à l'heure sur cette question.

5° Il n'est pas indifférent de verser la liqueur de savon avec plus ou moins de rapidité.

L'auteur cite les résultats de quelques essais; les voici :

Par	5 g ^{tt} es	10 ^{es}	c ³	2 c ³ 4	2 c ³ 53
Lecture	23 ^d 4	23.4	24	25 ^d 3	25 ^d 3

Soit une différence de près de 2 degrés.

Voulant me rendre compte de ces causes d'erreur, j'ai fait plusieurs essais.

Une première série d'expériences m'a permis de vérifier le fait constaté par M. Lévy. Il faut d'autant plus de liqueur que le réactif est ajouté en masse plus considérable.

Dans une seconde série d'expériences j'ai recherché, en outre, quelle pouvait être l'influence du temps, celle de la température et celle de l'agitation.

Pour le temps, j'ai versé chaque fois le même volume de réactif, mais j'espaçais chaque addition d'un intervalle de temps plus ou moins prolongé.

Pour la température, après avoir mesuré dans un flacon 50 c³ de l'eau à essayer, j'ai placé ce flacon bouché au B — M jusqu'à ce que la température atteigne environ 65°.

Enfin, pour l'agitation, le flacon a été agité pendant 5 minutes.

Voici les résultats :

Par 0°1 temp. ord. lentement, quelques secousses après chaque add.	25
» 0°2 » rapidement,	» 25
» » » lentement,	» 25
» 0°5 » très rapidement,	» 25.8
» 0°5 » lentement,	» 25.8
» 0°6 » »	» 26.2
» 0°8 » »	» 27
» 1°25 (100 gouttes) temp. ord. lentement,	» 27.3
	(3 expériences).
En 1 fois temp. ord. rapidement,	» 28.6
	(3 expériences).
» » lentement,	» 27.5
» » repos 5' sans agiter	» 27.8
» » agitation pendant 5'	» 27.5
» 65°	27

Nous pouvons conclure :

a) Que l'observation de M. Lévy est confirmée ; il n'est pas indifférent de verser le réactif en proportions variables ;

b) La température n'exerce point d'influence notable ;

c) Il faut un certain temps pour que la réaction s'accomplisse.

Quand l'addition du réactif se fait par petites fractions, l'influence du temps devient nulle car l'opération est suffisamment longue par elle-même.

Il n'en est plus de même quand on ajoute le réactif en une seule fois.

Il est bon, dans ce cas, d'attendre quelques instants, avant d'ajouter les dernières gouttes de réactif ;

d) L'agitation favorise la réaction ;

e) Enfin, pour obtenir des résultats comparatifs, il est bon de faire deux opérations, l'une en versant le réactif par c^3 , l'autre en le versant en une seule fois, puis agitant et laissant reposer quelques instants avant de terminer.

C'est ce dernier résultat qu'on doit accepter.

6° Il faut produire une véritable mousse ; parfois il se forme une mousse non persistante qui disparaît quand on imprime au flacon un mouvement de rotation autour de son axe. Il faut se tenir en garde contre la production de cette fausse mousse.

J'ai constaté que cette fausse mousse se produisait quand on versait rapidement le réactif. Nous nous rendrons compte de ce fait en observant que la réaction n'est pas terminée : Pendant qu'on agite et qu'on fait tourner le flacon, elle se continue, s'achève et la mousse tombe.

7° Boutron et Boudet avaient admis que la quantité de liqueur nécessaire pour faire mousser 40^{c3} d'eau distillée récemment bouillie était constamment égale à 4 division de leur burette.

D'après M. Levy il n'en est rien, l'épaisseur de la mousse varie avec chaque opérateur, il est nécessaire que chacun détermine sa correction de mousse. De plus l'eau distillée n'ayant pas un degré hydrotimétrique nul, voici comment l'auteur conseille d'opérer.

Il dit : chaque opérateur déterminera sa correction de mousse en faisant une lecture avec 40^{c3} puis une seconde lecture avec 20^{c3} d'une eau.

Exemple : 40^{c3} liq. CaCl. donne.....	26 ^d . 2
20 ^e liq.	13 ^d . 6

La différence 12^d, 6 correspond exactement sans correction à 20^{c3} d'eau. La correction de mousse est donc ici de 4 division.

Je ferai observer que M. Levy admet qu'il faut la même quantité de savon pour faire mousser 20 ou 40^{c3} d'une eau quelconque.

Ceci est absolument inexact.

Voici les résultats que j'ai obtenus en opérant sur de l'eau distillée

récem ment bouillie dans un vase d'argent à l'aide d'une liqueur
 Courtonne sensiblement normale.

10 ^{es} moyenne 4 expér.	0,9
20 ^{es} — 3 —	1,2
30 ^{es} — 2 —	2,3
40 ^{es}	2,6

En versant le réactif par 1 goutte ou 2 :

10 ^{es}	0,5 et 0.7
20 ^{es}	1 —
30 ^{es}	1,5 —
40 ^{es}	2 —

Enfin :

200 ^{es}	5 divisions.
-------------------------	--------------

La quantité de savon nécessaire pour faire mousser de l'eau
 augmente donc avec la quantité d'eau sur laquelle on opère.

Ceci est parfaitement rationnel.

Cette proportion varie d'ailleurs avec le diamètre du flacon .

