

# RAPPORTS ADMINISTRATIFS

---

## NOTE

SUR UNE

## EXPLOSION DE CHAUDIÈRE

PAR

**J. LEBACQZ**

**A. STENUIT**

ET

Ingénieur principal des mines

Ingénieur des mines

---

Le 18 octobre 1907, une explosion de chaudière se produisait dans la carrière à ciel ouvert exploitée à Hun-Annevoie, par la Société anonyme des Carrières de grès de la Bocame-Fosses, causant la mort de deux ouvriers et des blessures plus ou moins graves à quatre autres.

La chaudière était installée dans un atelier de concassage et de triage mécaniques annexé à la carrière et présentant la disposition figurée par les croquis n<sup>os</sup> 1 et 2.

La chaudière et la machine à vapeur, de même que le concasseur, étaient abrités par un bâtiment de 8 mètres de longueur sur 5<sup>m</sup>30 de largeur, en maçonnerie de briques et moëllons, recouvert d'une toiture en carton bitumé, adossé à un corps de bâtiments comprenant étables, grange, maison d'habitation et forge.

Le trieur était établi à l'extérieur et également protégé par une toiture en carton bitumé.

Cette installation se trouvait au pied d'une ancienne carrière, le long de la route de Namur à Dinant, à 30 mètres environ de la rive gauche de la Meuse.

Au-dessus de la chaudière se trouvait une plateforme constituée par dix tronçons de rails, de 2 mètres de longueur, portant d'une part sur le mur Est, d'autre part sur une poutre en bois de 0<sup>m</sup>40 sur 0<sup>m</sup>40 de section et de 8<sup>m</sup>70 de longueur reposant, par ses deux extrémités, sur les murs nord et sud du bâtiment. Cette plateforme supportait deux réservoirs d'eau d'alimentation, en tôle de fer, de 1<sup>m</sup>80 × 1<sup>m</sup>35 × 1<sup>m</sup>10. Le premier de ces réservoirs était normalement rempli d'eau provenant d'un puits situé à une dizaine de mètres

du bord de la Meuse. Il pouvait être mis en communication, par le jeu d'une soupape, avec le second réservoir dont l'eau, réchauffée par la vapeur de décharge de la machine, était aspirée par la pompe d'alimentation et refoulée dans la chaudière.

La machine à vapeur, du type monocylindrique horizontal, à détente variable par le régulateur, répondait aux dimensions suivantes :

Diamètre du cylindre . . . . .	0 <sup>m</sup> 28
Course du piston . . . . .	0 <sup>m</sup> 50
Nombre de tours par minute. . . . .	75

ce qui, pour une pression de vapeur de six atmosphères, correspond à une puissance de 19 chevaux.

Elle actionnait le concasseur, le trieur, une chaîne à godets, transportant les produits du premier à hauteur du second, et deux pompes d'alimentation.

La chaudière, construite en 1883, était cylindrique, horizontale, à fonds plats, munie d'un dôme de vapeur, d'un tube-foyer central et d'un faisceau de tubes à fumée. Elle était timbrée à six atmosphères et présentait les dimensions et épaisseurs suivantes :

	Longueur.	Hauteur.	Diamètre.	Épaisseurs.
Corps . . . . .	3 <sup>m</sup> 60	»	1 <sup>m</sup> 80	15 et 20 <sup>m</sup> / <sub>m</sub>
Dôme . . . . .	»	0 <sup>m</sup> 90	0 <sup>m</sup> 90	14 et 20 <sup>m</sup> / <sub>m</sub>
Un tube foyer . . . . .	3 <sup>m</sup> 90	»	0 <sup>m</sup> 80	14 ½ <sup>m</sup> / <sub>m</sub>
36 tubes à fumée. . . . .	3 <sup>m</sup> 60	»	0 <sup>m</sup> 089	4 <sup>m</sup> / <sub>m</sub> .

Elle fut éprouvée à neuf atmosphères chez le constructeur en 1883 et une seconde fois, en 1884, à la même pression, avant sa mise en fonctionnement dans un établissement où elle resta installée jusqu'en 1903. La seule particularité à signaler pendant cette période, c'est qu'elle fut mise hors feu en 1891, une réparation étant devenue nécessaire, et fut remise en activité en 1893, après que cette réparation eut été effectuée. Il n'a pu être établi en quoi a consisté cette réparation.

Installée en 1904 dans un autre établissement, après avoir subi une nouvelle épreuve à neuf atmosphères, la chaudière y a fonctionné trois mois, puis elle y est restée inactive jusqu'en mai 1907.

Elle fut ensuite installée à la carrière où l'accident s'est produit.

Avant d'être emmaçonnée, elle fut soumise, le 6 juin 1907, à un nouvel essai à l'eau froide à la pression de neuf atmosphères; le

résultat fut satisfaisant, et il fut constaté qu'à ce moment la chaudière était munie des appareils de sûreté suivants :

Indicateurs du niveau de l'eau : deux tubes de verre indépendants ;

Index du niveau minimum de l'eau : pointe métallique à mi-hauteur des tubes, soit à 16 centimètres au-dessus du ciel du foyer, ce qui devait correspondre à 10 centimètres au-dessus de la limite des carneaux ;

Appareils d'alarme : un boulon fusible placé au ciel du foyer ; un sifflet commandé par un flotteur ;

Deux soupapes de sûreté de 8 centimètres de diamètre, à recouvrement de 1 ½ millimètre, pesant chacune 1<sup>k</sup>48, chargées par levier et contrepoids, conformément aux indications ci-dessous :

Petit bras du levier . . . . .	7°5
Grand bras du levier . . . . .	80°0
Bras du centre de gravité . . . . .	40°0
Poids du levier . . . . .	4 <sup>k</sup> 00
Poids du contrepoids . . . . .	28 <sup>k</sup> 60

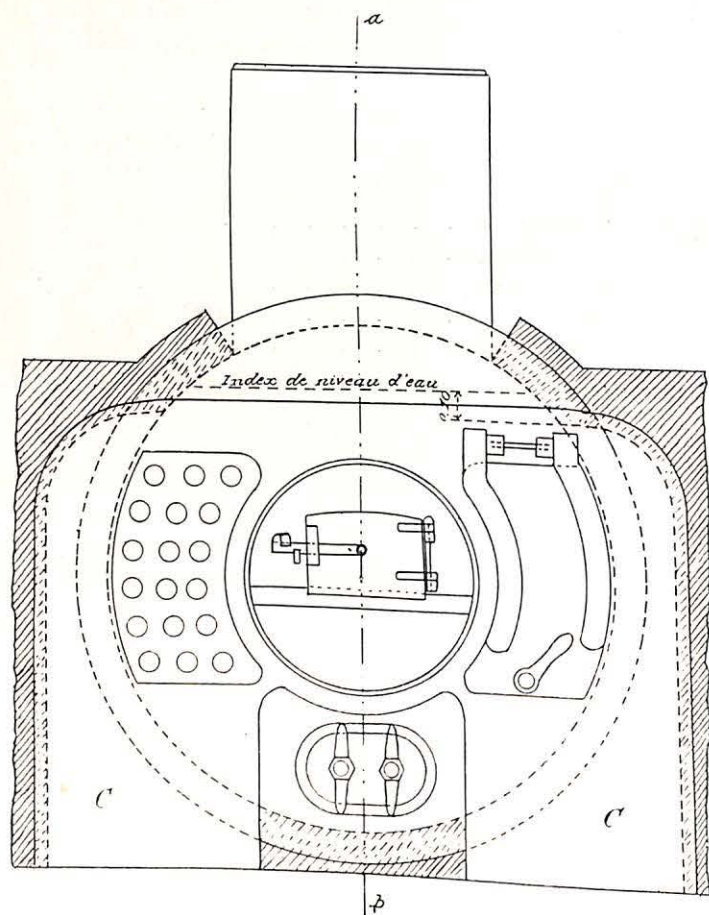
le poids maximum admissible pour la pression de six atmosphères étant de 28<sup>k</sup>55.

