NOTES DIVERSES

ESSAIS COMPARATIFS

SUR

Collets mandrinés et Collets brasés

NOTE DE

M. DE JAER

Directeur technique de la *Société anonyme des Usines à Tubes de la Meuse*, à Flémalle-Haute.

AVANT-PROPOS

Les types d'assemblage les plus courants destinés à raccorder entre eux les éléments constitutifs des tuyauteries sont :

1° L'assemblage par manchon taraudé, caractéristique des tuyauteries à gaz, mais utilisé aussi dans des colonnes de sondage et les pipe-line ;

2° L'assemblage par collerette rabattue simple ou double avec collet roulant ;

3° L'assemblage par collet brasé, parfois préalablement fileté ;

4° L'assemblage par bague brasée, avec collet roulant, dont la bague peut être lisse ou tournée à emboîtement et, dans certains cas, préalablement filetée ;

5° L'assemblage par collet mandriné ;

6° L'assemblage par bague mandrinée et collet roulant.

Ces deux derniers modes d'assemblage ont fait leur apparition assez récemment. Rappelons qu'ils consistent en ceci : la face intérieure du collet ou de la bague présente une ou plusieurs rainures circulaires, d'une largeur de 2 à 4 millimètres et d'une profondeur de 1 à 2 millimètres. Au moyen d'un mandrin expanseur à galets, on presse la paroi du tube contre la face intérieure du collet ou de la bague et l'on refoule en même temps le métal du tube dans les rainures du collet ou de la bague.

C'est, en somme, le même assemblage que celui d'un tube à fumée avec la plaque du foyer de locomotive ou d'un tube bouilleur de chaudière multitubulaire avec les caissons à eau, mieux assuré cependant encore par le refoulement du métal dans les rainures.

Disons, en passant, que l'expression « collet mandriné » ou « bague mandrinée » est fausse; ce n'est pas le collet ou la bague qui sont mandrinés, mais bien le tube *dans* le collet ou la bague. Néanmoins, elle est couramment employée, et nous l'adopterons dans la suite.

Le mandrinage a pris rapidement de l'extension, d'abord parce qu'il fournissait, apparemment, un assemblage excellent, de grande résistance et bien étanche; ensuite parce qu'à l'encontre des autres systèmes, qui exigent un atelier et un matériel fixe pour leur réalisation, il permettait de monter les assemblages n'importe où, même sur place, — ce qui peut être avantageux, — avec un minimum d'outillage, facile à déplacer : un étau pour serrer le tube et un mandrin.

Cependant, les assemblages mandrinés donnèrent lieu à quelques accidents, qui attirèrent notre attention et nous amenèrent tout naturellement à examiner de plus près les résultats obtenus dans l'opération du mandrinage. Une coupe longitudinale nous révéla que le mandrinage a bien, en réalité, pour effet de refouler le métal de la paroi du tube dans les rainures du collet, mais que les épaulements ainsi formés ne remplissent pas la cavité de la rainure, tant s'en faut, et qu'il reste un espace vide important entre l'épaulement et le fond de la rainure. L'épaulement présente, non pas la forme rectangulaire de la rainure, — que l'on peut voir dessinée dans les catalogues, — mais la forme d'un léger bourrelet arrondi à peine saillant.

Poussant le mandrinage aussi loin que possible, nous constatâmes que, plutôt que d'accentuer la pénétration du métal dans les rainures, l'opération avait pour résultat de laminer, en quelque sorte, à froid, la paroi du tube et de la forcer à s'étirer vers l'extérieur du collet.

Nous recherchâmes alors quelle résistance à l'arrachement pouvait présenter un collet ainsi fixé. Or, en appliquant quelques coups de marteau sur le bord du collet, celui-ci se disloquait dès le premier ou deuxième coup et ne résistait pas, en général, au dixième. Le collet brasé, dans les mêmes conditions, se pliait, avant de s'arracher. L'examen du tube, après arrachement du collet mandriné, montrait que la paroi du tube s'était restreinte et qu'elle avait facilité, par cette déformation, l'arrachement du collet.

Sur ces entrefaites parut le rapport de l'Association Vinçotte (années 1911 et 1912), qui se prononçait (pp. 33 et 34) en faveur du collet mandriné, dans les cas où la sécurité devait être garantie, notamment dans les tuyauteries à vapeur, et rejetait les modes de fixation par soudure, donc aussi par brasage.

Les conclusions de l'Association Vinçotte, qui trouve l'occasion de se documenter d'une façon particulièrement abondante et variée, sont, avec raison, considérées par beaucoup d'industriels comme des règles qu'il est prudent d'observer. Or, les quelques constatations qui viennent d'être rapportées nous avaient laissés sceptiques quant à

l'exactitude des conclusions adoptées dans ce cas particulier par l'Association Vinçotte, et nous décidâmes donc de vider la question à fond, c'est-à-dire d'établir la valeur réelle de l'assemblage par mandrinage. Etablir cette valeur, c'était, comme on dit en théorie, la comparer avec une unité connue, c'est-à-dire avec la valeur de l'assemblage par simple brasage, qui, jusqu'ici, employé communément, n'avait donné lieu à aucun ennui sérieux.

Nous proposâmes donc à l'Association Vinçotte d'étudier et d'exécuter ensemble une série d'expériences sérieuses, bien contrôlées, qui nous permettraient de fixer nos idées, tant à Vinçotte qu'à nous-mêmes. Ce fut agréé.

A ce moment, la guerre éclata, et les affaires en restèrent là. La question serait sans doute demeurée en suspens jusqu'à nouvel ordre, si, en 1916, nous n'avions eu connaissance d'une circulaire de la Direction générale des Mines (datée du 12 juin 1915, n° 13789/126 s^ie^) ainsi conçue :

« L'assemblage des éléments constitutifs des tuyauteries à vapeur a donné lieu, dans ces derniers temps, à plusieurs accidents. En vue d'en éviter le retour, certaines précautions, dictées par l'expérience, sont à conseiller.

» La Commission consultative permanente pour les appareils à vapeur, saisie de l'examen de cette question, estime, en effet, que les procédés de fixation des collets des tuyaux par brasure ou par soudure autogène doivent être regardés comme vicieux. Le filetage n'est pas non plus à recommander, par suite de la faible épaisseur des tuyaux, et, d'autre part, le rivetage est rarement possible, eu égard au diamètre trop restreint de ceux-ci.

» La Commission a été d'avis que le procédé le plus recommandable est celui du mandrinage sur une forte bague portant des rainures. L'assemblage se fait ensuite au moyen de collets mobiles appuyés sur les bagues et serrés par des boulons.

» Bien que les tuyauteries à vapeur ne soient pas réglementées, il convient d'appeler l'attention des propriétaires d'appareils à vapeur et de ceux qui en font usage sur les dangers des dispositions vicieuses mentionnées ci-dessus et de leur faire remarquer que les dispositifs préconisés par la Commission des appareils à vapeur ou éventuellement d'autres moyens efficaces sont seuls de nature à dégager leur responsabilité en cas d'accidents de l'espèce.

» Vous voudrez bien, Monsieur l'Ingénieur en chef, porter ce qui précède à la connaissance du personnel qui vous est adjoint pour la surveillance des appareils à vapeur et l'inviter à saisir l'occasion de ses visites annuelles pour attirer sur cet objet l'attention des intéressés. »

Cette circulaire confirmait, en somme, les conclusions du rapport de l'Association Vinçotte. Cette fois, il fallait élucider définitivement la question. Nous en saisîmes M. le Directeur général des Mines, Libert, alors Inspecteur général, afin d'obtenir aux essais la participation officielle du corps des Mines.

Les pourparlers aboutirent rapidement, grâce à la bonne volonté de M. Libert, et le 8 avril 1916, nous tracions le programme des essais à exécuter, d'accord avec MM. Libert et Vinçotte, administrateur-délégué de l'Association Vinçotte, qui suivirent et contrôlèrent les essais du commencement à la fin.

Programme et Préparation des Essais

Donc, le 8 avril 1916, dans une séance préparatoire, à laquelle assistaient :

Messieurs Libert et Vinçotte, d'une part,

Messieurs De Jaer, Directeur-Technique de la *Société anonyme des Usines à Tubes de la Meuse*, et Ch. Brialmont, Chef du Service des Travaux Accessoires de la même Société, d'autre part, le programme des essais a été tracé comme suit :

Il s'agit de répéter expérimentalement et en les exagérant à l'extrême, c'est-à-dire jusqu'à la rupture des assemblages, les phénomènes normaux et anormaux qui se présentent pratiquement dans les tuyauteries, et de comparer les efforts qu'il faut développer dans le cas d'assemblages mandrinés et dans le cas d'assemblages brasés.

Les phénomènes normaux développent des efforts tendant à séparer les tronçons successifs des conduites, par suite de la pression y régnant, des dilatations et contractions dues aux variations de température.

Les efforts anormaux sont dûs à des coups de bélier, et au manque de soins ou d'expérience dans le montage des tuyauteries, par exemple, à un serrage inégal des boulons des collets, à l'absence ou à l'insuffisance de supports, etc.

Ces effets peuvent se traduire de façons différentes qui seront reproduites par les expériences suivantes :

1° *Choc central.* — Le collet monté sur un bout de tuyau (fig. 1) sera assemblé à un plateau portant une tige, qui traverse le tube sans frottement et sur l'extrémité de laquelle seront appliqués des coups répétés, de même

intensité. La valeur de l'assemblage sera mesurée par le nombre de coups nécessaires pour amener la séparation

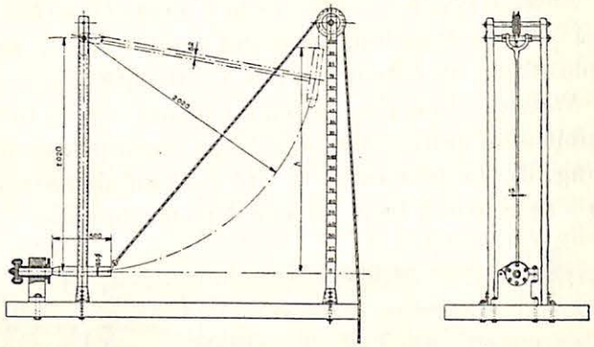


Fig. 1. — *Appareil pour le choc central.*

du collet et du tube, ceci indépendamment de toutes les constatations en cours d'expérience.

Cet essai reproduit le coup de bélier ;

2° *Choc latéral.* — Le collet monté sur un tube, recevra des coups d'un marteau frappant en un point (fig. 2).

Cet essai ne reproduit, à vrai dire, bien exactement, aucun phénomène, même anormal ; il tient le milieu entre

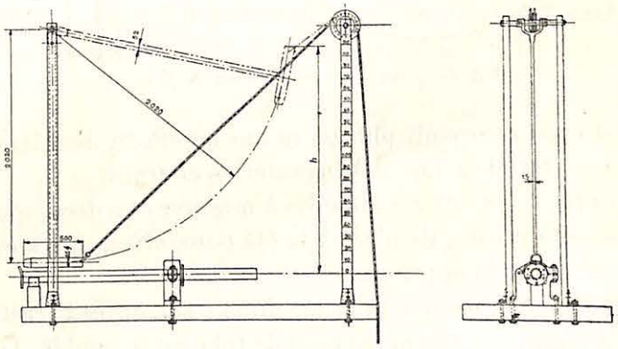


Fig. 2. — *Appareil pour le choc latéral.*

l'effort inégal d'un serrage irrégulier des boulons d'assemblage et le coup de bélier agissant sur un pareil assemblage,

et rappelle plus ou moins le coup de bélier dans une conduite cintrée, — coude ou courbe de dilatation ;

3° *Flexion répétée.* — Cet essai n'a pas été exécuté. Il n'était que la répétition, un grand nombre de fois et sous une plus faible amplitude, de l'essai suivant ;

4° *Flexion unique.* — Le collet monté sur un tube est assemblé à un autre collet ou plateau constituant un plan fixe (fig. 3). Le tube est alors tiré dans un même plan de façon à se cintrer à froid, et à se dégager du collet.

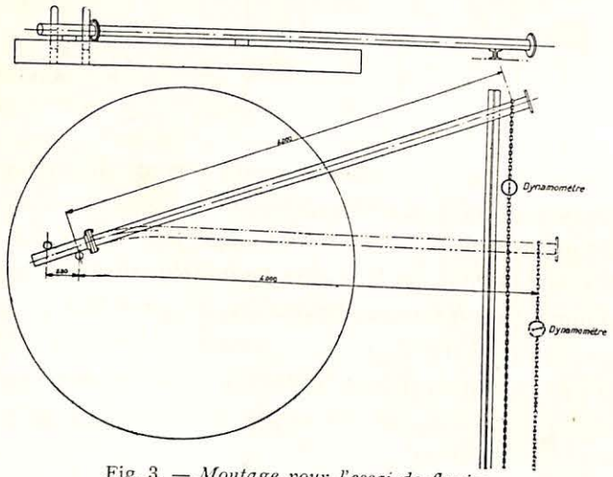


Fig. 3. — *Montage pour l'essai de flexion.*

Cet essai reproduit plus ou moins les efforts de dilatation et de contraction dans les tuyauteries courbes.

Les résultats ont été difficiles à mesurer et à décomposer. Pour cette raison, ils n'ont pas été poursuivis, et les essais sub. 3° ont été supprimés ;

5° *Traction directe* (à la machine à casser les barrettes). — Le collet monté sur un bout de tube est assemblé (fig. 4) à un collet plus épais fixé sur une broche ronde terminée par une patte destinée à être saisie par les pinces de la machine. L'extrémité libre du tube est assemblée à une

autre broche avec patte destinée à l'autre paire de pinces. Cette broche est ronde pour maintenir le tube bien rond lui-même pendant que l'effort de traction agit par l'intermédiaire d'une grosse goupille qui traverse la broche et les parois du tube.

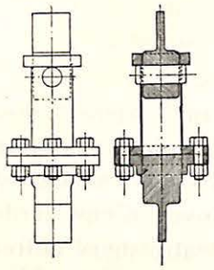


Fig. 4.
Eprouvette pour l'essai à la traction directe.

Nous avons, lors des premières expériences, constaté que, sous l'action de cet effort, la goupille ovalisait les deux ouvertures circulaires de la paroi du tube, même au point de déchirer le tube jusqu'à son extrémité. Nous avons alors renforcé la résistance du tube en le munissant, exactement au-dessus des deux ouvertures, d'une bague brasée.

Cet essai reproduit l'action lente d'une pression intérieure, qui croîtrait jusqu'à rompre les assemblages.