Par conséquent le procédé indiqué par M. Lévy est inexact.

De plus si, comme l'auteur le suppose, l'eau distillée ne possède
 pas un degré hydrotimétrique nul, je dis qu'il est impossible de
 déterminer la part d'action qui revient, d'un côté à l'eau distillée et
 de l'autre à la production de la mousse.

En effet, dans l'expérience de M. Lévy, citée plus haut, il faut
 observer que les résultats indiqués sont dus à 3 causes :

1^o Au CaCl = R.

2^o A l'eau distillée = E.

3^o A la production de la mousse = M.

Donc :

$$26,2 = R + E + M$$

$$13,6 = \frac{R}{2} + \frac{E}{2} + M'$$

L'auteur suppose à tort, nous l'avons vu, $M = M'$ et alors en

retranchant les 2 équations il trouve $R + E$ la somme des actions de l'eau distillée et du réactif, il peut ensuite obtenir M par différence.

Mais M étant différent de M' on ne peut plus résoudre ce système de 2 équations à 3 inconnues, le problème est insoluble et on ne peut que déterminer la somme des actions de l'eau distillée et de la mousse sans pouvoir dans chaque cas particulier préciser la part d'action qui revient à la production de la mousse.

8° L'auteur attire l'attention sur la nécessité de la vérification des liqueurs hydrotimétriques du commerce ; ceci est de la plus élémentaire convenance, et il n'est pas, je suis sûr, un chimiste sérieux qui agisse autrement.

Il indique ensuite qu'il faudra convertir les indications de la burette de Mohr en degrés hydrotimétriques Boutron et Boudet, et pour l'essai de la liqueur normale il conseille d'opérer comme suit :

Il détermine directement par le procédé ordinaire, la chaux contenue dans la liqueur de CaCl . (La proportion doit être de 426 milligrammes par litre).

Puis il fait un essai :

1° Sur 40^{es} de liqueur de CaCl .

2° Sur 40^{es} de cette liqueur traitée par $\text{C}^2\text{O}^3\text{NH}^4\text{O}$ et filtrée.

La différence correspond par convention à 22° hydrotimétriques.

Cette conclusion est exacte si l'oxalate d'ammoniaque n'exerce aucune action.

Or j'ai constaté que l'oxalate d'ammoniaque parfaitement neutre agissait sur la liqueur de savon, ce qui m'a conduit à étudier séparément l'action de l'acide oxalique et celle de l'ammoniaque. J'ai observé que l'action de l'ammoniaque était nulle ou presque nulle et que pour obtenir de l'oxalate d'ammoniaque inactif, il suffit de rendre sa solution légèrement alcaline.

Ceci m'a amené tout naturellement à neutraliser l'eau distillée à l'aide d'ammoniaque et j'ai constaté que dans ces conditions cette eau exerçait le minimum d'action. Une solution d'ammoniaque pure permettra donc de déterminer la correction de mousse et de rechercher l'action de l'eau distillée.

Voici les résultats de quelques essais qui ont été faits à l'aide d'une liqueur Courtonne presque normale et en prélevant chaque fois à l'aide d'une pipette, 50^{es} d'eau. La burette de Mohr dans laquelle était placée la liqueur donnait 75 gouttes par c³.

Moyennes de plusieurs opérations (en général 5).

Eau distillée.....	0 c ³ 13
Eau ammoniacale à 13 gouttes d'amm. pure par 500 ^{es}	0 c ³ 074 = 5 gouttes.
Eau ammoniacale à 2 c ³ ‰.....	0 c ³ 0666 = 5 gouttes.

le volume d'une goutte est de 0,014.

Une eau ammoniacale plus forte et même l'ammoniaque pure ont donné le même résultat.

Résultats moyens : Eau distillée.....	0.13
Eau ammoniacale.....	0.07

Si nous transformons les indications de la burette de Mohr en degrés hydrotimétriques et si nous rapportons ces proportions à 40 c³ en admettant la proportionalité qui existe réellement pour de faibles proportions, nous trouvons :

Eau distillée.....	0,99 soit 1°
Eau ammoniacale.....	0,53 soit 1/2 degré.

Enfin, dans la seconde partie de son travail l'auteur dit rapidement quelques mots de la méthode générale de Boutron et Boudet permettant de doser avec la chaux, la magnésie et l'acide carbonique.

Il rappelle l'incertitude qui existe toujours pour le 2^e et le 4^e résultats (dus probablement à l'action de C²O³, NH⁴O) et il termine en donnant une partie des résultats qui paraissent régulièrement dans le Bulletin officiel de la ville de Paris et l'Annuaire de Montsouris, concernant l'analyse des eaux utilisées pour l'alimentation parisienne.

Il fait observer combien les résultats obtenus peuvent être variables. Il cite l'exemple suivant :

Il a dosé la chaux restant dans le précipité après ébullition de l'eau et il a pris le degré de l'eau filtrée.

1° Lecture	10° Chaux du précipité	92 millg.	correspond.	à 16°1.	
2° —	7°,2	—	106	—	18°,6.

Les sommes des actions 26,4 et 25⁰.8 sont presque égales mais la répartition de la chaux est inégale.

Il fait aussi observer que le degré hydrotimétrique d'une eau ne suffit pas pour que cette eau soit réputée potable, il est nécessaire d'y adjoindre un examen bactériologique.