Le 30 mai 1907, elle avait été visitée intérieurement et extérieurement par le fournisseur, et le certificat délivré à la suite de cette visite ne signale qu'une corrosion peu étendue au bas du fond d'arrière; le boulon fusible fut trouvé en bon état et le visiteur conclut que la chaudière pouvait encore marcher sans danger pendant un an à la pression du timbre.

La visite précédente avait été faite le 10 novembre 1904 par un autre agent qui avait émis, dans son certificat, les considérations suivantes :

« Toutes les tôles constitutives de l'enveloppe observables extérieurement, ainsi que les parties de l'appareil intérieurement accessibles — tube foyer, tubes périphériques des deux faisceaux, fonds, dôme et sommiers — se trouvent dans un état de conservation très satisfaisant. La percussion au marteau n'ayant nulle part décelé de paille ou altération profonde, et aucun des éléments examinés — le tube foyer particulièrement — ne portant trace de déformation, amincissement anormal, corrosion d'étendue, ni gravité notables, tous les joints et rivures étant d'ailleurs exempts d'érosions consécutives d'un défaut d'étanchéité, il y a lieu de signaler comme seul correctif à une appréciation très favorable des bonnes conditions de résistance de la chaudière, la présence

» d'une fente d'origine plutôt ancienne à la partie inférieure du fond  
 » arrière et l'existence, à l'intérieur, dans la même région, d'un  
 » certain nombre de pustules isolées dont la profondeur varie de  
 » 1 à 5 m/m. »



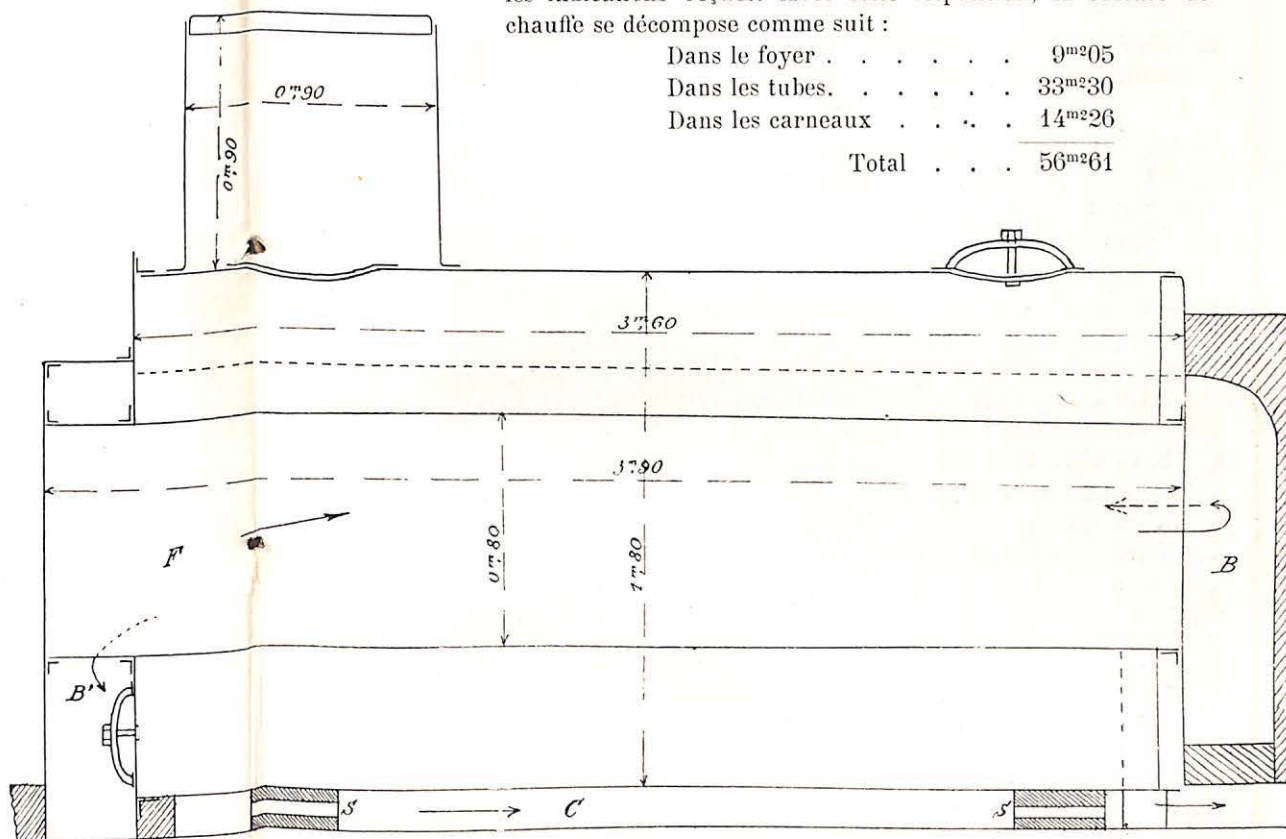
CROQUIS N° 3. — Vue de face de la chaudière.

Il avait estimé en conclusion que la chaudière pouvait être admise à fonctionner sous une pression de six atmosphères.  
 La chaudière est représentée en place par les croquis n° 3 et 4.  
 Les gaz chauds, issus du foyer *F*, se rendaient à l'arrière dans une

boîte à fumée en maçonnerie *B*; de là, ils passaient par le faisceau tubulaire dans une boîte à fumée *B'*, en tôle, adaptée au fond d'avant, pour lécher ensuite le corps principal dans des carnaux *C*, en maçonnerie, communiquant avec la cheminée. Cette dernière était en tôle et avait une hauteur de 11 mètres et un diamètre de 0<sup>m</sup>80.

La limite des carnaux tracée aux croquis a été fixée d'après les indications reçues. Avec cette disposition, la surface de chauffé se décompose comme suit :

Dans le foyer . . . . .	9 <sup>m</sup> 205
Dans les tubes. . . . .	33 <sup>m</sup> 230
Dans les carnaux . . . . .	14 <sup>m</sup> 226
Total . . . . .	56 <sup>m</sup> 261



CROQUIS N° 4. — Coupe schématique suivant a-b.

La chaudière fut mise en marche à la carrière pour la première fois le 8 juillet 1907. Le poste de chauffeur fut confié à un ouvrier de la carrière qui avait été précédemment attaché au service d'un malaxeur actionné par une locomobile à vapeur, mais sans être spé-

cialement chargé de la conduite de cette dernière. Ce jeune homme fut initié, au début, par le contremaître de l'industriel qui avait fourni la chaudière et l'installation de concassage et qui avait procédé au montage des divers appareils.

La marche des appareils à vapeur fut irrégulière et discontinuée, surtout à cause du mauvais fonctionnement du concasseur. La chaudière ne fut en service que les 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 29, 30, 31 juillet, 2 et 3 août, pendant une période après laquelle on procéda au remplacement du concasseur. Elle fut remise à feu le 10 octobre et fonctionna les 10, 11, 12, 15, 16 et 17 du même mois.

Le 17 octobre, la chaudière avait fonctionné pendant toute la journée, le concasseur ayant été mis en marche à partir de 9 heures du matin jusqu'à 3 heures de relevée. Il n'a pu être déterminé si le chauffeur a couvert ses feux le 17 au soir ou s'il les a laissés s'éteindre.