Il a été décidé que les essais se feraient sur une dimension moyenne et nous avons choisi le tube de 90 m/m exté-

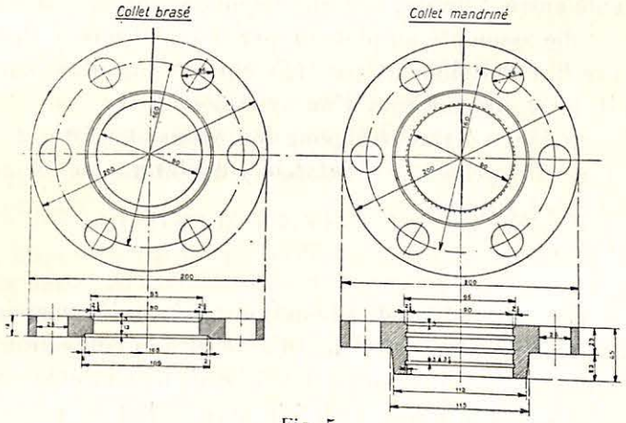


Fig. 5.

rieur, à l'épaisseur de 4 m/m. La fig. 5 donne les caractéristiques des collets mandriné et brasé convenant à ce profil.

L'appareil de choc est des plus simples.

Un marteau allongé formé d'un morceau de barre d'acier (voir fig. 1 et 2) est suspendu par une tringle rigide à un axe horizontal supporté par deux montants. Le marteau est relevé à une hauteur déterminée au moyen d'une corde passant sur une poulie folle soutenue entre deux autres montants, dont l'un est gradué à partir de **0** — correspondant au plan horizontal passant par l'axe du marteau à l'état de repos — jusqu'à 2 mètres de hauteur au-dessus de ce niveau.

Le tube est serré dans un carcan, boulonné sur une taque servant de base à l'appareil, et déplaçable de manière à ce que le choc se donne, soit (fig. 1) sur l'extrémité de la tige fixée au plateau d'assemblage (choc central), soit (fig. 2) sur le bord du collet (choc latéral).

L'appareil prévu pour les essais de flexion est encore plus simple (fig. 3) : un bout de barre munie d'un plateau solide est calé entre 2 fiches, sur une taque de cintrage en fonte.

Le tube assemblé au plateau par le collet mis à l'essai, est tiré horizontalement par une corde s'enroulant sur un treuil, avec interposition d'un dynamomètre.

La machine à traction pour les essais sub. 5° est une machine *Trayvou (La Mulatière)* de 50 tonnes, à commande hydraulique.

Le 28 avril 1916, M. l'Inspecteur Général Libert s'est rendu dans nos usines à l'effet d'assister à la confection des éprouvettes d'essai. Chacun des 5 essais devant être répété 3 fois avec collet brasé, et 3 fois avec collet mandriné, il

a donc assisté au brasage de 15 collets et au mandrinage de 15 autres collets, qui tous, ont été scellés par lui.

Un échantillon de brasure a été prélevé aux fins d'analyse. La brasure, de la composition couramment employée par nous, est un alliage de cuivre et de zinc dans les proportions approximatives de *55* de cuivre et *45 de zinc*, avec des traces d'étain. (Brasure commerciale).

Le brasage se fait au cubilot chauffé au coke.

L'appareil à mandriner (fig. 6) comporte principalement 3 galets, un mandrin conique dont l'avancement est réglable au moyen d'une tige filetée et d'une douille. L'ensemble

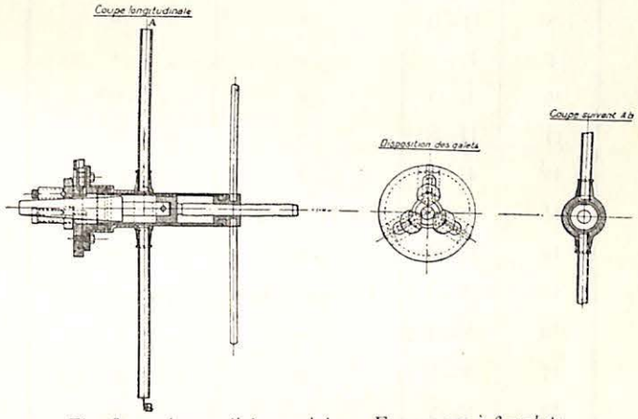


Fig. 6. — *Appareil à mandriner. Expanseur à 3 galets.*

est manœuvré à bras d'homme, au moyen d'un tourne à gauche, la douille au moyen de 2 leviers. C'est un appareil résistant et précis, de fabrication moderne.

COMPTE RENDU DES ESSAIS

Pour suivre le compte rendu des essais, nous avons cru utile de les numéroter dans l'ordre, en portant en regard la marque attribuée à chacun d'eux. Nous avons dressé le tableau ci-annexé, indiquant en même temps la date de l'essai, le genre d'essai, et le numéro de la figure s'y rapportant.

Les éprouvettes dont la marque n'est pas renseignée dans ce tableau n'ont pas été soumises aux essais pour des raisons exposées dans le compte rendu.

Nomenclature et désignation des essais.

Date	Numéro	Marque	Genre d'essai	Type du collet	Numéro de la fig.
5 mai 1916	1	I—A	Choc central	mandriné	
»	2	I—B	»	»	7
»	3	I—C	»	»	
»	4	I—D	»	brasé	
»	5	I—E	»	»	8
»	6	I—F	»	»	
»	7	II—G	Choc latéral	mandriné	9
»	8	II—H	»	»	
»	9	II—I	»	»	
»	10	II—J	»	brasé	10
»	11	II—K	»	»	11
»	12	II—L	»	»	
»	13	IV—M	Flexion unique	mandriné	12
»	14	IV—P	»	brasé	13
»	15	V—S	Traction directe	mandriné	
»	16	V—T	»	»	
»	17	V—U	»	»	14
»	18	V—V	»	brasé	15
»	19	V—W	»	»	
»	20	V—X	»	»	
19 mai	21	A	Choc central	mandriné-rivé	
»	22	B	»	»	16
»	23	C	»	mand.-*non* rivé (*)	
»	24	C'	»	»	
»	25	D	»	brasé-rivé (*)	
»	26	E	»	»	

(*) Un collet est dit *rivé* lorsqu'on a évasé à coups de marteau l'extrémité du tube contre l'arête biseautée intérieure du collet, formant ainsi une espèce de collerette incomplètement relevée ; dans le cas contraire, il est dit *non rivé*.

Nomenclature et désignation des essais *(Suite)*.

Date	Numéro	Marque	Genre d'essai	Type du collet	Numéro de la fig.
19 mai 1916	27	F	Choc central	brasé-rivé	
»	28	1	Traction directe	mand.-*non* rivé	17
»	29	3	»	»	
»	30	4	»	mandriné-rivé	18
»	31	5	»	»	
»	32	6	»	»	
»	33	7	»	brasé	19
»	34	8	»	»	
»	35	9	»	»	
»	36	10	»	»	
»	37	13	»	simplement rivé	
»	38	14	»	»	
»	39	16	»	»	
30 juin	40	I	»	brasés	22
»	41	II	»	»	23
»	42	III	»	»	
»	43	IV	»	»	
7 juillet	44	V	»	»	
»	45	VI	»	»	24

Procès-verbal des essais du 5 mai 1916

Avant de commencer les essais, nous avons déterminé la longueur de la tringle suspendant le marteau de choc depuis le centre de gravité de celui-ci, jusqu'à l'axe de suspension.

Cette longueur = $2^{m}020$.

La tringle de suspension pèse : $11^{k}500$.

Le marteau de choc pèse : $21^{k}700$.

La hauteur de chute a été portée dans la presque totalité des essais à $1^{m}800$, cette hauteur représentant la distance entre le plan horizontal passant par l'axe du marteau de choc à l'état de repos et la hauteur à laquelle était relevée la face arrière du marteau (fig. 1).

Numérotage des coups de marteau

Essais au choc central.

N° 1. — *Marque : I-A. — Choc central. — Mandriné*

1 à 5 A chaque coup, le tube glisse dans l'étau d'environ 2 m/m. Toute la force vive du coup n'est donc pas uniquement absorbée par la résistance de l'assemblage, une partie est perdue dans le glissement.

Après le 5me coup, nous démontons le plateau (opération que nous dénommerons : *démontage*), et nous examinons le collet ; nous constatons un commencement de décollement sur la face, se traduisant par une apparition de la rainure circulaire du joint sur un peu plus du 1/4 de la circonférence.

N. B. Lorsque le *collet* a été mandriné ou brasé sur le tube, la face du collet est passée à la meule, en vue d'obtenir une surface nette et propre. Les lignes de meulage qui se forment sur la face du collet et sur la section du tube se confondent, s'entremêlent et laissent apparaître le joint entre le collet et le tube sous forme d'un trait *extrêmement* délié, et parfois à peine perceptible. Lorsqu'il y a « *décollement* », ce trait devient plus marqué, plus noir.

6 » 10 Le tube continue à glisser. Démontage. Accentuation légère du décollement sur la 1/2 de la circonférence.

11 » 15 Le tube continue à glisser. Démontage. Accentuation du décollement sur les 3/4 environ de la circonférence.

16 à 20 Glissement du tube. Légère accentuation du décollement.

21 » 25 Continuation du glissement Le collet est légèrement décollé sur tout le pourtour.

26 » 60 Nous exécutons une série de coups, sans arrêt. Appelant X la distance depuis l'extrémité du tube opposée au collet jusqu'à la matrice de serrage, nous constatons qu'avant de commencer la série, X = 75 m/m.

Après le 30me coup, X = 70 m/m.
Après le 35me coup, X = 66 m/m.
Après le 40me coup, X = 59 m/m.
Après le 45me coup, X = 52 m/m.
Après le 50me coup, X = 45 m/m.
Après le 55me coup, X = 38 m/m.
Après le 60me coup, X = 32 m/m.

Démontage. Collet nettement décollé faisant saillie de quelques dixièmes de millimètres, sur le tube.

61 » 75 Les glissements sont :

Après le 65me coup, X = 24 m/m.
Après le 70me coup, X = 16 m/m.
Après le 75me coup, X = 8 m/m.

76 » 90 Par suite du glissement du tube, l'essai ne donne pas de résultats probants. Nous décidons de placer à l'autre extrémité du tube, un collet de contre-choc mandriné, qui formera butée contre l'étau de serrage.

L'essai, repris dans ces conditions, nous conduit à *90* coups, mais nous constatons que le collet de contre-choc se décolle.

Dans ces conditions, les résultats étant faussés, l'essai est abandonné.

N° 2. — *Marque : I-B. — Choc central. — Mandriné.*

Afin d'éviter le glissement qui a faussé l'essai précédent, nous avons monté un collet de contre-choc mandriné sur l'autre bout du tube.

1 » 5 Démontage. Constatons que le collet est décollé et forme une légère saillie sur l'extrémité du tube. Il se trouve *exactement dans le même état que le collet précédent, après le 60me coup.*

6 » 10 Démontage. Nous constatons que le collet commence à glisser sur le tube. Il s'est déplacé d'environ 1 millimètre, mesuré derrière le collet, d'où accentuation de la saillie du collet sur le tube.

11 à 20 Le glissement du collet sur le tube atteint plus de 2 m/m.
Le collet se disloque visiblement et abandonne le tube.
21 » 25 Le collet continue à se décoller.
26 » 39 Au 39me coup, le collet tombe par terre (fig. 7).

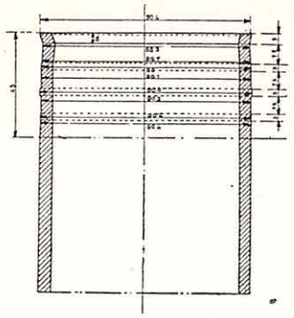


Fig. 7. — Essai n° 2.
Aspect du tube après arrachement du collet.

Observation. — Il a fallu 39 coups pour arracher complètement le collet, mais *dès la première constatation*, c'est-à-dire *après le* 5me *coup*, le collet ne présentait plus qu'une résistance affaiblie.

N° 3. — *Marque : I-C. — Choc central. — Mandriné.*

L'essai est également conduit avec un collet de contre-choc, comme butée.

1 Démontage. Le collet est légèrement décollé.
2 » » » »
3 » » » »
4 et 5 » » » » , sans différence appréciable.
6 à 10 Le collet de contre-choc s'arrache. L'essai est suspendu pour remandriner ce dernier.
11 » 15 Le collet est nettement décollé et forme une légère saillie sur l'extrémité du tube.
16 » 25 Collet décollé d'environ 1 m/m.
26 » 30 Le décollement s'accentue.
31 » 40 Le collet de contre-choc se décolle. L'essai est suspendu.

Observation. — Le collet a été décollé, légèrement, il est vrai, au premier coup. Après le 15me coup, il commence à glisser sur le tube. L'essai n'a pas été poursuivi, les essais suivants ayant démontré que des résultats ne pouvaient être comparés qu'en obtenant une fixation absolue du tube dans son étau.

N° 4. — *Marque : I-D. — Choc central. — Brasé.*

Pour nous mettre dans les mêmes conditions que dans l'essai n° 1 (I-A), l'essai n° 4 (I-D) sera fait sans collet de contre-choc, c'est-à-dire, en laissant glisser le tube dans l'étau de serrage.

La distance entre l'extrémité lisse du tube et l'étau de serrage, est X = 87 m/m.

1 à 5 X = 68 m/m. Nous notons un soupçon de décollement sur la face du joint. La trace est tout à fait légère et serait imperceptible pour un œil non averti.
6 » 10 X = 53 m/m. Pas de modification au joint.
11 » 15 X = 41 m/m. » » »
16 » 20 X = 30 m/m. » » »
21 » 25 X = 18 m/m. » » »

Nous replaçons le tube dans l'étau de façon à faire X = 93 m/m.

26 » 60 Après le 30me coup, X = 76 m/m.
» 35me » X = 64 m/m.
» 40me » X = 52 m/m.
» 45me » X = 41 m/m.
» 50me » X = 30 m/m.
» 55me » X = 19 m/m.
» 60me » X = 9 m/m.

Démontage : Pas d'accroissement sensible de décollement. L'essai est suspendu provisoirement. Nous placerons un collet de contre-choc mandriné.

60 » 100 L'essai repris dans ces conditions, nous conduit au 100me coup.
Démontage : Néant.
100 » 110 Le collet de contre-choc se décolle. Essai suspendu.

N° 5. — *Marque : I-E. — Choc central. — Brasé.*

Le tube est muni d'un collet de contre-choc.

1 à 5 Démontage : Néant.
6 » 10 » Très légère trace de décollement, à peine perceptible, sur la face.

11 à 20 Démontage : Même état.
21 » 40 » »
41 » 60 » »
61 » 100 Nous constatons que la brasure se détache derrière le collet.