En résumé la méthode hydrotimétrique permet de classer les eaux d'après leur potabilité et surtout d'affirmer qu'une eau n'est pas potable quand son degré hydrotimétrique est très élevé. Mais les autres résultats ne sont qu'approchés.

Il me semble que personne n'a jamais douté de ces résultats.

L'impression qu'on éprouve à la lecture de l'article de M. Lévy est que l'hydrotimétrie est entachée de telles causes d'erreur auxquelles il est impossible de remédier, que c'en est fait de cette méthode d'analyse.

Mais rassurons-nous, l'auteur lui-même nous donne des résultats très exacts, très satisfaisants, même parfois identiques avec les données théoriques. Comment cela se fait-il? Il nous l'indique dans la 2^e partie de son article.

Il obtient des nombres exacts grâce à l'habitude qu'il possède des réactions chimiques et aux soins qu'il apporte dans ses opérations. Or, il n'est pas un chimiste, je pense, qui affirmerait un résultat obtenu sans soin et à l'aide d'une méthode à laquelle il ne serait pas exercé.

Donc nous pouvons encore compter sur les résultats fournis par l'hydrotimétrie, comme méthode d'analyse approchée, en tenant compte des observations faites dans le cours de ce rapide examen, savoir :

a) Déterminer :

1° La correction de mousse en opérant sur 40^{cc} d'une eau ammoniacale à 2^{cc} 0/100.

2° Le degré hydrotimétrique de l'eau distillée et en tenir compte dans la préparation des liqueurs normales.

b) Vérifier le titre de la liqueur savonneuse.

c) Mesurer l'eau à l'aide d'une pipette.

d) Se servir d'une burette de Mohr.

e) Enfin accepter comme résultat définitif celui qu'on obtient en versant le réactif en une seule fois.



QUATRIÈME PARTIE

EXCURSION

VISITE

PAR LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DU NORD

des Ateliers de la Compagnie du Chemin de fer du Nord

A HELLEMMES-LILLE

L'objet de l'excursion faite, le 28 avril 1892, par la Société Industrielle du Nord, a été la visite des ateliers de la Compagnie du chemin de fer du Nord, établis à Hellemmes le long de la ligne de Lille à Tournai, sur un terrain de 4.100 mètres de long sur 180 mètres de large.

Les divers bâtiments qui composent ces ateliers sont répartis en 3 groupes affectés : celui de l'Est aux machines et tenders, celui de l'Ouest aux voitures et wagons. Au centre se trouvent les magasins de matières premières et de pièces de rechange, le magasin des denrées pour la vente aux agents, le réfectoire des ouvriers, le service médical et quelques maisons d'habitation.

L'orientation du terrain de l'Est à l'Ouest a permis d'éclairer les ateliers uniquement par le système des toits à dents de scies tournés vers le Nord. On a ainsi l'avantage d'une lumière très douce, les rayons solaires ne pouvant nulle part pénétrer à l'intérieur.

Les *ateliers des machines et tenders* exécutent principalement les travaux de réparation, la Compagnie du Nord faisant construire par l'industrie privée la presque totalité des locomotives nécessaires

à l'exploitation de son réseau. Ils ont également à fournir au service du matériel roulant, un assez grand nombre de pièces neuves pour les voitures et les wagons.

Les ateliers sont distribués en 8 bâtiments : à l'Ouest l'atelier des roues et la forge ; au centre le montage, formant un vaste rectangle muni de 2 ailes renfermant, l'aile Nord les machines-outils, l'aile Sud la grosse chaudronnerie, la chaudronnerie en cuivre et la tôlerie. Plus loin se trouvent la peinture et les bureaux de l'ingénieur, des études et de la comptabilité, et, tout à fait à l'Est, le nouvel atelier de chaudronnerie dont l'installation n'est pas encore terminée. Enfin, au Nord, sont situés en bordure la fonderie de bronze et l'ajustage.

L'atelier des roues et bandages, placé à l'angle Sud-Ouest de ce groupe de bâtiments, renferme les appareils nécessaires pour la vérification des trains de roues des locomotives, le calage des roues sur les essieux, l'embranchement des bandages. Les roues des locomotives sont généralement tournées dans l'atelier des machines-outils dont il sera parlé plus loin.

L'atelier est muni, en outre, des tours nécessaires au finissage et à l'ajustage des essieux, centres et bandages livrés bruts par les usines métallurgiques, et des appareils montage des trains de roues des voitures et des wagons.

Il existe, pour le calage et le décalage des roues, 2 presses hydrauliques desservies par une pompe horizontale à 2 pistons.

Le chauffage des bandages à embatre se fait au moyen de 2 fours; des crochets manœuvrés par des potences les y introduisent et les en retirent une fois chauds pour les déposer sur des plateaux. L'essieu monté qui doit recevoir des bandages neufs est suspendu à un basculeur. Cet appareil se compose d'un grand étrier dont la traverse horizontale tourne dans des œils qui terminent les branches verticales. En son milieu, cette traverse porte une mâchoire où l'essieu est saisi. Le basculeur permet d'enlever l'essieu de la voie

pour le placer verticalement et le laisser redescendre sur le plateau où se trouve le bandage, puis de le retourner quand le premier bandage a été refroidi pour embatre le second.