Le 17 octobre au soir, le chef d'exploitation avertit le chauffeur qu'il arriverait à la carrière le lendemain vers 10 heures du matin et lui recommanda de faire en sorte que la pression de vapeur fût suffisante pour mettre la machine en marche dès son arrivée.

Le 18, le chauffeur se rendit à son poste vers 6 heures du matin ; à 8 heures et à 8 ½ heures, il fit fonctionner le sifflet d'appel actionné par la vapeur. Vers 9 ½ heures, le concasseur n'ayant pas encore été mis en marche, l'explosion se produisit.

Aucun ouvrier ne se trouvait à ce moment près du chauffeur, qui fut retrouvé mourant au pied du rocher, près du trieur, tenant encore en main la burette contenant l'huile de graissage des machines.

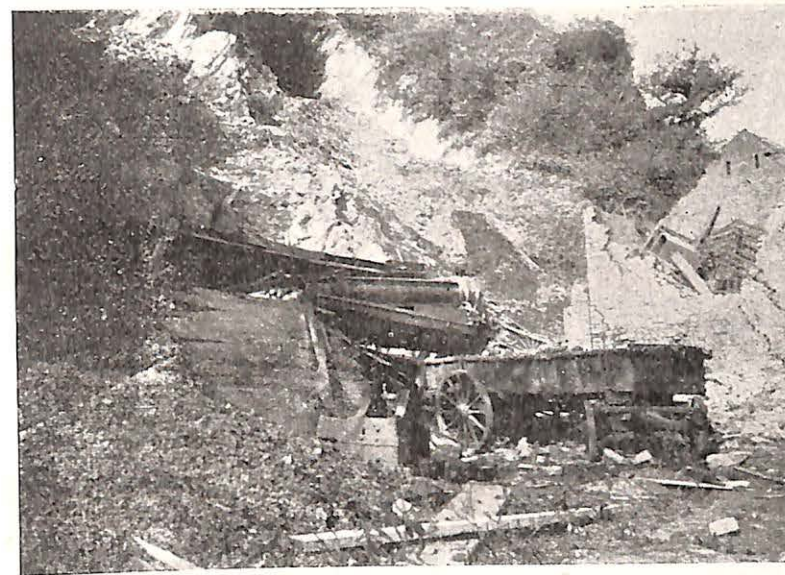
Un ouvrier terrassier, qui poussait une brouette de pierres vers le concasseur, fut relevé, mortellement blessé, au bord de la route. Un voiturier, conduisant un tombereau chargé de pierres attelé d'un cheval, passait sur la route, en face du bâtiment des machines ; il fut projeté à une dizaine de mètres de distance, entre la route et le chemin de halage. Le tombereau fut renversé et démantibulé, le cheval tué sur le coup. Un surveillant, qui suivait l'attelage, fut atteint par des projections sans être renversé. Deux autres ouvriers furent légèrement contusionnés.

Le bâtiment abritant la chaudière fut complètement démoli jusqu'au ras du sol et les matériaux dispersés en tous sens. Le pignon et la toiture de l'étable attenante furent arrachés, la cheminée renversée en travers de la route, les bâtiments voisins lézardés, de nombreuses vitres brisées.

La violence de l'explosion fut telle que des moëllons furent lancés sur la rive droite de la Meuse, défonçant la porte d'entrée d'une villa, à près de 200 mètres de distance, et que, sur cette rive droite, des vitres volèrent en éclats sur une longueur de 400 mètres.

Le concasseur fut arraché de ses fondations, de même que la machine à vapeur ; le volant, les poulies, les courroies furent brisés et projetés à de grandes distances. Le trieur, seul, demeura à son emplacement.

Quant à la chaudière, il n'en resta pas un fragment sur place. La partie inférieure du fond d'avant fut projetée à 9 mètres de

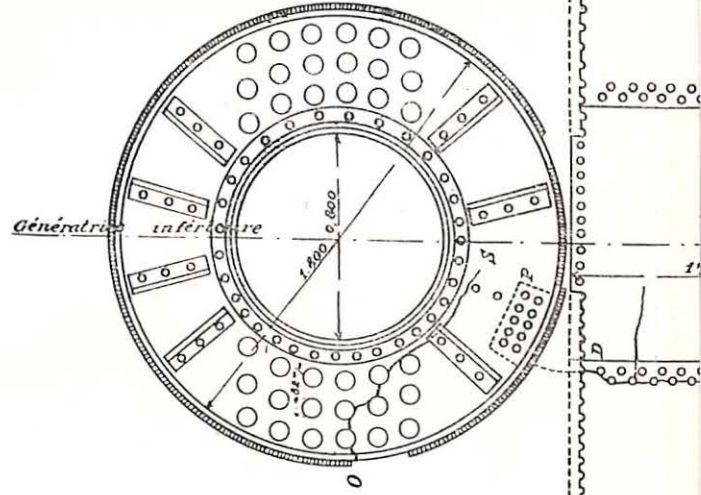


distance, au point A (voir croquis n° 1), en même temps que le débris de la boîte à fumée antérieure. La plupart des tubes à fumée furent arrachés et lancés dans toutes les directions. Le tube foyer, auquel adhéraient encore la partie supérieure du fond d'avant, le fond d'arrière et treize tubes à fumée, fut retrouvé le long du chemin de halage, en F, à 28 mètres de l'emplacement de la chaudière. Un des arbres qui bordent la route fut brisé à mi-hauteur.

Les photographies ci-dessus et ci-contre représentent : la première, l'aspect des lieux après l'explosion ; la deuxième, le fragment infé-