Démontage : Nous constatons sur la face du collet un décollement intéressant environ les 5/8 de la circonférence.

101 » 115 Le décollement s'accentue.
116 » 130 L'accentuation du décollement progresse. Au 130me coup, le décollement est complet.

Au 131me coup, le collet est arraché (fig. 8).

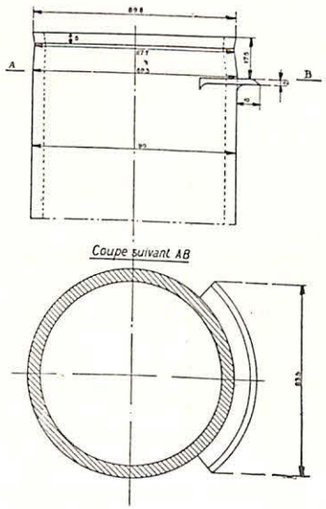


Fig. 8. — Essai no 5.
Aspect du tube après arrachement du collet.

Observation. — La brasure était parfaite. Elle avait pénétré entre le tube et le collet sur toute la portée de celui-ci.

N° 6. — *Marque : I-F. — Choc central. — Brasé.*

Le tube est muni d'un collet de contre-choc.

1 à 10 *Apparence* de décollement de la brasure sur la face arrière du collet sur un arc de 5 à 6 centimètres de développement.

Démontage. Rien à observer sur la face du collet. Vérification

faite du décollement, il apparaît qu'il ne s'agit pas du décollement proprement dit de la brasure, mais plutôt d'un écaillement de lignes de borax fondu, qui a servi au brasage.

11 à 15 Le collet mandriné de contre-choc décolle.

Dans ces conditions, nous arrêtons l'essai et décidons de renouveler la série complète des 6 essais après avoir muni chacun des 6 tubes, d'une bague ou d'un collet de butée fortement fixé de façon à éviter *tout glissement*, qui fausserait les résultats.

Les nouveaux essais seront exécutés avec un marteau de choc de 35 kilogs.

Essais au choc latéral.

N° 7. — *Marque : II-G. — Choc latéral. — Mandriné.*

La hauteur de chute du marteau est réduite à 1m500.

1 Collet légèrement décollé.
2 » » »

La hauteur de chute est reportée à 1m800, comme auparavant.

3 Le décollement du tube s'indique plus nettement.

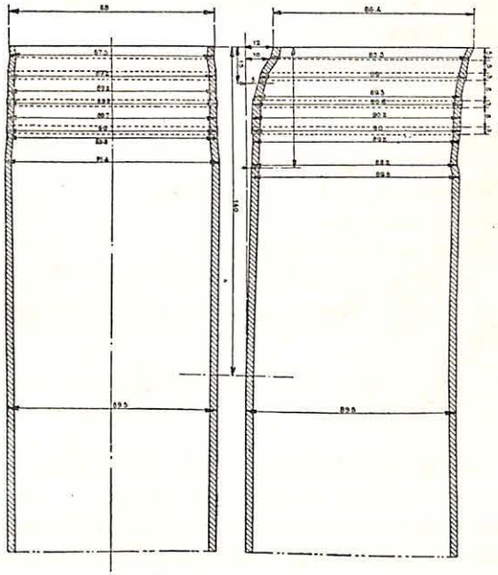


Fig. 9. — Essai no 7.
Aspect du tube après arrachement du collet.

4 et 5 Le décollement s'accentue. A partir du 3me coup, le tube commence à glisser dans son carcan.

6 à 10 Le décollement s'étend sur 1/3 de la circonférence.

11 » 20 » » à la 1/2 de la circonférence.

20 » 24 » » à toute la circonférence.

25 » 30 Après le 30me coup, le collet a pris par rapport au tube, une inclinaison régulière, c'est-à-dire que l'effet du choc s'est fait sentir, non seulement, à l'endroit où il est appliqué, mais qu'il a disloqué le collet tout entier, qui se comporte comme un bloc rigide.

31 » 35 Le collet est complètement déchaussé et laisse une large ouverture baillante entre son rebord et le tube (fig. 9).

N° 8. — *Marque II-H. — Choc latéral. — Mandriné.*

Etant donné que le tube précédent a glissé dans l'étau, nous assurons sa fixité au moyen d'une broche de butée.

1 Le collet est décollé sur le 1/3 de la circonférence.

2 » » sur la 1/2 de la circonférence.

3 et 4 » » sur la totalité de la circonférence.

5 » se dégage du tube.

6 à 17 » s'incline de plus en plus et tombe au 17me coup.

N° 9. — *Marque : II-I. — Choc latéral. — Mandriné.*

1 Collet décollé sur la 1/2 de la circonférence.

2 et 3 Le décollement s'accentue.

4 Le collet forme saillie sur le tube.

5 à 7 » commence à glisser sur le tube.

8 » 19 » continue à glisser, s'incline, est complètement détaché au 19me coup.

N° 10. — *Marque : II-J. — Choc latéral. — Brasé.*

1 » 10 Au 10me coup, aucun décollement n'est visible, mais le collet commence à fléchir à l'endroit où le choc est appliqué.

11 » 30 Aucun décollement visible, mais la flexion du collet s'accentue. Pendant cette série de coups, le tube glisse légèrement dans l'étau.

31 » 35 Au 35me coup, la brasure commence à se fissurer derrière le collet; cette fissure est dûe à l'allongement qu'elle a subi par suite de la flexion du bord du collet. Par contre, on ne constate rien sur la face du collet.

36 à 37 Le collet se décolle sur la face.

38 » 40 Le collet est décollé sur la 1/2 de la circonférence. Il peut être considéré comme perdu.

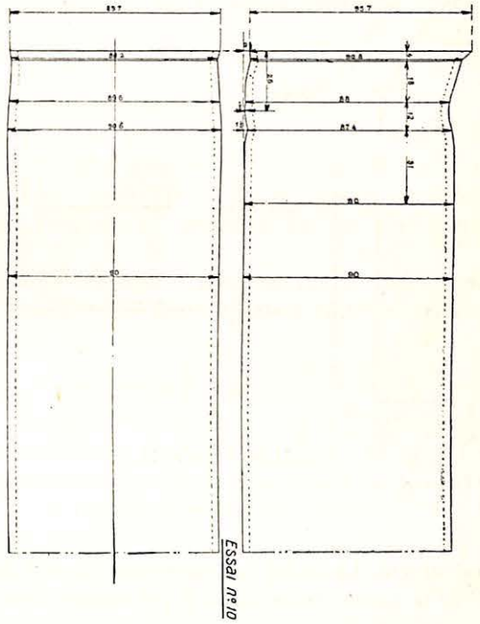


Fig. 10. — Essai n° 10.
Aspect du tube après arrachement du collet.

41 » 44 Le collet est complètement décollé, excepté sur une petite partie inférieure.

Observation. — La brasure est excellente (fig. 10).

N° 11. — *Marque II-K. — Choc latéral. — Brasé.*

1 » 10 Rien à noter.

11 » 20 Le collet se déforme, mais il n'y a pas de décollement.

25 » 35 Accentuation de la déformation, sans décollement.

36 Un commencement de cassure se montre derrière le collet. Rien sur la face.

37 » 40 Accentuation de la cassure derrière le collet. Rien sur la face (fig. 11).

41 » 67 Au 67me coup, le collet commence à se décoller sur la face.

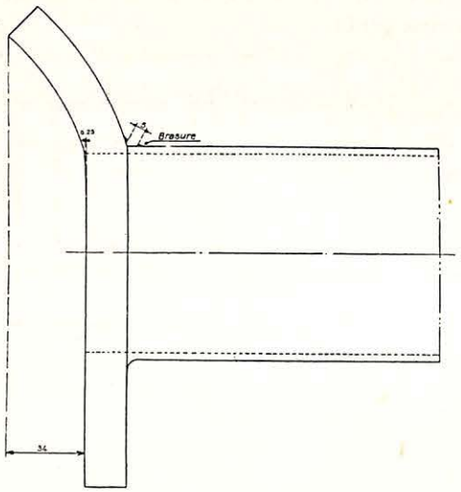


Fig. 11. — Essai n° 11.
Aspect de l'assemblage après le 40e coup. La brasure présente une cassure d'environ 5 millimètres de largeur.

68 » 80 L'essai est arrêté. Le collet est nettement décollé derrière sur environ 2/3 de la circonférence, mais il est encore bien fixé sur la face.

N° 12. — *Marque : II-L. — Choc latéral. — Brasé.*

1 » 8 Le collet se déforme.

9 et 10 Apparition d'une souflure qui s'ouvre, derrière le collet.

11 Légère cassure au même endroit.

12 et 13 La cassure apparaît nettement.

14 à 30 La cassure se poursuit, s'agrandit et au 30me coup le collet montre du décollement sur la face.

31 » 40 Au 40me coup, le collet est complètement arraché sur la 1/2 de la circonférence correspondant à l'application du choc. L'autre moitié est intacte.

Observation. — Il résulte nettement de ces trois derniers essais, qu'au lieu de se disloquer entièrement dès les premiers coups, le collet brasé résiste au choc tant qu'il ne subit pas une flexion accentuée au point de provoquer l'arrachement de la brasure par un allongement excessif.

Essais à la flexion unique.

N° 13. — *Marque : I V-M.— Flexion unique.— Mandriné.*

(Voir schéma de l'installation de l'essai fig. 3).

La traction est lentement et progressivement portée à 230 kilos. A ce moment, le collet commence à se décoller. La traction est poussée à 240 kilos, et ne dépasse pas ce chiffre, car le collet cède doucement par l'effet de la formation de l'arc que décrit le tube (fig. 12).

En forçant, nous arrivons à une traction de 250 kilos. Mais, à peine arrivé à ce chiffre, l'effort retombe à 230. Le tube se cintre de plus en plus.

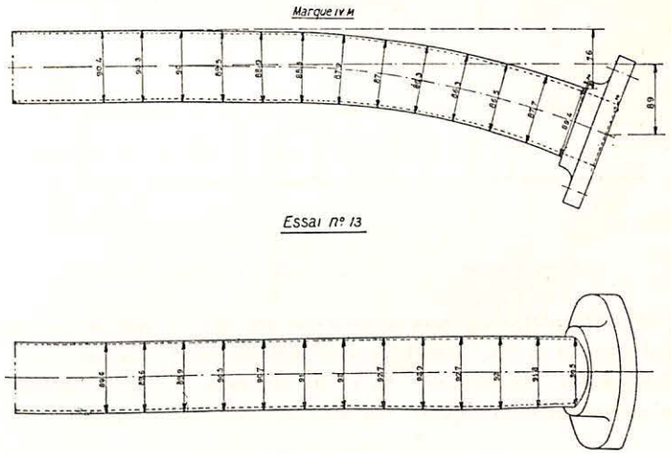


Fig. 12. — Essai n° 13.
Aspect du tube et de l'assemblage au moment où le collet va se dégager complètement.

La traction est poussée à fond à 260, puis à 300, enfin à 305 kilos. Sous cet effort, le tube commence à sorttr du collet. Démontage.

La fig. 12 montre l'état du collet faisant saillie sur le tube, ainsi que celui du tube dont la section s'est modifiée.

N° 14. — *Marque : IV-P. — Flexion unique. — Brasé.*

Les tractions sont poussées progressivement jusque 195 kilos, 255 kilos, 270 kilos, 280 kilos, 300 kilos, sans que l'examen après l'application de chacun de ces efforts ne révèle aucun indice de diminution de résistance.

A 310 kilos, le collet commence à faiblir. La brasure cède et la tension retombe à 240 (fig. 13).

Observation. — Ces essais difficiles à mesurer ne paraissent pas assez concluants et devraient être repris dans d'autres conditions,

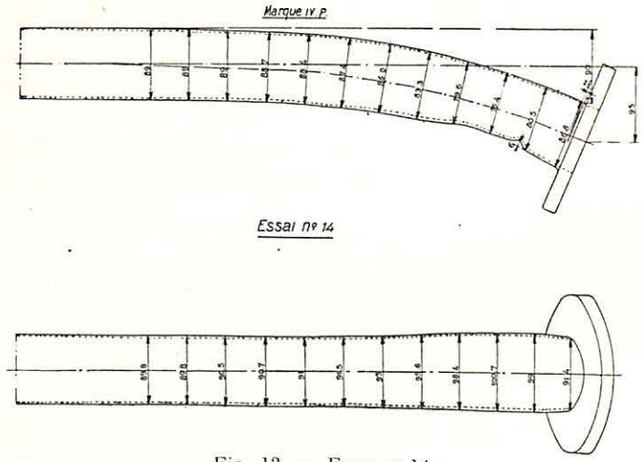


Fig 13. — Essai N° 14.
Aspect du tube et de l'assemblage à la fin de l'essai.

en faisant intervenir non seulement les efforts appliqués, mais aussi les arcs de cintrage et les déformations de section du tube.

En présence de ces résultats, les autres essais préparés en vue de flexion unique et de flexions répétées ne sont pas exécutés.

Essais à la traction directe.

N° 15. — *Marque : V-S. — Traction directe. — Mandriné.*

Le collet commence à glisser le long du tube et à se dégager sous un effort d'environ 10,000 kilos, mais celui-ci n'a pu être mesuré que d'une façon assez peu précise, étant donnée la rapidité avec

laquelle le collet est arrivé au point où sa résistance commençait à faiblir, ce qui n'a pas permis de conduire le contre-poids avec une précision suffisante pour obtenir l'équilibre parfait du fléau de la machine.

N° 16. — *Marque : V-T. — Traction directe. — Mandriné.*

Essai annulé par suite d'une fausse manœuvre.

N° 17. — *Marque : V-U. — Traction directe. — Mandriné.*

L'équilibre a été obtenu au chiffre de 18,340 kilos, mais pour les mêmes raisons que dans l'essai n° 15 (*V-S*), il est très possible que l'effort, qui a déterminé le commencement du glissement du collet, était supérieur à ce chiffre et que l'équilibre s'est produit au moment ou la valeur décroissante de la résistance du collet sur le tube, a rencontré la valeur croissante de pesée du contre-poids (fig. 14).

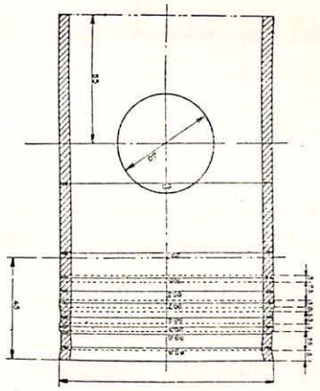


Fig. 14. — Essai N° 17.
Tube après dégagement du collet.

Observation. — Les essais, étant indécis, ne sont pas considérés comme concluants et doivent être repris.