Le désembatage se fait par chauffage au gaz, le mélange de gaz d'éclairage et d'air est allumé au sortir de trous percés dans la circonférence intérieure d'une couronne formée de tuyaux circulaires de diamètre convenable; la flamme jaillit contre la surface de roulement du bandage qu'elle réchauffe, pendant que l'intérieur de la roue est refroidi par de l'eau toujours renouvelée: le bandage est posé, à cet effet, sur un cercle de caoutchouc rond qui fait joint avec les bords d'une cuve au-dessus de laquelle est placée la roue.

Les tours et autres machines-outils de l'atelier sont mis en mouvement par une machine à vapeur horizontale de 30 chevaux à détente Meyer.

Une disposition très intéressante est celle des tours à tourner les bandages des essieux montés des voitures et des wagons. Placés contre le mur Ouest, ils communiquent chacun avec le parc aux roues au moyen d'une porte roulante. Les essieux montés peuvent ainsi être mis sur le tour sans pénétrer dans l'atelier.

Une partie du bâtiment est réservée au travail de réparation des tubes en laiton des chaudières. Ces tubes sont nettoyés dans des trommels placés à l'extérieur et visités ensuite. Les bouts de ceux qui sont susceptibles encore d'un bon service sont sciés, puis, à l'une des extrémités, on soude une manchette en cuivre pour ramener le tube à longueur. On ébarbe à l'endroit de la bavure et on essaie chaque tube ainsi réparé à la pression hydraulique de 20 kgs.

La *forge* renferme un marteau-pilon de 2.500 kgs pour le travail des grosses pièces et la fabrication du fer au moyen de riblons et de vieux bandages; les paquets destinés à la confection des massiaux sont chauffés dans 2 fours à vent forcé desservant, l'un le pilon de 2.500 kgs, le second un pilon de 1.000 kgs. A la suite de ces fours sont placées 2 chaudières Field produisant une partie de la vapeur nécessaire au fonctionnement des pilons.

Un certain nombre de marteaux à vapeur à double effet desservis par des feux de forge complètent l'outillage de l'atelier.

Le vent est donné aux forges par un ventilateur tournant à 700 tours environ par minute, mis en mouvement par une machine à vapeur horizontale. Ce moteur actionne également une scie à chaud, une machine à cisailer et une ébarbeuse.

Une partie de l'atelier des forges est réservée à la réparation des ressorts et à l'ébauchage des gros outils de tours.

La fonderie de bronze présente un intérêt particulier en raison de l'adoption qui y a été faite, pour la fusion de l'alliage, des fours mobiles permettant de couler sans retirer le creuset du feu. Cette disposition procure l'avantage de prolonger très notablement la durée des creusets. Depuis quelques mois la fonderie d'Hellemmes emploie, concurremment avec ces fours, des rehausses de forme particulière, sortes de réservoirs cylindriques dont le fond est une coupole renversée percée de trous. Ces rehausses sont placées sur le four au-dessus du creuset et reçoivent la charge des matières premières dont le mélange, après fusion, constituera le bronze. L'emploi de ces appareils permet une très bonne utilisation du combustible et imprime à la marche de l'opération une allure très rapide : 2 appareils sont maintenant en service, remplaçant 5 fours ordinaires installés primitivement.

La partie Nord de l'atelier est occupée par les fondeurs et les mouleurs : la partie Sud est réservée au démoulage des pièces, au nettoyage des sables ayant servi à la confection des moules, et à la préparation des mélanges de sables qui seront utilisés pour de nouveaux moules. Un broyeur de résidus à marteaux sert à la pulvérisation des sables, qui sont tamisés ensuite de manière à être débarrassés des morceaux de bronze restés dans les moules et des crasses formées au moment de la coulée. Le sable, ainsi nettoyé, est passé dans un broyeur-mélangeur avec une certaine quantité de sable neuf. Le broyeur de résidus et le broyeur-mélangeur prennent

leur mouvement sur un arbre commandé par câble : ce câble est, d'autre part, entraîné par une poulie montée sur une des transmissions principales de l'atelier des tours et machines-outils.

Contre le mur Ouest de l'atelier sont installés les étaux des ébarbeurs et un magasin de métaux ; une étuve, pour le séchage des moules, se trouve à proximité des fours.

L'atelier des tours et machines-outils occupe un bâtiment rectangulaire de 25 mètres de largeur et 82^m50 de longueur. Les mêmes machines-outils s'y trouvent réunies les unes à côté des autres, chaque groupe étant départi à un chef-ouvrier qui dirige et surveille le travail confié à l'association. La partie Est de l'atelier est occupée par les machines-outils diverses : machines à mortaiser, à tarauder, à fraiser et à percer. Les étaux-limeurs et les tours sont installés dans la partie Ouest. Les gros outils sur lesquels sont travaillées des pièces dont l'abloquage exige des engins mécaniques de levage sont placés dans la travée Nord, de chaque côté du chemin de roulement d'une grue Ramsbottom de 6 tonnes servant à ces manœuvres. C'est là que sont placés les grands tours à roues de locomotives, et les machines sur lesquelles se fait le travail de finissage et d'ajustage des essieux coudés : ces essieux sont tournés sur des tours spéciaux à 4 outils. Enfin, tout à fait à une extrémité de cette travée, se trouve un tour de construction spéciale pour le rafraichissage des fusées et des boutons d'accouplement des roues montées.