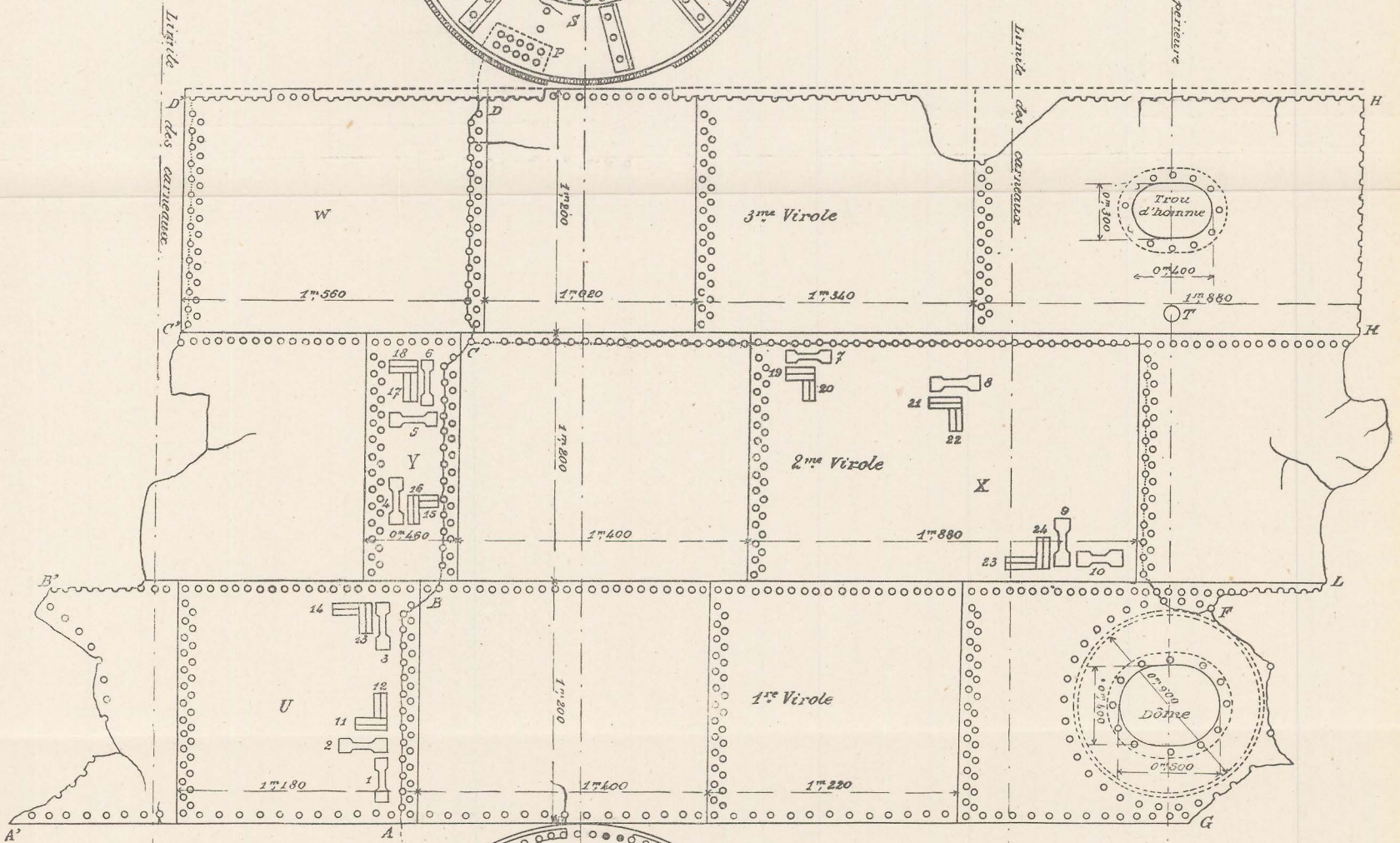
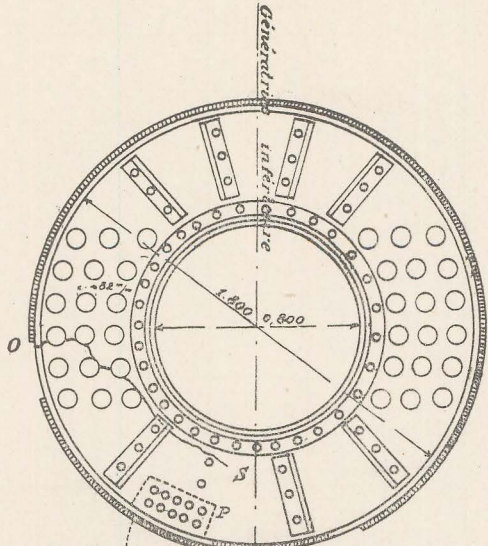


Croquis n° 6.  
Fond d'ovrière ou de l'ovrière.  
(Rebâtement dans le plan du  
corps étiré type).

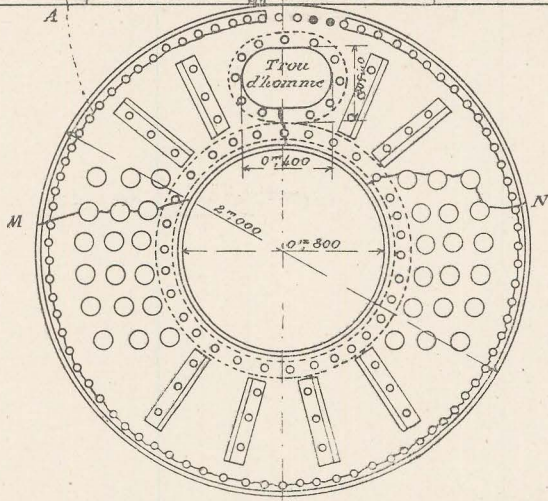


Croquis n° 8.  
Développement de la partie de coquille, ou de face,  
resté adhérent à l'avant du corps principal.

Croquis n° 6.  
Fond d'arrière vu de l'intérieur.  
(Rabatement dans le plan du  
corps développé).



Croquis n° 7.  
Fond d'avant vu de l'intérieur  
(Rabatement dans le plan  
du corps développé)



Croquis n° 5.  
Développement du corps principal  
vu de l'intérieur

Croquis n° 8.  
Développement de la partie de cornière, vue de face,  
restée adhérente à l'avant du corps principal.

rieur du fond d'avant; la troisième, le tube foyer et les fonds; les tubes à fumée restés adhérents sont cachés.

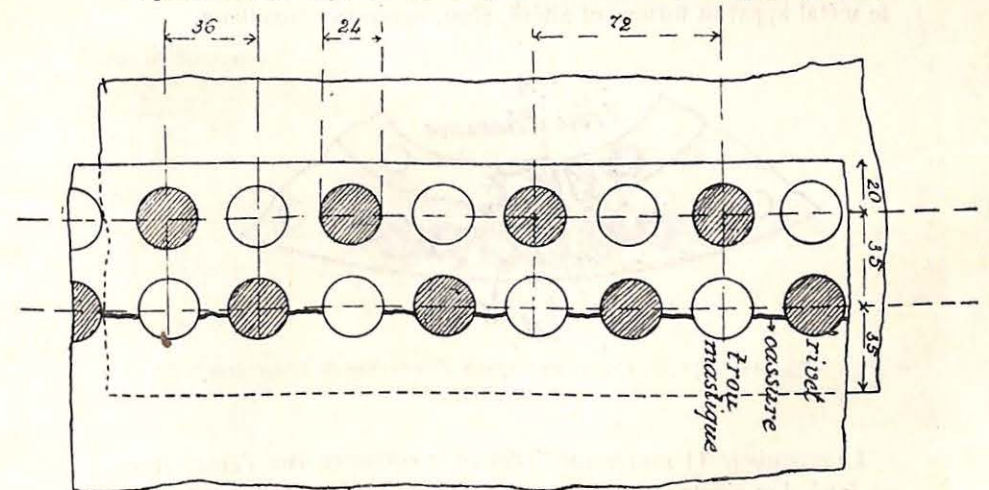
Le corps principal de la chaudière fut projeté dans la Meuse, en C, à 60 mètres environ de distance; il en fut retiré huit jours plus tard, en trois fragments distincts, à peu près complètement développés.

Le croquis n° 5 représente le développement du corps cylindrique sur un plan horizontal passant par la génératrice inférieure, les tôles étant vues par l'intérieur et les fragments étant supposés juxtaposés dans leur position primitive.

Le corps principal comprend trois viroles d'égale longueur, assemblées par rivures simples. Chaque virole se compose de quatre tôles d'inégales dimensions, reliées entre elles par des rivures doubles.

Les trois fragments sont limités par trois systèmes de cassures principales : 1° une cassure *ABCD* suivant la rivure longitudinale d'un bout à l'autre de la chaudière; 2° une cassure *A'B'C'D'* (ou *GFLKH*) contournant la base du dôme de vapeur sur la première virole, passant ensuite de *F* en *L* suivant la rivure circulaire, se prolongeant en pleine tôle avec ramifications dans la seconde virole et traversant la troisième suivant une rivure longitudinale; 3° une cassure *CEF* se raccordant aux deux précédentes en suivant une rivure longitudinale dans la deuxième virole et la rivure transversale entre la deuxième et la troisième virole.