N° 18. — *Marque : V-V. — Traction directe. — Brasé.*

L'équilibre est obtenu à 28,220 kilos. A ce moment, la goupille (voir fig. 4) qui relie le tube à la pince engagée dans les machoires de traction, déforme le tube, dont les ouvertures circulaires s'allon-

gent en boutonnières jusqu'à, finalement, cisailler le tube entre celles-ci et son extrémité lisse (fig. 15). Donc, l'effort en question

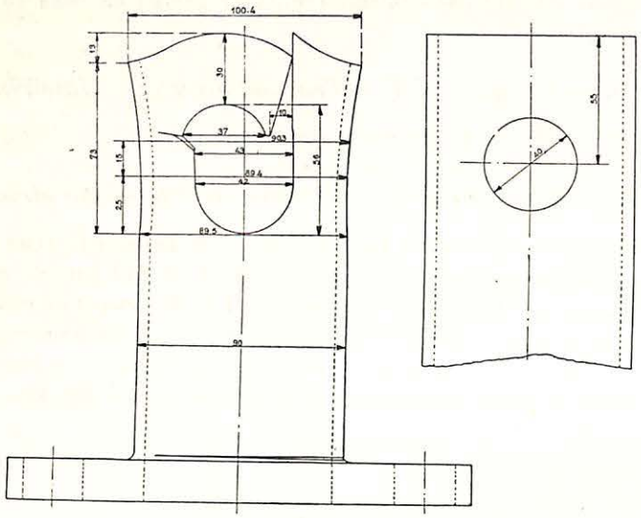


Fig. 15. — Essai n° 18.
Rupture du tube, à l'endroit des ouvertures circulaires où passe la goupille.

est inférieur à celui qui serait nécessaire pour arracher le collet. Celui-ci ne présente d'ailleurs aucun indice d'affaiblissement.

N° 19. — *Marque : V-W. — Traction directe. — Brasé.*

Même remarque et même résultat que dans l'essai précédent. L'effort sous lequel le tube s'est déchiré atteint 25,100 kilos.

N° 20. — *Marque : V-X. — Traction directe. — Brasé.*

Même remarque et même résultat que dans les deux essais précédents.

L'effort de traction atteint 24,940 kilos.

Observation. — Bien que ces essais n'aient donné aucun résultat réellement mesurable, ils ont fait ressortir, cependant, que les assemblages par collets mandrinés soumis à l'épreuve étaient moins résistants que les tubes employés, attendu que ceux-ci se sont séparés de leurs assemblages sans qu'il y eût *même un commencement* de

déformation des ouvertures circulaires dans lesquelles étaient engagée la goupille de liaison, tandis que les collets brasés ont, sans affaiblissement apparent, résisté à des efforts sous lesquels les tubes se sont déformés et brisés.

Nous pouvons donc dire, d'après les chiffres relevés, que les collets mandrinés en question se sont décollés sous une traction d'environ 18,000 kilos, tandis que les collets brasés résistaient sans trace apparente d'effort à des tractions d'au moins 25,000 kilos.

Ces essais seront repris suivant un programme plus précis, déterminé d'après les résultats déjà acquis.

Il a été également décidé que des essais de traction seraient faits sur des tubes munis de collets, ni brasés, ni mandrinés, mais simplement maintenus par le rabattement de l'extrémité du tube sur le chanfrein du collet, — autrement dit, *rivés*.

DEUXIÈME JOURNÉE D'ESSAIS

—

Vendredi 19 mai 1916

—

Sont présentés à l'examen et aux essais :

1° *Au choc central :*

4 collets mandrinés, dont 2 rivés et 2 non rivés ;

3 collets brasés et rivés.

Toutes ces éprouvettes portent à l'autre bout du tube une bague brasée destinée à servir de butée pour empêcher tout glissement du tube dans le carcan.

2° *A la traction :*

5 collets mandrinés, dont 2 non rivés et 3 rivés ;

6 collets brasés et rivés;

6 collets ni mandrinés, ni brasés, mais simplement rivés.

Afin d'éviter le déchirement du tube plutôt que l'arrachement du collet, sous l'effort de la traction de la machine, les deux premiers groupes d'éprouvettes sont munies, à l'autre bout, d'une bague brasée, qui renforcera la résistance du tube.

Choc central.

N. B. — Le marteau a été remplacé et pèse 35 kgs 600 au lieu de 21 kgs 700.

Hauteur de chute : 1^{m}800.

N° 21. — *Marque : A. — Choc central. — Mandriné et rivé.*

1 à 6 Démontage. Constatons une très légère trace de décollement.

7 » 15 Démontage. Légère accentuation de décollement sur tout le pourtour.

16 » 25 Démontage Le décollement est net. Le collet forme saillie d'environ 1/10 de millimètre sur le tube.

26 » 30 Démontage. La saillie du collet sur le tube atteint environ 1/2 millimètre.

31 » 47 Pendant cette succession de coups, le collet glisse de plus en plus et s'échappe au 47me coup.

N. B. — Les côtes refoulées du tube sont encore parfaitement marquées aux endroits qu'elles occupaient dans les rainures du collet. Les rainures du collet sont intactes. Le mandrinage est considéré comme excellent.

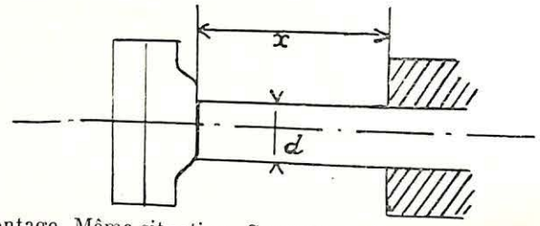
N° 22. — *Marque : B. — Choc central. — Mandriné et rivé.*

1 » 5 Démontage. Imperceptible décollement sur une partie du pourtour.

6 » 15 Démontage. Apparence d'une accentuation légère.

16 » 25 Démontage. Très légère accentuation du décollement.

26 » 35 Démontage. Même situation.



36 » 50 Démontage. Même situation. Cependant, il paraît se produire un commencement, mais presque imperceptible, d'une saillie du collet sur le tube.

51 » 65 Démontage. Même situation.

66 à 85 Démontage. Rien de changé sur la face, mais nous constatons que le tube s'allonge et que sa section diminue. (Voir croquis.)

Nous mesurons, pour un diamètre initial du tube de 90 millimètres, un diamètre réduit d = 89 millimètres ; la distance X entre le collet et le carcan = 81 millimètres.

86 » 100 Démontage. Situation inchangée.

d = 88,8 $^{m}/_{m}$.

X = 82 $^{m}/_{m}$.

101 » 125 Démontage. Le collet paraît se décoller à la partie inférieure du tube, une assez forte rainure se manifeste à cet endroit et le collet fait une légère saillie sur le tube. Mais dans la région opposée, c'est-à-dire à la partie supérieure du tube, c'est, au contraire, le tube qui fait saillie sur le collet ; celui-ci paraît donc basculer sur l'extrémité du tube.

d = 88,7 $^{m}/_{m}$.

X = 84 $^{m}/_{m}$.

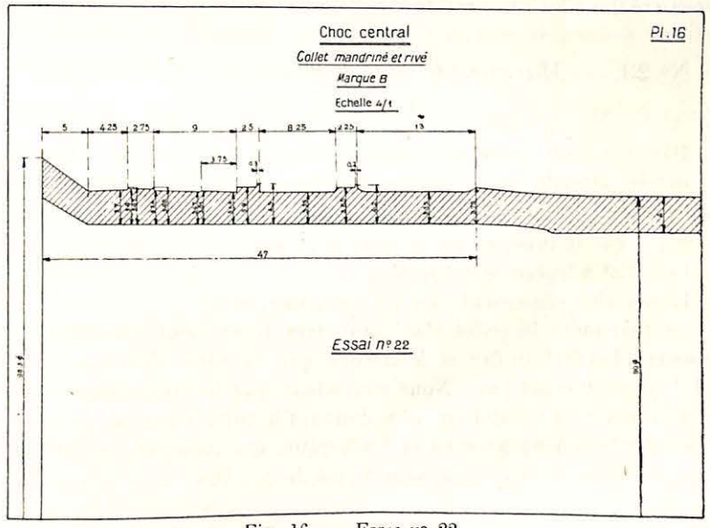


Fig. 16. — Essai n° 22.

Section dans la paroi du tube, montrant le relief des saillies « accrochantes » d'un bon mandrinage.

126 » 150 Démontage. Situation inchangée sur la face.

d = 88,5 $^{m}/_{m}$.

X = 85 $^{m}/_{m}$.

151 à 200 Démontage.

$d = 88{,}4$ m/m.

$X = 86$ m/m.

Le collet paraît nettement décollé du tube dont il est séparé par une forte rainure circulaire. Dans cette situation, nous sommes d'accord de considérer le collet comme complètement ébranlé et incapable de résister à une nouvelle série de 25 coups. Il nous semble plus intéressant de ne pas poursuivre l'essai jusqu'à la limite et de pratiquer une section transversale à travers le tube et le collet de façon à nous rendre compte du mode suivant lequel la désagrégation se produit.

Nous constatons que contrairement à notre attente, les côtes du tube sont encore parfaitement accrochées dans les rainures et que le collet, dans cet état, aurait vraisemblablement été capable de supporter encore une longue série de coups. La fig. n° *16* indique mieux que des explications, la façon énergique dont le tube s'était encastré dans les rainures de mandrinage.

N° 23. — *Marque : C. — Choc central. — Mandriné, non rivé.*

Dans cet essai, nous ne démonterons plus le plateau de butée du mandrin, attendu que l'absence de rivure ne nous permettrait pas d'observer la progression du décollement, tant que le collet ne glissera pas sur le tube, ce qui se constatera aisément derrière le collet.

1 à 5 Le collet a légèrement bougé.

6 » 10 Le premier glissement s'est un peu accentué.

11 » 41 Le glissement du collet s'accentue très légèrement au début, de plus en plus fort au fur et à mesure que la série s'allonge, et au 41me coup, le collet part. Nous constatons que le mandrinage était fort prononcé. Le collet en abandonnant le tube a grippé, le métal s'est partiellement arraché et les arrêtes des rainures du collet se sont cisaillées par endroits, sous forme de copeaux.

N° 24. — *Marque : C¹. — Choc central. — Mandriné non rivé.*

1 » 5 Le collet a légèrement bougé.

6 » 10 Légère accentuation.

11 » 18 Le collet glisse et part au 18me coup. Nous constatons que le mandrinage était parfait. Les surfaces se sont décollées sans grippage. Il n'y a pas de trace d'arrachement.

N° 25. — *Marque : D. — Choc central. — Brasé et rivé.*

Diamètre du tube pris en un point déterminé = 90 m/m.

Ce diamètre restera inchangé pendant tout l'essai.

1 à 5 Démontage. Néant.

6 » 15 Démontage. Néant.

16 » 25 Démontage. Néant.

26 » 40 Démontage. Néant.

41 » 65 Démontage. Néant.

66 » 90 Démontage. Néant.

91 » 125 Démontage. Un examen *très attentif* permet de *supposer* qu'il y a une *apparence* d'un *très léger* décollement sur un tout petit arc du joint.

126 » 150 Démontage. Même état.

151 » 200 Démontage. Même état.

201 » 250 Démontage. Même état. Etant donné qu'il ne se produit pas de modification, l'essai est suspendu.

N° 26. — *Marque : E. — Choc central. — Brasé et rivé.*

$d = 89{,}9$ m/m.

1 » 5 Démontage. Néant.

6 » 15 Démontage. Néant.

16 » 25 Démontage. Néant.

26 » 40 Démontage. Néant.

41 » 65 Démontage. Néant.

66 » 90 Démontage. Néant.

$d = 89{,}5$ m/m.

91 » 125 Démontage. Néant.

$d = 89$ m/m.

La diminution de diamètre permet de supposer qu'il y a un léger allongement du tube.

126 » 150 Démontage. Néant.

$d = 89$ m/m.

151 » 200 Un examen derrière le collet seulement ne révèle rien.

$d = 88{,}8$ m/m.

201 » 250 Démontage. Néant.

$d = 88{,}5$ m/m.

Nous suspendons également cet essai pour la même raison.

N° 27. — *Marque : F. — Choc central. — Brasé et rivé.*

$d = 89{,}9$ m/m.

1 » 15 Démontage. Néant.

16 » 40 Démontage. Néant.

41 » 65 Démontage. Constatons un très léger commencement de décollement sur la partie inférieure de la circonférence.

$d = 89{,}8$ m/m.

66 à 90 Démontage. Très légère accentuation du décollement.

91 » 125 Démontage. Même état.

$d = 89{,}8$ m/m.

126 » 150 Démontage. Même état.

151 » 200 Démontage. Légère accentuation du décollement à la partie inférieure.

$d = 89{,}7$ m/m.

201 » 250 Démontage. Le décollement apparaît bien net cette fois, sur environ 1/4 de la circonférence à la partie inférieure. Le collet, à cet endroit, paraît faire une très légère saillie sur le tube, et derrière le collet, toujours dans la même région, la brasure révèle une mince fissure.

251 » 275 L'examen derrière le collet indique une légère aggravation de la fissure.

276 » 300 L'examen derrière le collet indique de nouveau une légère aggravation de la fissure.

301 » 325 Même état.

326 » 350 Même état.

351 » 375 La cassure derrière le collet s'étend très lentement.

376 » 400 La cassure continue à s'étendre sur environ la 1/2 de la circonférence.

401 » 421 La cassure se propage tout autour du tube et au *421me* coup, le collet part brusquement.

Etant donné la façon dont les 3 essais sur tube brasé se sont comportés et la résistance plutôt supérieure que présentaient les collets *D* et *E*, les essais n'ont pas été repris au moyen de ces 2 derniers, et nous avons admis qu'ils résisteraient au moins à 421 *coups*.

N. B. Il ressort de ces 7 expériences qu'un seul collet mandriné a résisté à au moins 200 coups, après lesquels, il était encore parfaitement adhérent au tube, bien que, sur la face, la présence d'une rainure parût indiquer qu'il avait cependant subi un fort ébranlement, tandis que, des 3 collets brasés, deux n'ont pas manifesté le

moindre affaiblissement après 250 coups, et le 3me, dont l'état paraissait déjà modifié *après le* 65me coup, a pu, néanmoins, tenir jusqu'au 421me coup.

Traction.

Les éprouvettes portent, à une extrémité, le collet mandriné ou brasé et, à l'autre extrémité, une bague brasée de renforcement.