Une annexe de l'atelier contient les machines spéciales pour le polissage et la rectification à l'émeri des pièces trempées. Les plus remarquables de ces machines sont la meule-alésoire servant à rectifier les œils, les boutons et les coulisses de distribution, la machine à dresser les glissières des têtes de pistons, les boîtes à graisse trempées, les têtes de bielles, etc., la polissoire-chirotrope à l'aide de laquelle on polit, en les laissant posées sur une table ou sur des tréteaux, les glissières, bielles, têtes de piston, etc., toutes pièces

dont le poids est trop grand pour qu'on puisse les présenter à la main aux polissoires ou meules fixes ordinaires.

Les machines à meuler à sec sont munies d'un aspirateur destiné à enlever les poussières d'émeri et de fer.

Dans l'atelier de meulage sont installées également une meule à tailler et affûter les lames des scies à métaux, des meules pour tailler les outils et pour affûter les forets hélicoïdaux.

Une autre annexe de l'atelier des tours renferme l'outillage, où sont confectionnés les outils employés dans l'atelier, notamment les forets et les fraises, dont l'usage est très développé à Hellemmes.

Les transmissions de l'atelier des tours et machines-outils sont actionnées par 2 machines Corliss attelées sur les manivelles calées à angle droit de l'arbre qui porte le volant. Ces machines, marchant à échappement libre, développent 150 chevaux environ. Deux générateurs, du type des chaudières des locomotives, dont un seul en temps normal est allumé, produisent la vapeur nécessaire pour la marche du moteur.

La *chaudronnerie* occupe actuellement le bâtiment symétrique de l'atelier des tours. Outre le travail des chaudières, on y exécute la tôlerie et la tuyauterie des locomotives, ainsi que la réparation des tenders.

Des forges rondes et des tas servent à la forge des tôles qui entrent dans la construction des boîtes à feu des chaudières; à Hellemmes, l'emboutissage se fait toujours au maillet de bois et au marteau. Pour cintrer les grosses tôles, la chaudronnerie dispose de 2 machines pouvant cintrer: l'une des tôles de 2^m,500 et 12 ^m/_m d'épaisseur maximum, l'autre dans des tôles de 3^m sur 20 ^m/_m d'épaisseur.

Une machine à chanfreiner, des cisailles et des poinçonneuses, des machines à percer et des tours complètent le gros outillage nécessaire au travail des tôles.

Les chaudières en construction ou en réparation sont rangées les

unes à côté des autres sur des tréteaux dans la travée Sud du bâtiment. Cette travée est desservie par un pont roulant actionné par câble.

La travée Nord est occupée, en partie, par les tenders qui sont placés sur des voies mises, par un chariot sur fosse, en communication avec les voies de circulation.

La chaudronnerie, comme d'ailleurs le montage, emploie une méthode de travail qui rend de très grands services : elle consiste dans l'emploi des machines portatives mues par cordes, effectuant rapidement sur place un certain nombre d'opérations qui se faisaient autrefois en transportant sur les machines-outils des pièces souvent très lourdes. Les machines à corde employées à la chaudronnerie sont principalement des machines à percer et des machines à tarauder. Elles empruntent leurs mouvements à un arbre porté sur les colonnes des fermes et commandé lui-même par la machine Corliss de l'atelier des tours. Cette transmission actionne aussi les autres machines-outils fixes.

Devenu complètement insuffisant par suite du nombre toujours croissant de chaudières à réparer, l'atelier de chaudronnerie va être incessamment transporté dans un nouveau bâtiment construit à l'Est des ateliers existants.

La nouvelle chaudronnerie, éclairée, comme les autres ateliers, par des toits à dents de scies, est partagée en trois travées d'élévations inégales ayant, celle du milieu 12 mètres depuis le sol jusqu'à la naissance des dents de scies, et les travées latérales 8 mètres,

La travée centrale, dont la largeur est de 18 mètres, sera réservée au travail des chaudières, montées sur tréteaux et rangées sur deux lignes le long des rangées de colonnes bordant la travée. Au milieu seront 8 fosses pour l'essai des chaudières ; à l'extrémité Nord sera installée une riveuse hydraulique fixe pour la construction des corps cylindriques et des boîtes à feu. L'atelier disposera, en outre, pour le travail sur place, d'une riveuse mobile pour le service

de laquelle sont réparties, dans l'atelier, 9 prises d'eau à la pression de 400 kgs par c/m^2 .

Deux ponts-roulants électriques de 47 et de 40 tonnes desserviront la travée centrale. Ces appareils seront utilisés pour la mise en place des chaudières sur les tréteaux et les manœuvres de retournement au cours des travaux de réparation ; ils serviront aussi à supporter les chaudières pendant le rivetage à la riveuse hydraulique. En outre, 4 grues roulantes électriques de 1000 kgs, circulant dans la travée centrale le long des colonnes, permettront d'amener commodément à pied-d'œuvre les pièces travaillées aux machines-outils dans la travée Ouest, ou aux forges dans la travée Est.

Une partie de cette dernière travée sera réservée au travail des foyers, la partie Sud de la travée Ouest devant servir de magasin pour les tubes des chaudières.

La force motrice sera fournie à l'atelier par une machine Compound horizontale alimentée par un générateur de $140m^2$ de surface de chauffe du type chaudière de locomotive.