Les rivures longitudinales successives *AB*, *BC* et *CD* présentent la particularité figurée au croquis n° 9 : dans chaque ligne de



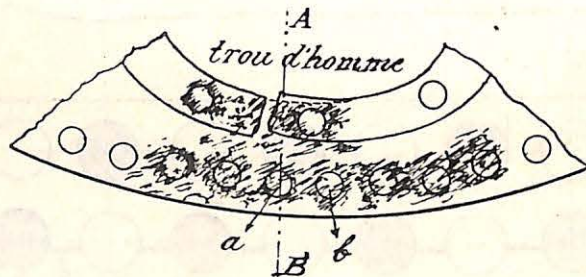
CROQUIS N° 9. — Rivure longitudinale défectueuse. — Échelle : 1/3.

rivets, l'intervalle entre deux rivets consécutifs est foré d'un trou de même diamètre que ceux-ci, sur l'épaisseur de la tôle intérieure. Ces différents trous ont été bouchés par un mastic à base de fer, lequel, lors de nos constatations, était enlevé totalement ou partiellement sur la plus grande partie de l'assemblage. Les tôles adjacentes *U*, *Y* et *W* ont chacune leurs deux recouvrements à l'intérieur, alors que les recouvrements des autres tôles sont alternativement intérieurs et extérieurs.

La partie de la troisième virole *D'DH* était restée adhérente à la partie emboutie du fond d'arrière, le long de laquelle l'arrachement s'est produit en suivant sensiblement l'axe de la rivure.

La première virole, qui était assemblée au fond plat d'avant par une cornière extérieure, s'en est détachée par rupture de la cornière suivant une ligne représentée au croquis n° 8, à part un petit espace voisin de la génératrice inférieure, où la cornière s'est simplement décollée du fond, les têtes des deux rivets logés dans cet intervalle ayant complètement disparu par corrosion (voir croquis n° 12). Cette corrosion affecte toute la région située sous le trou d'homme et s'étend à la tôle du fond, à la tôle de l'enveloppe, à la cornière et aux rivets, sur les parois extérieures seulement.

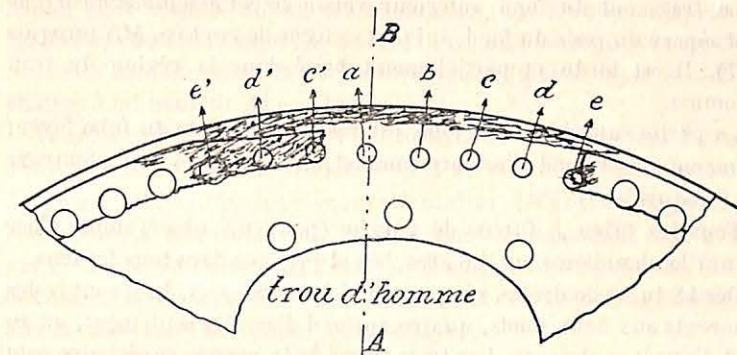
Le croquis n° 10 montre cette corrosion sur la face externe du fond d'avant; elle atteint spécialement sept rivets consécutifs, dont les têtes sont légèrement aplaties, et le fer plat renforçant le bord du trou d'homme. Ce fer présente une brisure dans le voisinage de laquelle le métal apparaît fortement altéré, aigu, cassant et lamelleux.



CROQUIS N° 10. — Corrosion du fond d'avant vue de l'extérieur. Echelle : 1/10.

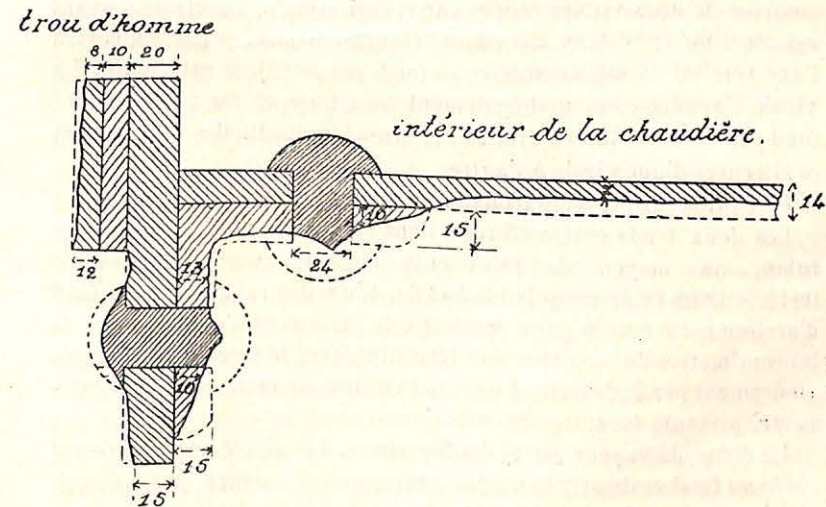
Le croquis n° 11 représente l'effet de la corrosion sur l'autre face du fond. Les rivets *a* et *b*, suivant lesquels s'est produit le détachement de cornière dont il a été question plus haut, ont la tête complè-

tement rongée, de même que les deux rivets suivants *c'* et *d'*; la tête du rivet *e'* est fortement rongée, ainsi que le fragment de cornière resté adhérent à cet endroit. Les rivets *c* et *d* sont brisés; le rivet *e* montre une tête fortement corrodée.



CROQUIS N° 11. — Corrosion du fond d'avant vue de l'intérieur. — Echelle : 1/10.

La coupe *AB* (croquis n° 12), faite suivant un plan vertical à travers l'assemblage supposé rétabli, indique en pointillé les épaisseurs initiales et en traits pleins les parties subsistantes. La tôle du corps principal est réduite à 7 millimètres. La clouure reliant cette tôle à l'aile correspondante de la cornière a également subi les effets de la corrosion sur sa face inférieure; les quatre rivets correspondant aux



CROQUIS N° 12. — Coupe suivant A-B. — Echelle : 1/3.



rivets *a*, *c*, *d*' et *e*', n'ont plus de têtes; les têtes des onze rivets suivants sont fortement corrodées.

De l'autre côté de la génératrice inférieure, la corrosion est moins accentuée et n'atteint que les trois rivets correspondant aux rivets *b*, *c* et *d* (voir croquis n° 11).

Le fragment du fond antérieur voisin de cet assemblage corrodé s'est séparé du reste du fond, suivant la ligne de rupture *MN* (croquis n° 7). Il est tordu et partiellement brisé dans la région du trou d'homme.

La partie supérieure du fond est restée adhérente au tube foyer; de même que le fond d'arrière complet, qui présente une déchirure *OS* (croquis n° 6).

Tous les tubes à fumée de gauche (pour un observateur placé devant la chaudière) ont été arrachés et projetés dans tous les sens.

Des 18 tubes de droite, cinq ont subi le même sort, huit sont restés adhérents aux deux fonds, quatre au fond d'arrière seulement, un au fond d'avant seulement. Les trois tubes de la rangée supérieure sont restés emboîtés de part et d'autre, sauf le tube le plus éloigné du foyer qui est déboîté de l'avant; le tube supérieur voisin du foyer est resté droit; les deux autres sont courbés vers le haut et portent des traces de chocs manifestes à la paroi concave. Il en est de même des autres tubes restés adhérents. Quant aux tubes retrouvés isolément, ils sont, pour la plupart, plus ou moins arqués et portent des traces de coups; aucun n'est aplati.

Le tube foyer est intact et ne porte pas de trace d'ovalisation. Il se compose de deux viroles reliées par rivure simple. La virole d'avant est constituée par deux tôles symétriquement placées par rapport à l'axe vertical et est assemblée au fond par cornière extérieure. La virole d'arrière comprend également deux tôles et est assemblée au fond par cornière intérieure. Les rivures longitudinales sont simples et alternées d'une virole à l'autre.