N° 28. — *Marque : 1. — Traction. — Mandriné, sans rivure.*

Sous l'effort de 37,200 kilos, le tube et la bague brasée de renforcement se déchirent. Cependant, le collet présente un commen-

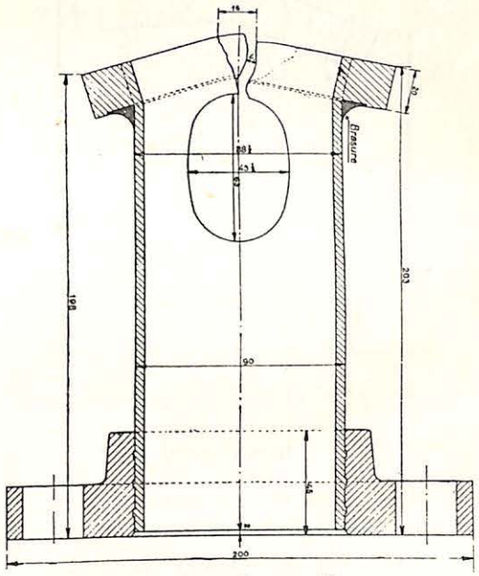


Fig. 17. — Essai N° 28.
Rupture de l'éprouvette à la bague de renforcement.

cement de déboîtement et forme saillie de 2 milimètres sur le tube (fig. 17).

N° 29. — *Marque : 3. — Traction. — Mandriné, sans rivure.*

Le collet est parti brusquement à 41,050 kilos.

N° 30. — *Marque : 4. — Traction. — Mandriné, rivé.*

Le collet commence à glisser à 37,400 kilos. A partir de ce moment, le glissement progresse jusqu'à l'échappement.

N° 31. — *Marque : 5. — Traction. — Mandriné, rivé.*

L'effort de traction monte à 43,400 kilos sans que le collet ne glisse. A ce moment, l'effort retombe, et vers 37,000 kilos (en

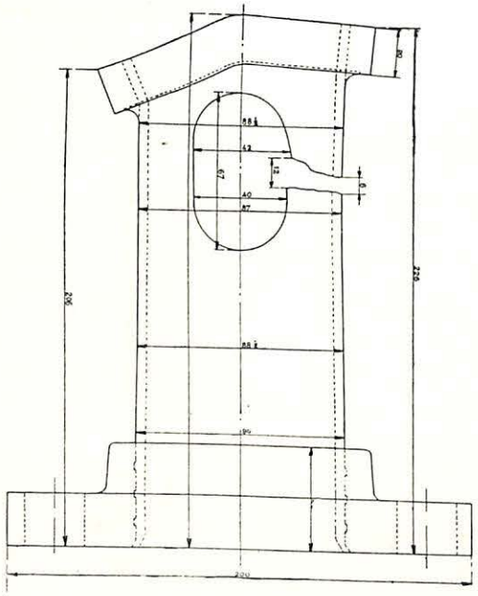


Fig. 18. — Essai N° 31.
Rupture du tube en-dessous de la baque de renforcement.

revenant), le tube casse (fig. 18). Une coupe longitudinale dans le collet montre que l'adhérence est encore très forte, bien que le métal du tube ne remplisse guère les rainures du collet.

N° 32. — *Marque : 6. — Traction. — Mandriné, rivé.*

Le collet glisse à partir de 34,800 kilos.

N° 33. — *Marque : 7. — Traction. — Brasé.*

A 26,100 kilos, le tube casse (fig. 19).

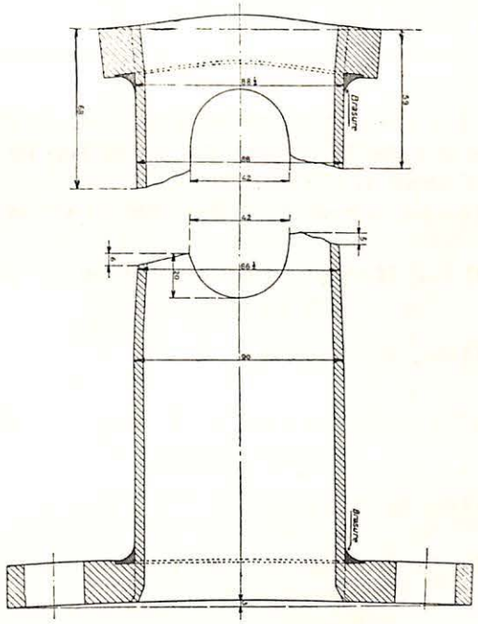


Fig. 19. — Essai N° 33.
Rupture du tube.

N° 34. — *Marque : 8. — Traction. — Brasé.*

A 32,200 kilos, le tube casse.

N° 35. — *Marque : 9. — Traction. — Brasé.*

A 28,500 kilos, le tube casse.

N° 36. — *Marque : 10.* — *Traction.* — *Brasé.*

Cette succession de cassures du tube à des efforts inférieurs à ceux des essais précédents paraît indiquer que, par suite du double réchauffement que le tube a subi à l'occasion des deux brasages du collet et de la bague de renforcement, le métal s'est recuit outre mesure et ne présente plus sa résistance normale.

Afin de lui rendre sa dureté, nous réchauffons l'éprouvette n° 10 en protégeant les deux brassures contre l'action du feu par un empâtement d'argile, puis plongeons le tube dans l'eau froide.

Dans ces conditions, le tube et la bague se cassent encore à 32,400 kilos.

N. B. — Les essais n°s 33, 34, 35 et 36 n'amènent donc aucune conclusion et sont abandonnés pour être repris dans les conditions permettant d'obtenir un résultat.

L'examen des collets brasés ne révèle en tout cas aucune altération.

N° 37. — *Marque : 13.* — *Traction.* — *Rivé, sans mandrinage.*

A 12,500 kilos, le collet glisse.

N° 38. — *Marque : 14.* — *Traction.* — *Rivé, sans mandrinage.*

A 16.700 kilos, le collet glisse.

N° 39. — *Marque : 16.* — *Traction.* — *Rivé, sans mandrinage.*

A 17,100 kilos, le collet glisse.

Les autres essais sur collets rivés, sans mandrinage, ne sont pas exécutés, attendu que les essais n°s 37, 38 et 39 n'avaient eu d'autre but que d'indiquer la valeur de résistance de la rivure, et que celle-ci ressort suffisamment des trois essais exécutés et peut être considérée comme étant de l'ordre de 15,000 kilos *environ*.

N. B. — En plus des expériences ci-dessus, nous avons également fait un essai de traction sur une éprouvette composée d'un secteur de collet brasé et de la partie correspondante du tube, la traction étant dirigée dans le plan du collet, suivant le rayon passant par le

centre du secteur, de façon à obtenir une indication sur la résistance de la brasure à un effort qui tendrait à séparer les deux surfaces qu'elle réunit, non pas par glissement ou cisaillement, comme dans les essais qui ont été exécutés précédemment, mais par décollement direct sous l'action d'un effort perpendiculaire aux surfaces en contact.

Cette éprouvette est représentée à la fig. n° *20*.

Dans ces conditions, nous avons obtenu un effort de traction de

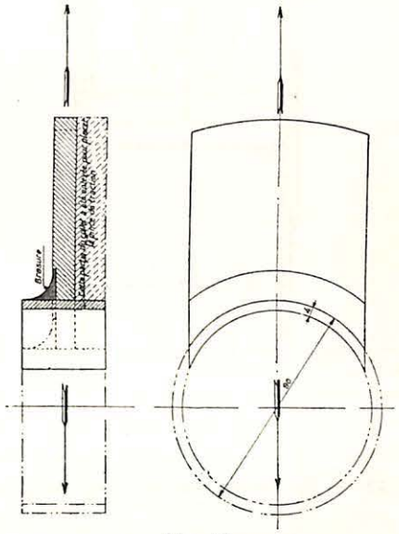


Fig 20

7,150 kilos qui, réparti sur la surface totale de contact correspondant à 1,380 millimètres donne une résistance de 5 kgs 2 par millimètre carré.

TROISIÈME SÉANCE DU 30 JUIN 1916

consacrée aux essais de traction sur collets brasés.

Jusqu'ici, les essais de traction sur collets brasés ont toujours amené la rupture ou la déchirure du tube.

Nous avons, cette fois, brasé six collets sur des tubes présentant une épaisseur de 6 1/2 millimètres (diamètre extérieur : 95 milli-

mètres, diamètre intérieur : 82 millimètres) et ramenés à l'épaisseur de 4 millimètres à l'extrémité portant le collet, par tournage (fig. 21).

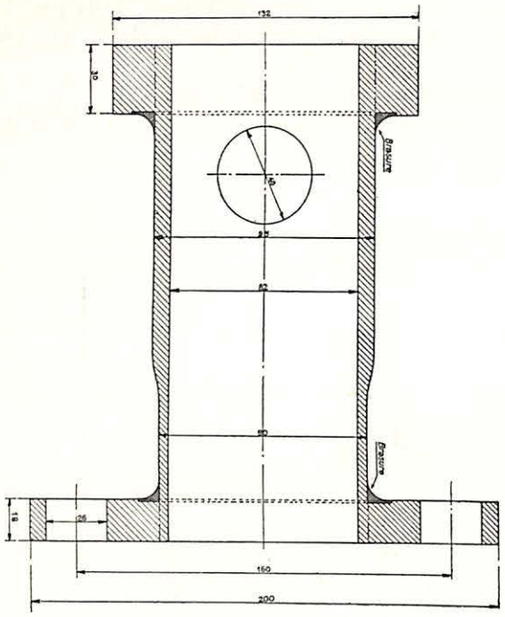


Fig. 21. — *Eprouvette pour les essais nos 40 à 45.*

Dans ces conditions, la résistance du tube est considérablement renforcée. A l'endroit du brasage, les choses restent telles qu'elles étaient précédemment. Nous avons, de plus, renforcé la résistance du tube par une bague brasée, comme dans la deuxième série d'essais.

N° 40. — *Marque : I. — Traction. — Brasé.*

L'effort de traction monte à 42,150 kilos.

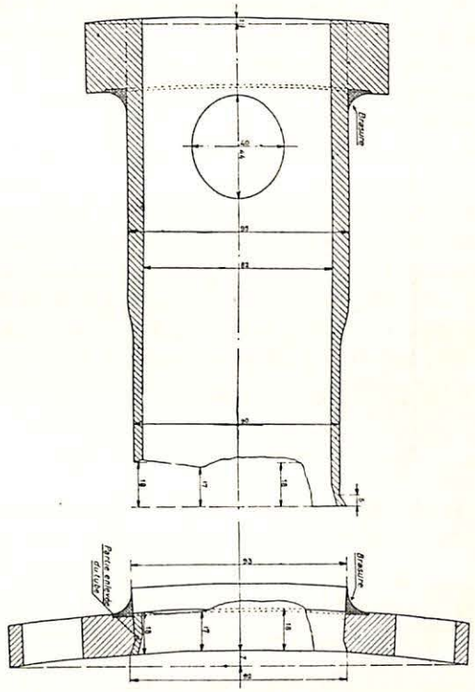


Fig. 22. — Essai N° 40.
Cassure du tube dans l'assemblage.

Le tube se casse à l'intérieur du collet à mi-hauteur de celui-ci et sur environ les trois quarts de la circonférence du tube (fig. 22).

N° 41. — *Marque : II.* — *Traction.* — *Brasé.*

Effort de rupture : 45,600 kilos.

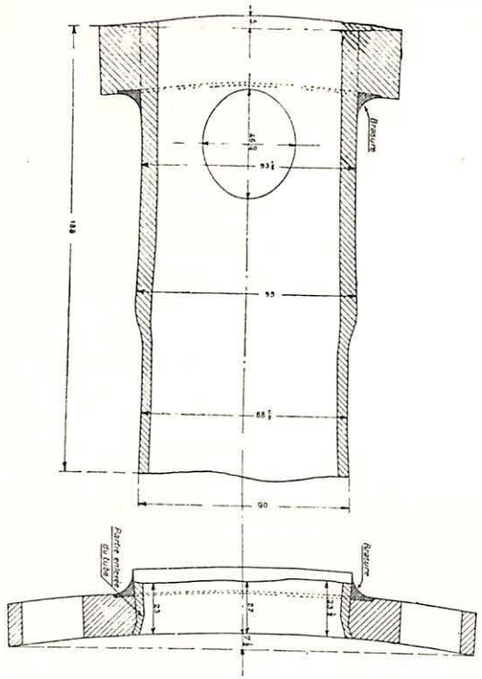


Fig. 23. — Essai n° 41.
Cassure du tube dans l'assemblage.

Le tube se casse à l'intérieur du collet aux trois quarts de sa hauteur sur toute sa circonférence (fig. 23).

N° 42. — *Marque : III.* — *Traction.* — *Brasé.*

Effort de rupture : 41,150 kilos.

Cette fois, il ne se produit pas de rupture proprement dite, mais un décollement du collet. Ce décollement se fait en deux fois, c'est-à-dire que le collet commence à céder en un point de sa circonférence, puis il cède définitivement sous l'effort en question.

L'examen des surfaces séparées révèle qu'il y a eu, en plusieurs endroits, un arrachement de l'acier.

N° 43. — *Marque : IV.* — *Traction.* — *Brasé.*

Cet essai donne 34,050 kilos, mais il n'est pas concluant en ce sens que les deux collets assemblés n'ont pas été soumis à une traction bien perpendiculaire à leur plan d'assemblage. Les tractions inférieures et supérieures se sont exercées suivant un angle assez important atteignant environ 160 degrés et résultant de ce que les pattes destinées à être saisies par les machoires de la machine se sont cintrées par suite des efforts qu'elles ont subis dans les trois premiers essais.

Afin de remédier à cet inconvénient, nous faisons redresser ces pièces et les refroissons dans l'eau, mais l'opération conduite rapidement pour ne pas retarder les essais a pour résultat de tremper les pattes et de nous donner des surfaces dans lesquelles les mâchoires ne parviennent plus à mordre et nous n'obtenons plus, malgré toutes les précautions, un serrage suffisant. Les pinces glissent et nous forcent à suspendre les essais sur les échantillons marqués V et VI.

—

Le 7 juillet 1916. — Nous avons procédé officieusement à la rupture des essais marqués V et VI avec de nouvelles pattes recuites et des mâchoires trempées.

N° 44. — *Marque : V.* — *Traction.* — *Brasé.*

L'essai n° V a donné 38,200 kilos. Des arrachements de métal sont visibles et la brasure en deux endroits s'est cassée, les deux parties restant collées sur le tube d'une part et sur le collet de l'autre, ce qui démontre que l'adhérence à l'acier est au moins égale à la résistance de la brasure elle-même.

N° 45. — *Marque : VI.* — *Traction.* — *Brasé.*

L'essai n° VI est monté à 41,200 kilos. A ce moment, la patte de la broche supérieure s'est allongée progressivement et s'est rompue (fig. 24).