Ce moteur, de 175 chevaux de force, commandera par courroie les transmissions principales conduisant les différentes machines-outils et les ventilateurs des forges. Il actionnera également une dynamo de 50 chevaux produisant l'électricité nécessaire pour les ponts-roulants et les grues, et les pompes de l'accumulateur desservant les riveuses hydrauliques.

La chambre de la machine et du générateur est placée à l'extrémité Nord du bâtiment, à côté du bureau du contre-maître et du magasin des tôles.

Dans un nouvel atelier livré récemment au service et situé à côté de la fonderie sont installés les ajusteurs, les menuisiers, les ferblantiers et les magasins des modèles.

La partie réservée aux ajusteurs est placée au centre ; des établis avec étaux, des marbres, des meules en grès et des meules en émeri, 4 machines à percer et 1 presse à emmancher les bagues en compo-

sent l'outillage. Un pont-roulant, mû à la main, sert au déchargement des pièces les plus lourdes amenées sur lorries, et à leur transport dans l'atelier.

Dans la menuiserie sont installés un tour et une scie à ruban.

Toutes ces machines sont commandées par une transmission principale mise en mouvement par un câble. Ce câble est mené lui-même par une poulie à gorge montée sur une des transmissions de l'atelier des tours.

Le montage, dont l'axe est dirigé Nord-Sud, comprend une fosse centrale dans laquelle circule un chariot à vapeur. De chaque côté se trouvent des fosses sur lesquelles sont placées les locomotives pendant la réparation. Ces fosses sont au nombre de 28 pouvant recevoir chacune 2 locomotives. Une 29^e fosse se trouve affectée à une bascule à l'aide de laquelle est réglée la suspension des machines au moment de la mise en service.

Le chariot à vapeur sert, non-seulement à transporter les machines depuis la voie d'entrée jusqu'à la fosse qu'elles doivent occuper, mais il est utilisé aussi pour les manœuvres intérieures : transports de chaudières amenées de la chaudronnerie, transbordement des grues et des wagonnets. Il est muni d'un cabestan pour tirage des machines froides.

Contre les murs de l'atelier sont disposés des étaux d'ajusteurs. D'autres étaux, ainsi que des servantes où l'on dispose les pièces lors du démontage des machines, sont placés entre chaque fosse.

L'emploi des machines à corde pour le travail d'alésage, de dressage, de perçage et de taraudage est très développé dans cet atelier. Les meules à affûter les outils marchent également à la corde. Le mouvement est pris sur la transmission principale posée le long du mur Ouest et de l'atelier et reliant la chaudronnerie à l'atelier des tours.

Dans une annexe du montage est installé un atelier de cémentation et de trempe pour les pièces de mécanisme. A Hellemmes, la

céméntation se fait par le charbon de bois. Les pièces sont enfermées avec cette substance dans des caisses en tôle de forme appropriée à celle des pièces elles-mêmes. Les caisses sont chauffées au coke ; vers la fin de l'opération, on introduit dans les caisses quelques morceaux de cuir que l'on pousse par une tubulure faisant saillie à l'extérieur sous un double fond dont chaque caisse est munie.

Au sortir des caisses de céméntation, les pièces sont plongées dans des bacs d'eau froide placés à proximité.

L'Atelier de peinture est desservi par un chariot sur fosse spéciale, mû à bras. Les machines y sont amenées à l'aide d'un câble actionnée par le cabestan du pont-roulant du montage. L'atelier de peinture comprend 5 fosses sur chacune desquelles peuvent être placés une machine et son tender ou 2 machines à la fois.

A l'extérieur, entre les bâtiments et la ligne de Lille à Ascq, sont installées des voies de garage pour les machines attendant leur entrée en réparation et pour le train d'ouvriers. Une de ces voies est spécialement affectée à l'essai des machines. On les y fait circuler avant de les mettre en peinture, pour s'assurer de la bonne façon du montage. Cette voie de circulation des machines se prolonge jusqu'à l'extrémité des ateliers du matériel roulant, sur 4 kilomètre environ de longueur.

Les ateliers de réparation des voitures et wagons se composent d'un groupe de bâtiments comprenant : l'atelier des apprentis ajusteurs, celui des apprentis menuisiers, l'atelier de flamage de bois avec une étuve pour le séchage, un magasin des bois bruts, l'atelier d'ébénisterie et de sellerie, l'atelier de réparation des bâches et l'atelier de broierie des couleurs.

Ces divers ateliers sont disposés tout autour de l'atelier principal auquel ils sont reliés par voies normales et plaques tournantes.

L'Atelier principal est couvert par une toiture en dents de scie. Il est desservi par 2 chariots-roulants, sans fosse, qui se meuvent en

travers de l'atelier en coupant toutes les voies sur lesquelles sont placés les wagons en réparation. Ces chariots ont été étudiés en vue de supprimer les fosses sans empêcher la circulation transversale des véhicules dans l'atelier : à cet effet, les roues des chariots passent dans des rainures au fond desquelles sont disposés les rails sur lesquels elles roulent.

On n'exécute dans cet atelier que les réparations exigeant plus de 12 heures. Celles qui demandent moins de ce temps se font sur 2 voies placées à l'extérieur et couvertes seulement par un hangar. Cette installation est complétée par un petit atelier et un magasin spécial.