Le boulon fusible a été trouvé intact.

Les deux fonds sont renforcés, dans les parties non reliées par les tubes, au moyen de raidisseurs consistant en cornières de 0<sup>m</sup>13 × 0<sup>m</sup>08 (voir croquis n° 6 et 7). L'un des raidisseurs du fond d'arrière a été enlevé pour permettre le placement d'une pièce *P* de 30 centimètres de longueur sur 13 centimètres de largeur, fixée extérieurement par dix rivets. La région voisine de cette pièce, à l'extérieur, présente des traces de corrosion.

Le dôme de vapeur est à double virole. La virole supérieure est rivée au fond embouti; la virole inférieure est recourbée vers l'extérieur et rivée à l'avant de la chaudière.

A part une petite déchirure à sa base, le dôme est intact et reste adhérent à la première virole de la chaudière.

Le trou du dôme, ainsi que le trou d'homme supérieur ménagé à l'arrière du générateur, sont renforcés par des fers plats.

Près du trou d'homme supérieur se trouve un trou *T* taraudé, dans lequel était vissé le tuyau d'alimentation. Ce dernier, d'après les indications du fournisseur, se terminait en une fourche dont les deux branches contournaient la partie supérieure du tube foyer et débouchaient à mi-hauteur de celui-ci.

Tous les trous de rivets ont 24 millimètres de diamètre; leur distance d'axe en axe est de 72 millimètres dans les rivures longitudinales et de 59 millimètres dans les rivures circulaires. La grande majorité des rivets sont à tête ronde; un certain nombre cependant sont à tête plate, notamment tous ceux des rivures longitudinales *AB*, *BC* et *CD*, des assemblages des raidisseurs aux fonds et de l'assemblage des fonds aux cornières qui les relie au tube foyer.

A part la zone corrodée décrite ci-dessus, les épaisseurs du métal sont restées sensiblement normales sur les lèvres des cassures; elles varient de 12 à 15,5 millimètres pour le corps principal. L'épaisseur des fonds est de 20 millimètres, celle du foyer 12 millimètres et celle des tubes 3 millimètres.

Quelques heures après l'explosion, il a été constaté le long de la cassure dans l'axe de la rivure circulaire du fond d'arrière la présence de deux zones, de 20 centimètres d'étendue chacune, ayant l'aspect de fissures préexistantes. Dans les autres cassures visibles à ce moment le métal paraissait sain. Quant aux cassures du corps principal, elles étaient envahies par la rouille après leur séjour prolongé dans la Meuse lorsqu'il a été possible de les examiner.

Il n'a été relevé aucune trace de surchauffe du métal ni sur le foyer, ni sur les tubes, ni sur le corps principal.

En dehors de quelques traces d'incrustations très minces sur le foyer, les éléments intérieurs de la chaudière sont exempts de dépôts salins.

Tous les appareils accessoires dont le générateur était muni ont été arrachés et brisés; un certain nombre de fragments seulement ont pu être retrouvés et l'ensemble n'a pu être reconstitué. Toutefois, les débris suivants ont pu être examinés :

La tubulure supérieure d'un des tubes indicateurs de niveau d'eau, non bouchée, avec robinet ouvert; la tubulure inférieure du même tube, brisée; le robinet correspondant à cette tubulure, fermé; la tubulure inférieure du second tube indicateur, avec robinet légèrement ouvert et index du niveau minimum recourbé vers le bas, la

pointe à 15 1/2 centimètres au dessus de l'axe de la tubulure; la tubulure supérieure du même tube, avec robinet fermé.

Sous la date du 17 octobre, veille de l'accident, le comptable de la carrière avait écrit au fournisseur de la chaudière, ce qui suit :

« Nous avons l'honneur de vous informer que les soupapes de la chaudière à vapeur perdent toujours; le machiniste est obligé de les caler pour conserver les vapeurs nécessaires à la marche du concasseur, et vous savez mieux que nous à quel danger on s'expose en faisant cela.

» Il est donc de toute urgence, nécessaire de remplacer ces soupapes qui ne sont pas propres à l'usage, et nous vous prions de faire ce travail dans le plus bref délai possible. »

Personne n'a vu le chauffeur immédiatement avant l'accident; personne n'a entendu fonctionner le sifflet d'alarme; personne n'a pu dire quelles étaient la pression de la vapeur ni la hauteur de l'eau dans la chaudière au moment de l'accident, ni si les soupapes soufflaient. Toutefois, le surveillant, après avoir déclaré une première fois son ignorance complète à cet égard, a affirmé ensuite que le jour de l'accident, à 6 heures du matin, le manomètre marquait 2 atmosphères et qu'à 8 heures du matin il marquait 3 1/2 atmosphères.

Aucun des témoins entendus ne déclare avoir observé à aucun moment une pression supérieure à 4 ou 5 atmosphères, ni avoir constaté l'absence d'eau dans les tubes indicateurs.

L'un d'eux dit que le 16 octobre au soir un des tubes indicateurs était brisé et que pendant la première période de fonctionnement de la chaudière il y avait des fuites à l'avant, au bas du trou d'homme, que ces fuites ont disparu après que le joint défectueux eût été réparé par le chauffeur à l'aide de minium.

Plusieurs témoins affirment que les soupapes perdaient beaucoup; personne n'affirme avoir vu les soupapes calées, mais un ouvrier déclare qu'au début du mois d'octobre le monteur a placé sur les extrémités des leviers une surcharge pouvant être évaluée à 5 k. 25, et ce en présence du chauffeur. Ce dernier a déclaré dans la suite, au témoin, qu'il avait enlevé cette surcharge.

Le comptable confirme que le chauffeur lui a dit être obligé de caler les soupapes pour les empêcher de fuir; mais il ajoute qu'il ignore si le chauffeur les calait réellement.

D'après deux des témoins, le charbon était de mauvaise qualité et il fallait un temps très long pour obtenir une pression suffisante.

Une pression de 5 à 5 1/2 atmosphères était nécessaire pour assurer un bon fonctionnement des appareils.

Un autre témoin, étranger au personnel de la carrière, a déclaré

que quinze jours à trois semaines avant l'accident la chaudière lui a paru en mauvais état; il ajoute qu'il y avait de nombreuses fuites à l'avant; l'une d'elles se trouvait à un trou d'homme, près du foyer; que la chaudière était construite avec deux indicateurs de niveau d'eau, mais que pas un seul verre indicateur ne s'y trouvait.

Le fournisseur de la chaudière déclare que le 6 juin 1907, avant l'épreuve officielle, la chaudière a été pressée à froid à une pression de 12 atmosphères, sans qu'il se produise de fuite.

Des essais de traction et de pliage ont été effectués sur les tôles marquées U, Y et X sur le croquis n° 5, sur lequel sont indiqués l'emplacement et le numéro de chaque éprouvette.