L'examen de la bride brasée ne révèle *aucun commencement* d'arrachement. Le collet est seulement légèrement voilé. Nous

n'avons pas poursuivi l'essai au moyen d'une nouvelle pince, estimant qu'il était plus intéressant de conserver l'échantillon tel quel,

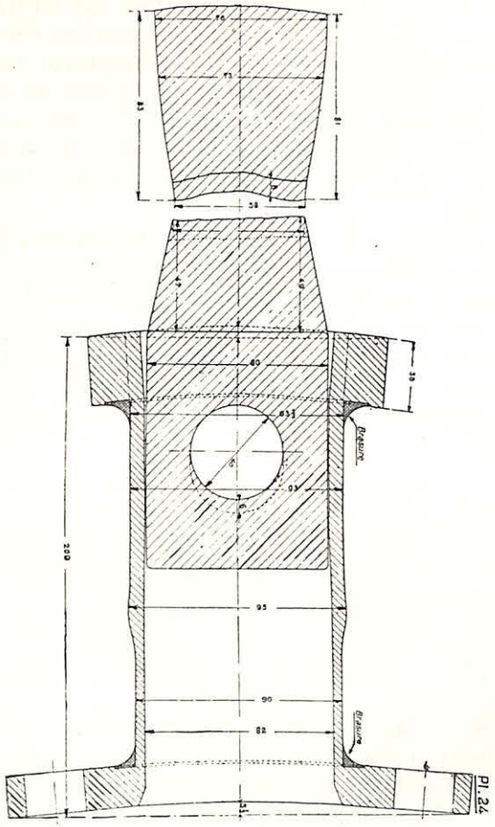


Fig 24 — Essai no 45.
Rupture de la patte supérieure.

attendu que sa résistance de 41,200 kilos était suffisamment concluante pour qu'il fût inutile d'aller jusqu'à la rupture complète.

Le Directeur technique,
F. De Jaer.

Examen micrographique d'un collet brasé.

La série d'essais a été clôturée par une visite au laboratoire de métallographie de la Société anonyme d'Ougrée-Marihaye, qui s'est offerte obligeamment à préparer quelques coupes dans un collet brasé et à les examiner au point de vue micrographique.

Elle a bien voulu nous adresser des photographies de ces coupes, accompagnées d'un rapport que nous reproduisons ci-dessous presqu'en entier :

«... Quatre cas peuvent se présenter : (+) [1]

» 1° La soudure n'est qu'un simple collage des métaux, acier sur » cuivre, et la résistance à la séparation des collets du tuyau n'est » due qu'à l'adhérence des surfaces en contact et du frottement des » surfaces.

» Evidemment c'est le cas qui offre le plus d'aléas.

» Les surfaces des métaux ne sont jamais parfaitement propres et » les oxydes peuvent former avec ces impuretés, une pellicule de » scorie, ou des globules de scories, qui s'interposent entre les sur- » faces et empêchent une adhérence parfaite, de plus il pourrait y » avoir décollement pour différentes raisons (variation de tempéra- » ture, chocs, etc.) ;

» 2° Il y a dans la soudure une interpénétration des deux métaux ; » c'est à-dire que le cuivre pénètre dans l'acier qui l'enveloppe et » réciproquement l'acier a des pénétrations dans le cuivre (fig. 1).

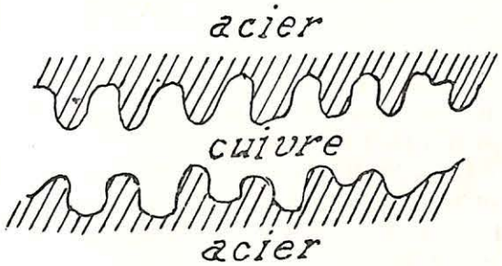


Fig. 1.

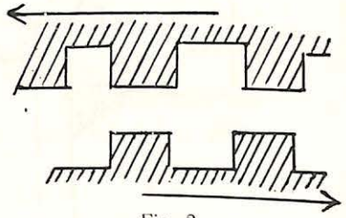


Fig. 2.

» Ce mode d'adhérence est déjà beaucoup supérieur au premier, » car d'abord les surfaces de contact sont considérablement multi- » pliées et ensuite la résistance de frottement est remplacée par la » somme des résistances des interpénétrations (fig. 2) ;

» 3° Un autre cas possible serait la mixtion entre les deux métaux

[1] (+) Il s agit de la conformation interne de la soudure.

» en contact avec formation d'un alliage Cu-Fe intermédiaire.

» Dans ce cas la délimitation des métaux ne serait pas nette, nous » aurions successivement :

» L'acier, puis une zone d'un alliage Cu-Fe de plus en plus riche » en Cu, puis du Cu, ensuite de nouveau l'alliage Cu-Fe de plus » en plus pauvre en Cu et finalement de nouveau l'acier.

» Il faudrait dans ce cas une température de soudage assez élevée » pour ramollir et même fondre les éléments en présence. Le Cu » fond à 1,080° et l'acier se ramollit vers 1,300-1,400°.

» Nous ne savons pas si on atteint ces températures dans le bra- » sage, cependant il est très probable que ces deux métaux, comme » beaucoup d'autres se mélangent avant leur fusion complète, — ce » qui explique l'apparition de ce phénomène dans la brasure.

» Les alliages Fer-Cuivre, n'ont guère été étudiés jusqu'à l'heure » actuelle et les données sont rares sur ce sujet ;

» 4° Enfin le dernier cas, serait le contact intime avec mélange » des deux aciers en contact et expulsion du cuivre par pression. Ce » serait évidemment le mode de soudage le plus robuste et qui » offrirait le plus de garanties. Seulement, il exige une très haute » température.

» L'examen des différentes soudures nous a révélé les métaux en » présence, Fer et Cuivre, dans les quatre stades que nous venons » d'observer. Nous avons épinglé par ci, par là, quelques cas inté- » ressants et qui nous montrent clairement les différents degrés de » soudage ».

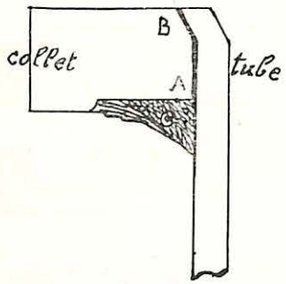


Fig. 3.

La planche I nous représente une longueur de 4,4 m/m de soudure vue sous un grossissement de 125 fois à partir du point *A* (de droite à gauche) (fig. 3).

La planche II donne une autre soudure au même grossissement, mais sur une longueur double (8,8 m/m) et à partir du point *B* (fig. 3).

De l'examen de ces micrographies, il appert :

« 1° Que l'épaisseur de la soudure est » très faible, en général de 0,16 m/m à 0,024 m/m ;

» 2° La bande de cuivre n'est pas absolument régulière, on » constate des gondolements et même en certains points, de petites » boursouflures.

» Ceci prouverait, qu'il y a eu ramollissement des métaux en » présence, et par conséquent, déformations de leurs surfaces sous » l'action de la pression.

» Une petite remarque qui vient confirmer ce fait, c'est que ces » petites boursouflures sont surtout du côté du collet où le métal est » plus riche en carbone et a par conséquent un point de fusion » plus bas ;

» 3° Tout le long de la ligne séparatrice du cuivre et de l'acier, » on remarque comme des gouttelettes prêtes à se détacher de la » masse-mère pour se noyer dans l'autre métal et ceci se produit » réciproquement d'un métal dans l'autre.

» Il y a très peu d'endroits où ne se rencontrent de ces interpéné- » trations qu'on voit très bien dans les planches III, IV, V, VI, VII » et VIII.

» Comme précédemment, ces interpénétrations sont toujours plus » nombreuses et surtout plus profondes du côté du collet (métal » plus dur) ;

» 4° Dans de nombreuses places, on voit des gouttelettes détachées » de l'acier, former des îlots séparés au sein du cuivre (pl. III-IV) ;

» 5° Il est des endroits où la séparation entre cuivre et acier est » peu nette et vus sous un fort grossissement, nous constatons la » soudure complète acier sur acier, avec expulsion de cuivre en » gouttelettes isolées, il n'existe plus par place, de séparation entre » le collet et le tuyau (pl. VII et VIII) ;

» 6° Enfin, mais ceci est plus rare, nous avons trouvé quelques » cas où la zone intermédiaire n'était pas du cuivre, les attaques à » l'acide ne marquaient ni cuivre ni fer, peut-être est-ce un alliage » Cu-Fe. Il faudrait une étude plus approfondie pour se prononcer » (pl. VI).

» De cet examen, nous concluons :

» Qu'en général la soudure se fait par des interpénétrations très » prononcées, qui vont même en de nombreux endroits jusqu'au » contact des deux aciers.

» Il est très peu d'endroits où il n'existe que le simple contact de » surfaces planes et encore ne les trouve-t-on que dans la région *C* » de la soudure (fig. 3), là où il y a eu peu ou pas de pression.

» Donc la résistance au décollement de la soudure sera à peu près » égale à la résistance à la traction du cuivre interposé et nous » pensons qu'un chauffage très régulier et plus fort peut encore » améliorer la brasure dans de notables proportions ».

CHAPITRE II. — Discussion des résultats et conclusions.

Il ne peut être question de tirer des conclusions formelles d'un si petit nombre d'essais qui constituent plutôt des tâtonnements que des expériences précises. Quoi qu'il en soit, il est permis cependant de se faire une idée déjà assez nette de la valeur relative des deux modes d'assemblage.

Afin de mieux faire ressortir les résultats acquis, nous les disposerons sous forme de tableau, dressés de manière à pouvoir les traduire en diagrammes. Dans ce but, nous supposerons que chaque essai se subdivise en trois phases :

1° Phase de résistance parfaite ;
2° Phase d'ébranlement ;
3° Phase de dislocation.

La phase de résistance sera celle où aucune modification apparente de l'assemblage ne se manifeste.

La phase d'ébranlement s'étendra de la première modification apparente au premier déplacement du collet sur le tube.

La phase de dislocation s'étendra du premier déplacement du collet sur le tube à l'arrachement ou au décollement total correspondant à l'arrachement.

I. — Essais au choc central.

Date	Numéro	Marque		Résistance de	Résistance à	Ebranlement de	Ebranlement à	Dislocation de	Dislocation à	OBSERVATIONS
5 mai	1	I-A	Mdné	1	5	6	60	61	?	Arrêté après 90 coups. Glissement du tube dans l'étau.
—	2	I-B	»	1	—	—	5	6	39	
—	3	I-C	»	1	—	—	15	16	?	Arrêté après 40 coups. Glissement du collet de contre-choc.

I. — Essais au choc central (*suite*).

Date	Numéro	Marque		Résistance de	Résistance à	Ebranlement de	Ebranlement à	Dislocation de	Dislocation à	OBSERVATIONS
5 mai	4	I-D	Brasé	1	5	6	?	—		Arrêté à 110 coups. Collet de contre-choc se décolle.
—	5	I-E	»	1	10	11	130	—	131	
—	6	I-F	»	1	?	—		—		Arrêté après 15 coups Collet de contre-choc se décolle.
19 mai	21	A	Mdné	1	6	7	25	26	47	
—	22	B	»	1	5	6	—	—	?	Arrêté après 200 coups. La dislocation paraissant complète
19 mai	23	C	Mdné non rivé	1	—	—	5	6	41	
—	24	C	»	1	—	—	5	6	18	
19 mai	25	D	Brasé	1	125	126	?	—		Arrêté à 250 coups. Le collet ne révélant aucune modification.
—	26	E	»	1	?	—		—		Idem.
—	27	F	»	1	65	66	250	251	421	

II. — Essais au choc latéral.

Date	Numéro	Marque		Résistance de	Résistance à	Ebranlement de	Ebranlement à	Dislocation de	Dislocation à	OBSERVATIONS
5 mai	7	II-C	Mdn	1	—	2	24	25	35	
—	8	II-H	»	1	—	2	4	5	17	
—	9	II-I	»	1	—	2	3	4	19	
5 mai	10	II-J	Brs	1	30	31	35	36	44	
—	11	II-K	»	1	35	36	80	—		Arrêté après 80 coups Rien sur la face.
—	12	II-L	»	1	8	9	30	31	—	Arrêté après 40 coups. Un demi-collet intact.

III. — Essais a la rupture. — Traction directe.

Date	Numéro	Marque		Rupture ou arrachement	OBSERVATIONS
5 mai	15	V-S	Mandriné	10,000	Douteux. Tube intact.
—	16	V-T	»	?	Fausse manœuvre. Tube intact.
—	17	V-U	»	18,340	Douteux. Tube intact.
—	18	V-V	Brasé	28,220	Collet intact. Tube déchiré.
—	19	V-W	»	25,100	Idem.
—	20	V-X	»	24,940	Idem.
19 mai	28	1	Mdné-non rivé	37,200	Tube et bague de renforcement déchirés Commencement de déboîtement du collet.
—	29	3	»	41,050	
—	30	4	Mandriné	37,400	
—	31	5	»	43,400	Tube cassé. Collet encore bien serti.
—	32	6	»	34,800	
—	33	7	Brasé	26,100	Tube cassé.
—	34	8	»	32,200	Idem.
—	35	9	»	28,500	Idem.
—	36	10	»	32,400	Idem.
—	37	13	Simplem. rivé	12,500	A titre d'indication sur la valeur de la rivure
—	38	14	»	16,700	Idem.
—	39	15	»	17,100	Idem.

III. — Essais a la rupture. — Traction directe *(suite)*.

Date	Numéro	Marque		Rupture ou arrachement	OBSERVATIONS
30 juin	40	I	Brasé	42,150	Tube cassé dans le collet.
—	41	II	»	45,600	Idem.
—	42	III	»	41,150	Décollement du collet. Sans cassure.
—	43	IV	»	34,050	Faussé par obliquité des efforts de traction.
7 juillet	44	V	»	38,200	Décollement du collet.
—	45	VI	»	41,200	Pince de serrage cassée. Pas de modification du collet.

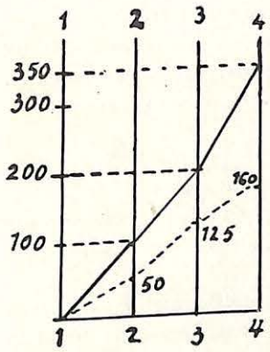
DIAGRAMMES

Nous traduisons ces résultats en diagrammes, comme suit :

Diagrammes I et II.

Nous portons en abscisses trois longueurs quelconques égales.