Dans le bâtiment principal se trouve un *atelier de forge et d'ajustage* pour le travail des métaux et l'*atelier des bois* dont l'outillage comprend 3 scies, 2 machines à raboter et 1 machine à mortaiser, 1 machine à tenons et 1 machine-toupie pour la confection des moulures et des feuillures.

Toutes ces machines à bois sont pourvues d'un aspirateur qui enlève les poussières et les copeaux. Ces déchets viennent se réunir dans les sous-sols de l'atelier, d'où on les remonte dans la chambre des générateurs pour le chauffage desquels ils sont utilisés.

Ces générateurs, au nombre de 3, fournissent la vapeur à une machine Corliss de 75 chevaux qui actionne tout l'atelier.

Un *atelier de peinture* est installé à l'extrémité Ouest du bâtiment principal.

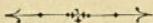
L'outillage est complété par une fosse à régler les freins, 2 fosses à régler le parallélisme des essieux, des grues pour le levage des caisses de voitures, et des appareils pour vérifier le fonctionnement des appareils de freins continus.

Plusieurs groupes de voies établies à l'extérieur servent à garer les wagons et voitures venant en réparation et à en faire le triage. Le passage des véhicules des voies d'un de ces groupes sur celles d'un autre groupe et leur entrée dans le bâtiment principal se fait à

l'aide d'un chariot sans fosse, mû à bras, analogue à ceux qui fonctionnent à l'intérieur.

Le *Magasin* est placé entre les 2 groupes d'ateliers qu'il doit approvisionner. Il se compose d'un bâtiment à deux étages bâti sur caves. Les différents étages sont desservis par un monte-charges actionnée par un câble commandé par la machine de l'atelier des forges. Une voie reliée par des plaques tournantes au réseau des voies des ateliers traverse la nef centrale du bâtiment et permet aux wagons chargés d'amener les marchandises à proximité de la place qu'elles doivent occuper, et aux lorries de l'atelier de venir facilement déposer les matières fabriquées.

Un *Réfectoire* où 300 ouvriers à peu près viennent chaque jour prendre leur repas et une épicerie complètent l'ensemble des services de l'économat.

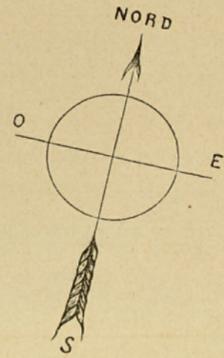


CHEMIN DE FER DU NORD

ATELIERS D'HELLEMES

Dressé le 14 Avril 1892.

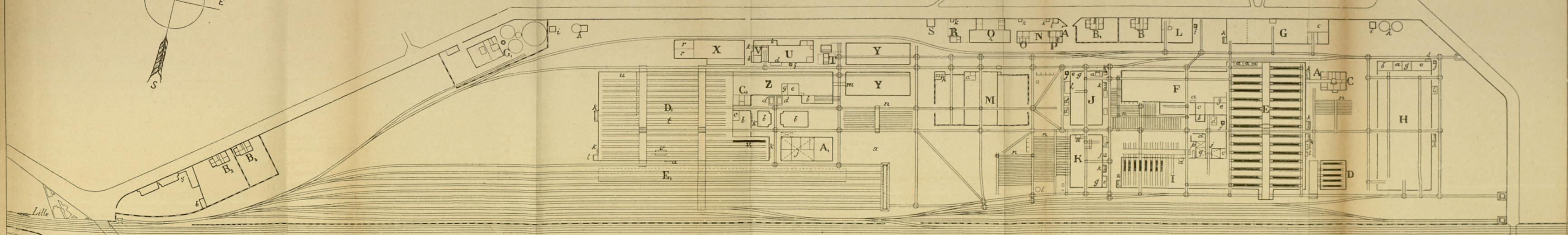
Echelle de 0,0005 p. m



Voitures et Wagons

Magasins et Dépendances.

Locomotives et Tenders



Légende

Machines

- A Concierges.
- B Inspecteur des Ateliers
- B₁ Chef des Ateliers.
- C { Bureaux des Ingénieurs, Inspecteurs, Dessinateurs,
Comptables, Télégraphe et Photographie.
- D Peinture.
- E Montage.
- F Ajustage-Machines.
- G Ajustage-Limes.
- H Chaudronnerie
- I Tenders et travail des tuyaux
- J Forges.
- K Roues et Bandages.
- L Fonderie de cuivre.

- M Economat
- N Epicerie
- O Logements pour chef pompier et surveillants
- P Service médical
- Q Refectoire, cuisine, Logements pour garde Magasin et surveillant.
- R Lampisterie.
- S Pompes à Incendie

Voitures et Wagons.

- B₂ Ingénieur et sous-chef d'atelier
- T Finissage, flambage.
- U Ateliers des Apprentis
- V Broierie.
- X Voiliers

- Y Dépôts de bois
- Z Forges et Machines-Outils.
- A₁ Ebénistes, ferblantiers, corderie, buanderie, magasin de crins.
- C₁ Bureaux des employés
- D₁ Réparation des Voitures.
- E₁ Hangar pour l'entretien courant
- G₁ Gazomètre.

Divers

- a Bureaux de contre-maitres, chefs d'équipe, brigadiers.
- b Magasins.
- c Outillage.
- d Fosses à charbon
- e Chaudières à vapeur
- f Cheminées.