Ces essais ont eu lieu à l'Arsenal de l'Etat, à Malines, et ont donné les résultats repris aux tableaux ci-dessous :

## 1° Essais de traction.

NUMÉROS DES ÉPROUVETTES	SECTION DES ÉPROUVETTES — millimètres carrés	Charge de rupture totale — kil.	Charge de rupture en kilogr. par m/m <sup>2</sup>	ALLONGEMENT		OBSERVATIONS
				sur 200 m/m	%	
1	50.0×14.8=740.0 .	14.680	19.8	3.6	1.8	Défaut.
2	48.5×14.6=708.1 .	20.200	28.5	8.4	4.2	Sens du cintrage.
3	47.8×15.0=717.0 .	17.520	24.4	8.1	4.05	
4	47.0×15.0=705.0 .	19.290	27.2	10.6	5.30	
5	49.0×15.6=764.4 .	21.600	28.2	12.0	6.00	Sens du cintrage.
6	48.4×15.0=726.0 .	17.440	24.0	6.2	3.10	Rupture à l'extrémité.
7	47.7×14.0=667.8 .	17.640	26.4	8.0	4.00	Sens du cintrage.
8	47.0×14.2=667.4 .	18.240	27.3	12.0	6.00	Idem.
9	48.0×14.0=672.0 .	20.200	30.0	11.0	5.50	Rupture à l'extrémité.
10	48.0×14.0=672.0 .	20.200	30.0	7.8	3.90	Sens du cintrage.

## 2° Essais de pliage.

Ces essais ont été faits à froid, d'une part sur des éprouvettes non recuites, d'autre part sur des éprouvettes soumises au recuit et refroidies (celles marquées du signe bis).

Les constatations faites lors de ces essais sont les suivantes :

Nos des épreuves	Résultats obtenus sur les épreuves non soumises au recuit			
11	Bon ployage sous un angle de 120° sur un mandrin de 165 m/m de rayon; criquée sous un angle de 118° sur un mandrin de 33 m/m de rayon.			
12	—			
13	—			
14	—			
15	—			
16	—			
17	—			
18	—			
19	—			
20	—			
21	—			
22	—			
23	—			
24	—			
11bis	Bon ployage sous un angle de 120° sur un mandrin de 165 m/m de rayon;			
12bis	—			
13bis	—			
14bis	—			
15bis	—			
16bis	—			
17bis	—			
18bis	—			
19bis	—			
20bis	—			
21bis	—			
22bis	—			
23bis	—			
24bis	—			

Résultats sur les épreuves soumises au recuit et refroidies				
11bis	Bon ployage sous un angle de 120° sur un mandrin de 165 m/m de rayon;			
12bis	—			
13bis	—			
14bis	—			
15bis	—			
16bis	—			
17bis	—			
18bis	—			
19bis	—			
20bis	—			
21bis	—			
22bis	—			
23bis	—			
24bis	—			

Des essais de fusibilité effectués sur le boulon garni de plomb qui se trouvait au ciel du foyer ont donné 300 à 312 degrés comme température de fusion.

Les différentes hypothèses que l'on peut faire pour expliquer cet accident sont les suivantes :

- 1° Manque d'eau ;
- 2° Surchauffe par incrustations ou par dépôts de matières grasses ;
- 3° Vices de construction ou mauvaise qualité de métal ;
- 4° Excès de pression ;
- 5° Corrosions, cassures ou défauts préexistants.

*Première hypothèse* : manque d'eau.

La violence des effets mécaniques de l'explosion, à elle seule, pourrait être considérée comme une preuve presque certaine de ce qu'il n'y a pas eu manque d'eau. Tenant compte, en outre, de ce qu'il n'a été constaté aucune ovalisation du foyer, aucun aplatissement de tubes qui ne puisse s'expliquer par un choc, de ce que ni le foyer, ni les tubes, ni le corps principal n'avaient l'aspect caractéristique des tôles ayant été portées à la température du rouge, de ce qu'il n'existait aucune déchirure ni déformation au foyer, ni au corps principal à proximité de la ligne de feu, de ce que le boulon fusible aurait fondu à une température de 300 à 312 degrés, on peut conclure que l'explosion n'est pas due à un manque d'eau.

*Deuxième hypothèse* : surchauffe par incrustations ou par dépôts de matières grasses.

Il n'a été relevé sur les tôles de la chaudière, sur le foyer et sur les tubes que des dépôts insignifiants; en aucun point, il n'existait d'incrustation importante ni de dépôt de matières grasses. L'hypothèse d'une surchauffe par suite d'incrustations ou de dépôts de matières grasses doit donc être écartée également. D'ailleurs, en cas de surchauffe, il serait resté des traces visibles sur les tôles, ce qui n'est pas le cas.

*Troisième hypothèse* : Vices de construction ou mauvaise qualité du métal.

Le type du générateur en lui-même peut donner lieu à certaines réserves, notamment en ce qui concerne la résistance des fonds plats; mais ce générateur, ni dans son ensemble, ni dans ses parties,

ne présentait pas de vices de construction proprement dits, de nature à expliquer l'accident.

Les tôles de cette chaudière ne portaient pas de marque de qualité. On peut vérifier, en se basant sur les résultats des essais, si les épaisseurs des diverses parties principales sont suffisantes pour le timbre de six atmosphères, en appliquant les formules imposées par la circulaire ministérielle du 17 décembre 1906, et en supposant que la chaudière ne présente pas de défauts.

#### 1° CORPS PRINCIPAL.

L'épaisseur est donnée par la formule :

$$e = \frac{a \times p \times d}{200 \times b \times t} + 1,$$

dans laquelle :

$a$ , coefficient de sécurité = 4.5;

$p$ , pression du timbre = 6<sup>k</sup>20;

$d$ , plus grand diamètre intérieur = 1800 millimètres;

$b$ , coefficient de résistance relative du joint par rapport à la tôle

$$\text{pleine} = \frac{72 - 24}{72} = \frac{2}{3},$$

et dans laquelle on fera  $t$  successivement égal à

$$28^k5 \quad 28^k2 \quad 26^k4 \quad 27^k3 \quad \text{et} \quad 30^k0$$

qui sont les charges de rupture trouvées pour les cinq éprouvettes n<sup>os</sup> 2, 5, 7, 8 et 10,

prises dans le sens du cintrage.

On obtient les épaisseurs suivantes :

$$14^m/m2 \quad 14^m/m4 \quad 15^m/m3 \quad 14^m/m8 \quad \text{et} \quad 13^m/m6,$$

alors que les épaisseurs mesurées sont :

$$14^m/m6 \quad 15^m/m6 \quad 14^m/m0 \quad 14^m/m2 \quad \text{et} \quad 14^m/m0.$$

On voit que pour deux des tôles essayées (épreuves n<sup>os</sup> 2 et 5), les épaisseurs sont supérieures à celles données par le calcul. Pour la troisième tôle, les éprouvettes n<sup>os</sup> 7, 8 et 10 ont donné des résultats très différents entre eux, et pour les deux premières de ces éprouvettes l'épaisseur théorique n'est pas atteinte si l'on adopte le chiffre de 4.5 pour coefficient de sécurité. Pour ces deux éprouvettes, le coefficient de sécurité correspondant aux épaisseurs réelles est respectivement de 4.1 et de 4.4. Ces chiffres peuvent encore être considérés

comme suffisants, attendu que, précédemment, le coefficient à adopter était 4, et qu'en appliquant l'ancienne formule

$$\frac{p \times r}{e} = \frac{1}{4} \times 0,60 \times t,$$

dans laquelle on prend  $t$  égal à 26<sup>k</sup>4, résistance de l'éprouvette n<sup>o</sup> 7, la plus défectueuse des deux, on trouve comme épaisseur 14 millimètres.

La résistance dans la rivure transversale est partout suffisante, comme on peut s'en assurer en appliquant la formule :

$$e = \frac{a \times p \times d}{400 \times b \times t} + 1,$$

dans laquelle on fera  $b = \frac{59 - 24}{59}$ , et  $t$  égal à la résistance trouvée pour les essais faits sur les éprouvettes n<sup>os</sup> 1, 3, 4, 6 et 9.