A leurs extrémités, nous élevons des verticales 1, 2, 3, 4. Nous avons ainsi tracé trois bandes verticales, trois zônes, qui sont censées figurer les phases de résistance 1, 2, d'ébranlement 2, 3, et de dislocation 3, 4.

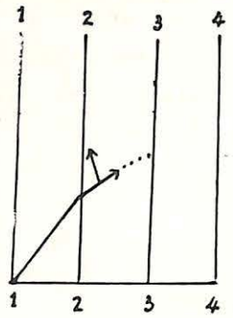


En ordonnées, nous portons, sur ces verticales des longueurs représentant le nombre de coups appliqués pour obtenir une modification apparente de l'assemblage (commencement de l'ébranlement-verticale 2) ou un déplacement du collet sur le tube (commencement de dislocation-verticale 3) ou l'arrachement (fin de l'essai-verticale 4).

Si, par exemple, le collet supporte 100 coups avant d'être « *ébranlé* », nous retracerons la droite 0, 100 dans la phase « *résistance* », entre les verticales 1, 2.

De même, si, pour passer de l'ébranlement à la dislocation, il faut appliquer 100 nouveaux coups, de 101 à 200, nous tracerons la droite 101, 200 (ou mieux 100-200 pour assurer la continuité du diagramme) dans la phase « ébranlement ». Enfin, si, pour aller à l'arrachement, il faut donner 350 coups, nous obtiendrons le diagramme total 0, 100, 200, 350.

Il va de soi que plus un diagramme se relèvera, plus la résistance du collet à l'arrachement final sera grande. Ainsi le diagramme 0, 100, 200, 350 est évidemment plus favorable que le diagramme 0, 50, 125, 160.



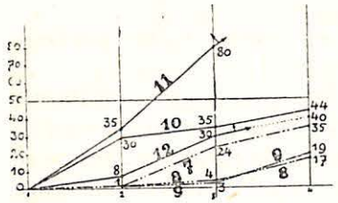
Lorsque nous n'aurons pas obtenu de résultat dans une phase déterminée, ou que nous n'aurons pas poussé l'essai jusqu'à obtenir de résultat, nous indiquerons, par une ligne *en pointillé*, le point (c'est-à-dire le nombre de coups) vers lequel l'essai tendait ou auquel il est arrivé, en ayant soin, au moyen d'une petite flèche dirigée vers la gauche, d'attirer l'attention sur l'incertitude du résultat, qui devait être supérieur, ce qui aurait déplacé la ligne en pointillé vers la gauche, dans le sens de la flèche.

Diagramme III.

Nous portons en ordonnées les efforts de rupture constatés, en accompagnant d'un point d'interrogation les résultats douteux et en prolongeant d'une flèche verticale les ordonnées correspondant aux efforts qui ont amené une rupture, *autre part qu'à l'assemblage*. Dans ce cas, ce dernier était capable d'une résistance supérieure.

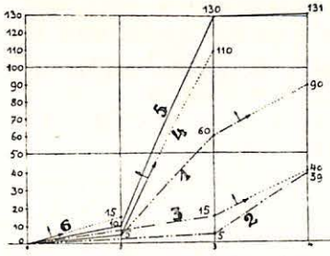
Nous remarquons que dans les diagrammes I et II, les tracés correspondant aux collets brasés sont partout plus favorables que ceux correspondant aux collets mandrinés, aussi bien dans les tracés incertains que dans les tracés définitifs.

La différence en faveur des collets brasés du diagramme I est particulièrement marquée dans les essais du 19 mai, alors que toute la puissance du coup de marteau a pu être absorbée par l'assemblage,

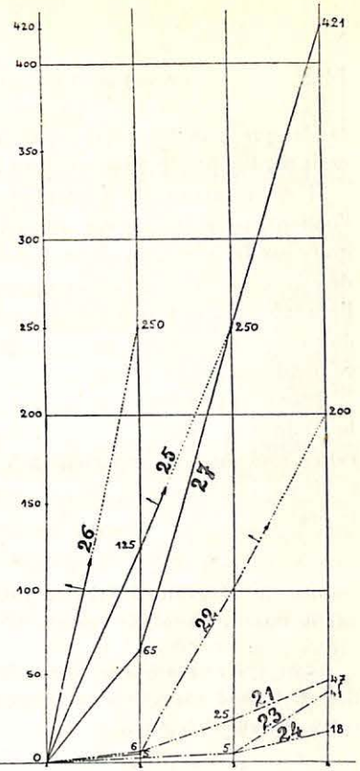


5 mai 1916

Diag. II. — CHOC LATERAL.

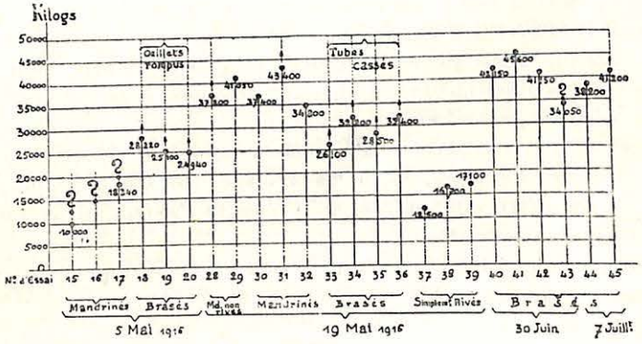


5 mai 1916



19 mai 1916

Diag. I. — CHOC CENTRAL.



Diag. III. — TRACTION DIRECTE.

LÉGENDE :

——— Collets brasés.

—·—·— Collets mandrinés.

Les numéros en caractères gras sont ceux des essais correspondants.

tandis que, lors des premiers essais, une partie de cette puissance était perdue par le glissement du tube dans l'étau.

Il est remarquable surtout que, bien que les essais du 19 mai donnent, pour les collets mandrinés, des résultats plus favorables que ceux du 5 mai, au point de vue de la dislocation finale, le nombre de coups qui amène l'ébranlement est en moyenne de 1 à 5. Donc l'ébranlement se produit dès les premiers chocs, et cette circonstance doit être sérieusement notée au point de vue de l'étanchéité. Nous reviendrons sur ce point.

Quant aux collets brasés, le total de dislocation est très élevé, et le nombre de coups amenant l'ébranlement, quoique fort variable, est en tout cas bien supérieur à 5.

Même remarque en ce qui concerne le diagramme II. (Choc latéral.)

* * *

Dans le diagramme III (traction directe), les résultats sont favorables aussi aux collets brasés.

Nous remarquons que les collets mandrinés essayés le 19 mai donnent sans exception des résultats autrement considérables que ceux essayés le 5 mai.

* * *

D'une façon générale, les collets mandrinés essayés le 19 mai ont donné de meilleurs résultats que ceux essayés le 5 mai, au choc central, mais surtout à la traction directe. Cela provient du fait que les collets essayés le 5 mai ont été mandrinés sur des tubes provenant de magasin, tandis que les deuxièmes, essayés le 19 mai, l'ont été sur des tubes exactement identiques aux premiers, *mais dont l'extrémité avait été préalablement recuite* (1).

Ceci est une constatation extrêmement importante et qu'on pouvait prévoir, d'ailleurs, car le mandrinage étant une opération qui déplace du métal, il est évident qu'il réussira d'autant mieux que le métal est plus malléable.

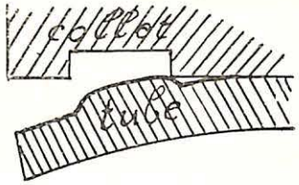
L'examen des échantillons, après essais, a montré qu'en concordance avec les résultats, les tubes non recuits (1) présentaient des

(1) N. B. — Il est indispensable, pour éviter tout malentendu, de faire remarquer que les tubes sont toujours recuits.

Il s'agit ici d'un recuit *supplémentaire* des extrémités du tube, sur une longueur de 10 à 20 centimètres.

saillies d'encastrement faiblement apparentes, tandis que dans les tubes recuits, elles étaient bien visibles.

Il est utile d'insister sur la forme de ces saillies. Les collets à mandriner portent ordinairement deux et même trois rainures, suivant leurs dimensions. Il nous a paru que la première saillie, celle de l'extrémité, était plus forte, mieux marquée que les suivantes, qui vont en s'affaiblissant. Ce n'est pas absolument général, mais nous l'avons constaté dans la plupart des cas. Il n'y a donc pas, à notre avis, grand intérêt à multiplier le nombre des rainures. De plus, nous l'avons déjà signalé au début de cette note, jamais la cavité de la rainure n'est remplie complèment par la saillie du tube. Lorsqu'il s'agit de tubes non recuits, les saillies sont peu apparentes, elles représentent des bourrelets arrondis, qu'il est parfois bien malaisé de délimiter et que le doigt perçoit à peine. Il n'est pas nécessaire d'exercer un grand effort pour détruire un tel assemblage. Les premiers essais du 5 mai l'ont du reste démontré. Sous l'action du choc ou de la traction, l'arête de la rainure glisse sur la faible convexité de la saillie et comme le collet a plus de résistance à l'expansion que le tube n'en a au rétrécissement, celui-ci fléchit sous la pression, se *retreint*, et le collet se dégage tout aisément.



Suivant que la saillie est plus ou moins forte, ce glissement du collet peut déterminer, ou un certain arrachement de la crête de la saillie, ce qui dénoterait déjà une fixation convenable, ou un grippement des surfaces en contact, mais il peut se faire aussi, et c'est le cas le plus fréquent, à frottement plus ou moins doux, *sans plus*.

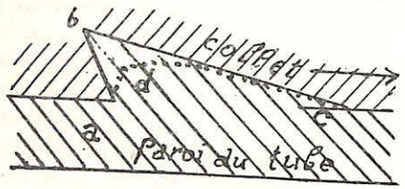
Lorsqu'il s'agit de tubes recuits, insistons, ... *bien* recuits, et en acier extra doux, c'est à dire lorsque les conditions de malléabilité sont les mieux remplies, la saillie, sans garnir complètement la rainure, est cependant mieux venue, elle est plus nette, et, dans *quelques cas* bien réussis, elle est alors ce que nous appellerons « *accrochante* ». Cela signifie que le métal est refoulé franchement et qu'il vient s'appliquer contre les parois latérales de la rainure, sur une faible hauteur, il est vrai, — quelques dixièmes de millimètres, — mais suffisante pour éviter le mouvement de glissement dont il vient d'être parlé. Tant que la saillie n'est pas accrochante, le glissement est possible, souvent alors avec arrachement ou grippe-

ment. Quant la saillie est *accrochante*, l'assemblage peut être considéré comme bon, au point de vue de la résistance, tout au moins.

Quel que soit, en tout cas, le degré de recuit du tube et la perfection du mandrinage, on ne peut jamais être certain que le tube sera *accroché* au collet. Les essais ont donné, sur 4 éprouvettes soumises au choc central et 5 éprouvettes soumises à la traction directe, soit sur 9 éprouvettes examinées le 19 mai, *deux* cas d'accrochage. Or, ces 9 éprouvettes avaient été préparées exactement dans les mêmes conditions sur des tubes identiques.

Il faut remarquer que l'action du mandrinage a précisément pour effet de produire une espèce de laminage à froid du tube, qui écrouit rapidement le métal et modifie ainsi ses propriétés — notamment sa malléabilité — pendant l'opération même. Nous avions espéré que si l'on rendait sa malléabilité à l'acier par un recuit, un nouveau mandrinage enfoncerait davantage le métal dans les rainures et finirait peut être par les remplir. Nous avons ainsi mandriné des tubes en trois reprises interrompues par deux recuits. Le résultat a été nul. La saillie était à peine plus accentuée que dans les tubes mandrinés en une passe ; par contre, le collet ayant été forcément recuit en même temps que le tube, les arêtes vives des rainures paraissaient adoucies, comme pourvues d'un léger arrondi, et l'action énergique du mandrin, répétée par trois fois, avait plutôt fait fluer le métal du tube entre le collet et le mandrin — et, résultat inatendu, le collet s'était lui-même expansé !

Nous avons cherché aussi à augmenter les chances d'accrochage en remplaçant les rainures rectangulaires par des rainures triangulaires, dont une face faiblement inclinée *bc* vers l'extrémité du tube et l'autre, à forte inclinaison *ab* dans le même sens. Nous espérions obtenir une saillie à parois latérale *ad* nettement verticale et bien accrochante. Le tube s'est comporté comme si la rainure était simplement rectangulaire. Bref, nos tentatives en vue de renforcer le mandrinage ou du moins d'assurer que la saillie fût accrochante n'ont donné aucun résultat sérieux.



En résumé, le mandrinage parfait remplissant la rainure est, pratiquement, et à notre connaissance du moins, impossible à réaliser. Le mandrinage sur tubes bien recuits *peut* donner de bons résultats

mais *sans garantie* et le mandrinage sur tubes non recuits, tels qu'ils sont fournis dans le commerce, donne des résultats plus qu'aléatoires.

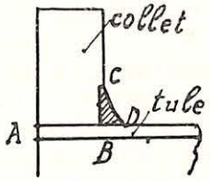
* * *

Etanchéité. — Nous n'avons envisagé jusqu'ici que la question de résistance de l'assemblage. Il y a lieu de se préoccuper encore de son étanchéité. Bien que les essais n'aient pas été étudiés dans ce sens, faute de la possibilité de monter une installation convenable, pendant l'occupation, il n'est pas présomptueux de déclarer à priori que, dès qu'il a subi un choc un peu violent, l'assemblage mandriné risque fort de donner lieu à des fuites. En effet, l'ébranlement décolle les parois du tube et du collet pressées l'une contre l'autre, comme on peut le constater sur la face du collet. D'autre part, si même il y a accrochage des saillies du tube dans les rainures, cet accrochage ne règne sans doute pas sur toute la périphérie, mais est localisé en certaines zônes où le métal du tube s'est mieux prêté à l'expansion, et il n'est pas improbable, qu'entre ces zônes, il existe des solutions de continuité, des fissures imperceptibles, mais suffisantes pour le passage du fluide — vapeur ou autre — qui circule dans la tuyauterie.

* * *

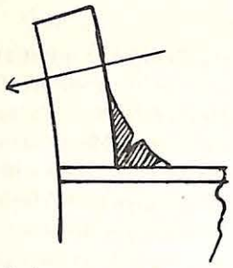
Nous avons vu que les collets mandrinés donnaient des résultats inférieurs aux collets brasés. Ceux-ci, dans tous les essais, se sont parfaitement comportés. Leur résistance a même dépassé nos prévisions.

Quant à l'étanchéité, nous remarquons que le collet brasé est bien près de sa dislocation, lorsque la brasure commence à se fissurer. En effet, nous pouvons distinguer deux zones de brasage, la première (AB) intéressant la partie du collet en contact avec le tube, qui, bien que fortement serrée contre le tube, ne l'est pas au point de ne pas laisser s'infiltrer de la brasure liquide, la deuxième (CBD) représentant les surfaces perpendiculaires du collet et du tube en liaison par l'intermédiaire de l'anneau de brasure de section triangulaire. Tant que la partie AB résiste au cisaillement, l'anneau ne fatigue pas.