- g Machines à vapeur
- h Réservoirs de 150 m³
- i Compteurs
- J Citernes avec filtres.
- k Cabinets d'arsance
- l Lessivages ou chaudières à dégraisser.
- l₁ Four.
- m Abri de locomotive pour trans^o auxiliaire
- n Pans à roues.
- o Menuiserie
- p Cimentation.
- q Tubes et Ferblanterie
- r Séchoir
- t Apprêts de peinture
- u Vernissage.

- v Fosse pour vérifier les plaques de garde
- v₁ - d' - monter les freins.
- x Emplacement des vieilles ferrures et démolitions de wagons.
- y Logement du chef de district
- z - d' - de garde-barrière.

CINQUIÈME PARTIE

DOCUMENTS DIVERS

OUVRAGES REÇUS PAR LA BIBLIOTHÈQUE

La Bibliothèque a reçu :

De M. Henri Troup :

Petit Traité de comptabilité théorique et pratique.

De M. Édouard Agache :

Publications industrielles d'Armengaud. Texte et Atlas, N^{os} 1 à 13.
— 26 vol.

La Richesse des Nations, par Adam Smith. — 5 vol.

Dictionnaire de chimie industrielle, par MM. Barreswil et Aimé Girard.
— 4 vol.

Traité pratique des Douanes, par M. A. Delandre. — 2 vol.

Étude d'Économie politique. — M. Pouyer-Quertier, par Denis Guibert.
— 1 vol.

Les Houillères en 1868, par Amédée Burat. — Texte et Atlas. — 2 vol.

Observations météorologiques, par Schmeltz. — 2 vol.

Théorie mécanique de la chaleur, par Zeuner. — 1 vol.

Le Panthéon Eiffel, par Georges Barral. — 1 vol.

Frein Soulerin. — 1 vol.

Progrès maritimes, par Ernest Sageret. — 1 vol.

Traité de Législation des Mines, par Bury. — 3 vol.

Cours d'exploitation des Mines, par Burat. — 1 vol.

Traité théorique et pratique de la construction des machines à vapeur,
par Julien. — Texte et Atlas. — 2 vol.

Scientific américain. 1874. — 2 vol.

Rapports sur les Sociétés de secours mutuels en 1889. — 1 vol.

Dictionnaire de législation, par Paul Taillard. — 1 vol.

Enquête sur les conditions du travail en France en 1872. (Chambre de
commerce de Paris). — 1 vol.

La Culture, le Rouissage et le Teillage. — 1 br.

Meeting industriel de Lille. — 1 br.

Statuts de la Banque d'émission de Lille. — 1 br.

De M. Ed. Faucheur :

Rapports sur les concours liniers de 1891.

De la Chambre de Commerce de Lille : Archives.

De vifs applaudissements sont adressés aux donateurs par l'Assemblée.

Du Ministère du Commerce, *Recueil des brevets d'invention.*

De M. A. Gibon, Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien Direc-
teur des Forges de Commentry, Président de la Société d'Économie sociale,
La Participation des ouvriers aux Bénéfices et les difficultés présentes.

De M. Gouillon, Directeur de la Revue de la Teinture, *Manuel
méthodique de l'art du Teinturier-Dégraisseur.*

De M. Em. Bigo, Vice-Président,

Le Bassin houiller du Pas-de-Calais, par Wullemin,

Les Imprimeurs Lillois, par Jules Houdoy,

Histoire Artistique de la Cathédrale de Cambrai, par Jules Houdoy,

Promenades lilloises, par Chon,

Antoine Brasseur, par M^{me} Craux,

Un mois en Italie, par Chon,

Histoire de Lille, par Van Hende,

Lille et ses institutions communales, par Van Hende,

Histoire d'Iwuy, par l'abbé Bontemps,

Traité des difficultés notariales, par Dufour,

La vie et l'œuvre de Jean de Bellegambe, par Mgr. Dehaisnes,

Catalogue raisonné des estampes, vignettes, eaux-fortes, pièces en couleur,
au bistre et au lavis de 1700 à 1800, par Emmanuel Bocher,

Histoire de l'Art, par le chanoine Dehaisnes.

Le champ de Mars, par Ernest Maindron.

SUPPLÉMENT A LA LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES.

SOCIÉTAIRES NOUVEAUX

Nommés du 1^{er} Avril au 31 Mai 1892.

N ^{os} d'ins- cription.	MEMBRES ORDINAIRES.		
	Noms.	Professions.	Résidences.
696	DAMIEN.....	Professeur à la Faculté des Sciences.	Lille.
697	BAUDON.....	Constructeur.....	»
698	PUVREZ fils.....	Brasseur.....	»
699	Pierre MARCHAND.....	Fabricant d'huiles...	Dunkerque.
700	Aug. DELANNOY.....	Filateur.....	Lys-lez-Lannoy.
701	PAILLOT.....	Professeur à la Faculté des Sciences.	Lille.
702	PILE.....	Ingénieur.....	»
703	Ch. DAUMONT.....	Ingénieur.....	»
704	GUILLEMAUD.....	Filateur.....	Seclin.
705	Léon BERGEROT.....	Ingénieur.....	Lille.
706	Ch. VERLEY-BOLLAERT..	Banquier.....	»
707	PETIT-RAGOT.....	Imprimeur.....	»
708	Maurice SCALBERT.....	Banquier.....	»
709	Henri DECROIX.....	Banquier.....	»

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le Bulletin.