#### 2° FOYER.

La formule prescrite par la circulaire ministérielle précitée donne 12<sup>m/m</sup>9 pour l'épaisseur du foyer, alors que l'épaisseur relevée est de 12 millimètres. Ce dernier chiffre ne s'écarte que faiblement de la valeur donnée par le calcul, lequel prévoit d'ailleurs une surépaisseur de 3 millimètres, et, en tout cas, il n'est pas douteux que le foyer ait offert une résistance suffisante, puisqu'il n'a subi aucune déformation.

#### 3° FONDS PLATS.

La formule imposée par la circulaire précitée n'est pas applicable dans le cas actuel. Eu égard à ce que le foyer constitue un entretoisement efficace, à ce que le faisceau tubulaire est un entretoisement relatif, à ce que les raidisseurs étaient de fortes dimensions, et suffisamment rapprochés, on doit admettre que l'épaisseur de 20 millimètres était suffisante pour la pression de six atmosphères. D'ailleurs, le fond d'avant seul s'est rompu et, comme on le verra plus loin, cette rupture n'a pas dû être le point initial de l'explosion.

En résumé, l'accident ne peut s'expliquer par vices de construction ou mauvaise qualité du métal. Il est toutefois à remarquer que le métal est peu homogène, ce dont on peut se rendre compte par l'examen du tableau donnant les résultats des essais, notamment des essais de pliage. Ce défaut d'homogénéité a pu jouer un certain rôle dans la production de fentes ou de fissures, par exemple le long de la ligne de rivure dont il va être parlé ci-après.

*Quatrième hypothèse* : Excès de pression.

Il y a des raisons très sérieuses de croire qu'il existait une certaine surpression au moment de l'accident. En effet, la violence même de l'explosion dénote *a priori* une pression élevée. D'autre part, il est avéré que les soupapes étaient en mauvais état, que le chauffeur était obligé de les caler pour garder une pression suffisante pour la marche de la machine ; la lettre écrite par le comptable la veille de l'accident en fait foi. Or, le chauffeur avait reçu l'ordre de faire en sorte que la machine pût être mise en marche à 10 heures du matin. Pour se conformer à cet ordre, il a donc dû, selon toute probabilité, caler les soupapes ou du moins les surcharger.

Si l'on considère que l'explosion s'est produite à 9 1/2 heures, c'est à dire 3 1/2 heures après que le chauffeur a commencé à activer ses feux ; que pendant cet intervalle il n'y a pas eu de dépense de vapeur ; que, d'un autre côté, la chaudière avait une surface de chauffe relativement grande et, par suite, un grand pouvoir vaporisateur, on conçoit, la surcharge ou le calage des soupapes étant admis, qu'il ait pu se produire une pression supérieure à 6 atmosphères.

La surpression a donc dû jouer un certain rôle dans l'accident, mais selon toute probabilité, elle n'aurait pas suffi à provoquer l'explosion si les défauts dont il va être question n'avaient pas existé.

*Cinquième hypothèse* : Corrosions, cassures ou défauts préexistants.

Une légère corrosion existait au fond d'arrière et une corrosion très importante à la rivure reliant le fond d'avant au corps enveloppe, ainsi qu'aux tôles dans le voisinage de cette rivure.

Cette dernière corrosion, qui avait eu pour effet de ronger complètement les têtes de certains rivets, constituait certainement un point faible. Il est cependant difficile d'admettre que ce défaut ait été le point initial de la déchirure, car si l'explosion avait commencé par la projection du fond d'avant, il se serait produit une réaction considérable dans le sens opposé, réaction qui aurait influé sur la trajectoire suivie par le corps-enveloppe et le foyer. Or, cette trajectoire montre que le point initial de la déchirure doit se trouver à gauche et vers le dessous du générateur. C'est précisément dans cette région que se trouve la rivure longitudinale *ABCD*, défectueuse en ce sens que, le long des deux lignes de rivets, une des deux tôles superposées était déformée par le percement de trous inutiles.

Le coefficient de résistance relative de ce joint par rapport à la tôle pleine n'est plus que de 1/3 au lieu de 2/3, ce qui ramène à 3 k. 19 ou

3 k. 39, suivant que l'on considère l'éprouvette n° 2 ou l'éprouvette n° 5, la pression maximum admissible d'après la formule actuellement imposée, laquelle comporte un coefficient de sécurité de 4.5. Il va de soi que le fonctionnement à 6 atmosphères, dans de telles conditions, doit déterminer une fatigue considérable du métal le long de cette rivure. Le coefficient de sécurité correspondant n'est plus que de 2.3 et 2.5 pour les deux tôles essayées *U* et *Y*.

En faisant, dans la formule précitée, le coefficient de sécurité *a* égal à l'unité, et résolvant par rapport à *p*, on obtient la pression de rupture suivant le joint, soit 14 k. 35 et 15 k. 25 pour les deux tôles. Mais la pression de rupture réelle est nécessairement moindre, car il faut tenir compte de l'écroutissage du métal autour des trous de rivets et de la fatigue toute particulière dont il vient d'être question, circonstances qui sont de nature à réduire la résistance *t* dans une notable proportion.

D'autre part, cette ligne de moindre résistance pouvait très bien cacher des fissures préexistantes. La constatation directe n'a pu en être faite à cause du séjour prolongé des tôles dans la Meuse, mais la fatigue excessive subie par les tôles à cet endroit, la dureté du métal révélée par les essais de pliage effectués sur les éprouvettes n°s 12, 16 et 17, enfin les dilatations inégales dues à ce fait qu'aux points où sont percés les trous inutiles, il ne reste qu'une épaisseur de tôle, sont autant de causes de fissuration.

Il en résulte que la pression nécessaire pour déterminer la rupture a pu être de beaucoup inférieure à celle indiquée ci-dessus,

Les considérations qui précèdent conduisent à conclure que la déchirure a commencé le long de cette ligne déformée.

Les fissures préexistantes constatées dans la rivure assemblant le fond d'arrière au corps-enveloppe n'ont pu jouer aucun rôle dans l'accident. Ces fentes constituent une présomption de plus quant à l'existence de fissures dans la rivure longitudinale.

---

En résumé, la cause la plus probable de l'accident semble devoir être recherchée dans le manque de résistance que présentait la chaudière à l'endroit du joint déformé dont il vient d'être question et dans le fait qu'il existait une certaine surpression.

---

The first part of the document is a letter from the Secretary of the State to the Governor, dated the 10th of January, 1862. The letter is addressed to the Governor and is signed by the Secretary. The letter contains the following text:

Sir, I have the honor to acknowledge the receipt of your letter of the 8th inst. in relation to the application of the State of New York for the admission of the State of New Jersey to the Union. I have the honor to inform you that the same has been referred to the Committee on the subject, and they have reported in favor of the admission of the State of New Jersey to the Union. I have the honor to inform you that the same has been referred to the Committee on the subject, and they have reported in favor of the admission of the State of New Jersey to the Union.

I have the honor to be, Sir, your obedient servant,

Secretary of the State.

The second part of the document is a letter from the Governor to the Secretary of the State, dated the 11th of January, 1862. The letter is addressed to the Secretary and is signed by the Governor. The letter contains the following text:

Sir, I have the honor to acknowledge the receipt of your letter of the 10th inst. in relation to the application of the State of New York for the admission of the State of New Jersey to the Union. I have the honor to inform you that the same has been referred to the Committee on the subject, and they have reported in favor of the admission of the State of New Jersey to the Union. I have the honor to inform you that the same has been referred to the Committee on the subject, and they have reported in favor of the admission of the State of New Jersey to the Union.

I have the honor to be, Sir, your obedient servant,

Governor.