Lorsque le collet commence à glisser sur le tube ou que, sans glisser, il a une tendance à fléchir, la brasure s'allonge ; ceci est très visible, notamment dans les essais au choc latéral, où une

partie du collet fléchit, entraînant avec lui la partie correspondante de l'anneau triangulaire.



C'est seulement lorsque cet allongement dépasse la limite d'élasticité, c'est-à-dire lorsque le collet s'est déformé à un point inadmissible en pratique, c'est-à-dire encore à la suite d'efforts exagérés et accidentels, que l'étanchéité pourrait commencer à être compromise par suite de fissures. Et l'on peut affirmer que, contrairement au collet mandriné, tant que le collet brasé maintient sa résistance, il maintient aussi l'étanchéité.

Nous devons donc admettre qu'un collet simplement bien brasé est au moins aussi résistant et sans doute beaucoup plus étanche que le collet le mieux mandriné.

* * *

Ce qui vient d'être exposé s'applique à des assemblages soigneusement exécutés par un personnel compétent. Comparons à ce sujet l'opération du brasage et celle du mandrinage.

Le brasage exige un outillage fixe comprenant au minimum :

1° Un foyer à coke (forge ronde) à vent soufflé ; un appareil de levage permettant de dresser le tube verticalement au-dessus du foyer et qui consiste habituellement en un treuil à main avec une poulie de renvoi suspendue en un point situé à une hauteur de 6 à 12 mètres; une meule actionnée, pour nettoyer la paroi du tube sur une longueur de quelques centimètres à l'endroit du collet et de la basure ; le tout dans un endroit couvert ;

2° Des matières premières : coke, brasure, borax, de qualité contrôlée ;

3° Du personnel : un bon ouvrier braseur, un aide.

Voilà donc une installation déjà relativement compliquée et nous la simplifions à dessein. En réalité, elle sera presque toujours complétée par un ou deux tours, pour préparer, avant brasage, les collets qui sont généralement achetés bruts, et pour tourner et dresser les assemblages après brasage, l'opération ayant parfois une tendance à voiler très légèrement le collet.

Tout ce matériel n'est pas ou guère déplaçable. Le brasage s'exécute donc *à l'atelier*, dans de bonnes conditions de travail et de surveillance, et il est confié à un spécialiste.

Remarquons de suite que, le nécessaire étant réuni, le brasage proprement dit se réduit à une opération de chauffe, qui exige une certaine habileté, un certain coup d'œil, *mais qui ne fatigue pas plus l'ouvrier pour être réussie que pour être ratée.* Elle se fait de la même façon, et pour une dimension donnée, elle exige sensiblement le même temps, quelle que soit la qualité de l'acier qui peut varier de l'extra doux au demi dur. Aucune cause externe, ni même interne n'intervient pour modifier le travail et troubler l'ouvrier.

Est-ce à dire qu'il exécutera toujours des brasures parfaites ? Nullement, il peut avoir une défaillance. — *Errare humanum est.* — Il peut chauffer trop peu sa brasure et soustraire l'assemblage à l'action du feu avant qu'elle n'ait pris, ou bien la chauffer trop fort, et la laisser couler dans le foyer. Mais le cas est exceptionnel et il y a encore de grandes chances pour qu'il s'en aperçoive, ou si pas lui, du moins l'ouvrier tourneur chargé de parachever l'anneau de brasure derrière le collet, ou même encore l'ouvrier qui monte la colonne de tuyaux, et qui, en serrant les boulons de l'assemblage, sentira le cédage du collet mal brasé, car un collet mal brasé ne tient pas, il rend même un son spécial quand on le frappe.

Les causes d'insuccès sont donc réduites à l'extrême limite, tant par suite des bonnes conditions d'installation que de la régularité du travail et de la spécialisation de l'ouvrier, et les indices de malfaçon assez nets pour que celle-ci ne passe pas inaperçue.

Quant au mandrinage, en principe, il réclame, en tout et pour tout, un étau pour serrer le tube et un appareil à mandriner *fort léger*. L'étau se trouve partout; l'appareil à mandriner se porte sous le bras. Point n'est besoin de treuil, ni de poulie, ni de forge à coke, ni de brasure, ni de borax, ni de tour, puisque les collets à mandriner sont fournis par le commerce tout prêts à être montés et que le mandrinage ne les déforme pas. Il s'ensuit donc une grande facilité, une grande liberté d'allure, qui, précisément, rend le mandrinage dangereux.

En atelier, il est vrai, *dans les mêmes bonnes conditions de surveillance et d'installation que le brasage*, on peut admettre que le mandrinage donne des résultats aussi convenables que possible. Les tubes seront *recuits* aux extrémités, avant de subir le travail d'expansion. Celui-ci pourra être exécuté mécaniquement, en faisant tourner le tube saisi dans les mâchoires d'un tour et en fixant le mandrin. Le

matériel sera de suite augmenté, comme on le voit, d'un four à recuire les bouts de tubes et d'un tour spécial pour tubes. Et, dans cette hypothèse même, nous savons que la formation des saillies sera encore fonction de la plus ou moins grande malléabilité de l'acier du tube, et qu'elles ne seront *accrochantes* que dans un nombre de cas limité.

Mais, si le travail se fait sur le chantier de montage, ce qui est praticable, du moment qu'il s'agit de mandrinage, les choses changent. D'abord, il n'y a presque plus de surveillance. Les ouvriers — généralement non spécialistes, — quelquefois des manœuvres, — tournent le mandrin à la main ; l'opération est fatigante, d'autant plus que le tube est plus dur, et, naturellement, les hommes qui en sont chargés ont une tendance à ne pas pousser l'expansion au degré voulu, par lassitude. De plus, inutile de dire que, dans ce cas, quatre-vingt-dix-neuf fois sur cent, les extrémités des tubes ne sont pas recuites, et que les saillies obtenues appartiennent à la catégorie de celles qui donnent lieu à un simple glissement du collet sur le tube, même sans grippement.

* * *

Cette brève étude, établie à la suite d'expériences assez sommaires, mais déjà bien édifiantes, appelle des conclusions.

A première vue, celles-ci paraissent devoir être favorables au collet brasé. Nous nous garderons bien, cependant, de nous prononcer de façon définitive et catégorique. Les expériences ont fait ressortir que les collets brasés avaient donné des résultats au moins équivalents à ceux des collets mandrinés, et nous pensons qu'elles ont été de nature à modifier le sentiment, pour ne pas dire la méfiance, que manifestaient à l'égard des collets brasés l'Association Vinçotte d'abord, et l'Administration des Mines ensuite.

La seule conclusion réelle qui s'impose, à notre avis, c'est que, *quel que soit le type d'assemblage adopté*, son exécution doit être confiée à un atelier bien outillé et sérieux, où le travail est en mains d'ouvriers spécialisés, contrôlés par un personnel technique compétent et consciencieux. Dans ces conditions, l'un et l'autre type donneront des résultats, si pas absolument garantis, du moins fort suffisants pour la plupart des applications industrielles ; car on pourrait se demander, en effet, comment il se fait que l'on ne constate pas plus d'accidents, eu égard au grand nombre de tuyauteries en service dans toutes les industries, et assemblées sans contrôle.

Un calcul simple indiquera que cela provient vraisemblablement de ce que les assemblages, même peu résistants, travaillent en général avec un coefficient de sécurité très large.

Ainsi, dans le cas des tubes de 90 millimètres de diamètre extérieur, 82 millimètres de diamètre intérieur, qui ont servi aux essais, la surface de la section mesurée intérieurement au tube étant de 52,8 c^2, il s'ensuit que l'arrachement du collet mandriné sur tube non recuit (essais n°s 15, 16, 17), qui s'est fait probablement vers 15,000 kilogrammes, correspondrait à une pression intérieure de $\frac{15,000}{52,8} = 285$ atmosphères.

Or, jamais il ne viendrait à l'idée d'adopter l'assemblage en question dans des tuyauteries marchant à plus d'une vingtaine d'atmosphères de pression normale. Le coefficient de sécurité serait donc ici de $\frac{285}{20} = 14.25$.

En calculant les pressions non pas d'après la section intérieure du tube, mais, cas extrême, d'après la surface du cercle tangent aux trous de boulons ($D = 16,0^c - 2^c,6 = 13^c,4$) soit 141^{c2}, on trouverait que l'arrachement de 15.000 kilogrammes correspondrait à une pression intérieure de $\frac{15,000}{141} = 106$ atmosphères et que marchant à 20 atmosphères, le coefficient de sécurité serait encore de $\frac{106}{20} = 5,3$.

Il serait imprudent, cependant, de se fier à ces coefficients et d'admettre que les assemblages sont, en tout cas, assez résistants, car, rien ne nous permet de garantir que ce chiffre de 15,000 kilogrammes sera atteint chaque fois, l'incertitude règne sur la résistance de l'assemblage ; nous ne sommes — pour employer une expression familière, mais qui dépeint la situation — « *ni dans le mandrinage, ni dans la brasure* ». Il faut encore prévoir les coups de bélier, les efforts répétés de dilatation et de contraction, les efforts dus à des irrégularités de montage, etc. D'une part, l'assemblage peut devoir résister à des efforts plus considérables que ceux prévus et, d'autre part, sa résistance peut être bien inférieure à celle sur laquelle on comptait.

Il faut donc, tout en s'en rapportant au hasard, mettre le plus de chances de son côté, en donnant la préférence, pour la confection de

l'assemblage, à une main-d'œuvre qui saura le réaliser dans les meilleures conditions.

* * *

Mais alors, demandera-t-on, quels assemblages emploierons-nous lorsque la sécurité est de rigueur ? lorsqu'il s'agira de colonnes soumises à des fatigues sérieuses ou qui pourraient présenter du danger en cas de rupture, telle que les conduites de vapeur à haute pression ?

Nous aurons deux cas à considérer, celui de tubes peu épais et celui de tubes suffisamment épais pour supporter le filetage.

Pour des tuyauteries d'épaisseur faible, en-dessous de 4 millimètres, par exemple, nous combinerons le mandrinage et le brasage. Le collet — ou mieux *la bague* — sera muni d'une rainure, le tube sera bien mandriné, puis rivé, et enfin on brasera.

Pour des tuyauteries d'épaisseur au moins égale à 4 millimètres, au lieu de mandrinage, on emploiera le filetage, — qui peut, en somme, être considéré comme un mandrinage parfait, — plus le brasage.

L'objection à ce dernier mode d'assemblage présenté par l'Association Vinçotte (rapport 1911-1912, pages 33, 34) est que « *par suite de l'irrégularité d'épaisseur et du manque de cylindricité des tuyaux, par suite de leur montage défectueux sur le tour et de leur faible épaisseur, il arrive bien souvent que, sur une partie plus ou moins grande de la circonférence, il ne reste plus de métal au creux du filet* ».

Ces observations sont très judicieuses. Cependant, remarquons que l'irrégularité d'épaisseur ne peut, dans une fabrication normale, dépasser 15 % de l'épaisseur nominale. Pour un tube de 4 millimètres, — cas de nos tubes d'essai, — celle-ci varierait donc entre 3,4 et 4,6. Ces chiffres sont des *extrêmes*.

Le filetage, ordinairement à 11 filets par pouce, d'une profondeur de $1^{m}/^{m}5$, laisserait à fond de filet une épaisseur variant entre les chiffres — extrêmes aussi — de $1^{m}/^{m}9$ et $3^{m}/1$, en moyenne $2^{m}/5$, et la résistance à la rupture par traction donnerait, pour une section de 660 $^{m}/^{m2}$ utile mesurée à fond du filet, un effort total de 660 × 40 = 26,400 kilogrammes qui assureraient, pour une pression de marche de 20 atmosphères, un coefficient de sécurité de plus de 9, basé sur *des données précises*. Nous insistons sur ces termes « données précises ». Ici, en effet, il n'y a plus d'aléas. Nous

connaissons les dimensions du tube, son épaisseur, et nous savons que les filetages du tube et du collet se sont pénétrés réciproquement comme ne pourraient le faire les saillies et les rainures de l'assemblage le mieux mandriné. En réalité, ce coefficient 9 serait dépassé par suite du renforcement dû au brasage.

D'autre part, en ce qui concerne la cylindricité, dans tout atelier qui se respecte, le tube à fileter est d'abord *remoulé*, c'est-à-dire qu'après avoir réchauffé les extrémités sur une longueur de 20 à 30 centimètres, on les passe dans une matrice en deux pièces, *exactement cylindrique*, qui corrige l'ovalisation éventuelle. Le filetage est ensuite confié à de bons ouvriers tourneurs travaillant au moyen de tours spéciaux, qui permettent de centrer le tube de façon précise. Le travail est ainsi presque mathématiquement parfait.

D'ailleurs, si la diminution d'épaisseur à fond du filet peut donner lieu à des inquiétudes, il existe un moyen radical de les supprimer : il suffit de renforcer de $1^{m}/^{m}5$ l'épaisseur de l'extrémité du tube sur une longueur correspondant à la partie filetée de l'assemblage. Ce renforcement, ou *refoulement, exécuté à la presse hydraulique*, compense la diminution de résistance due au filetage ; il donne lieu, naturellement, à une légère augmentation des frais, mais il procure toute sécurité.

Cette courte digression, par laquelle nous terminons, porte encore en elle sa conclusion, *toujours la même :*

Le travail sera bon, s'il est bien fait, et, pour bien le faire, il faut être outillé en conséquence, avoir l'expérience et ne pas ménager ses soins et son attention.

Ceci est vrai pour tous les genres de travaux, mais spécialement en matière d'assemblages de tuyauteries.

F. D.
1919.

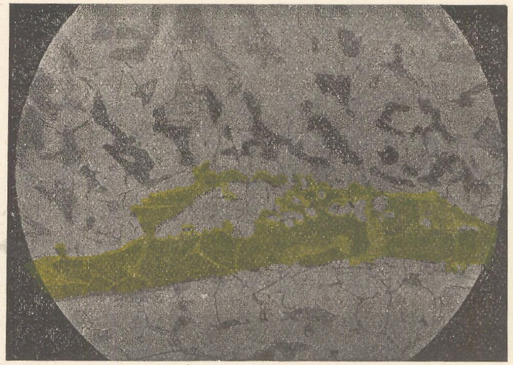


Planche III.
G = 500 X.

Planche IV.
G = 500 X.
Extrait de la Micro 732. Pl. II.

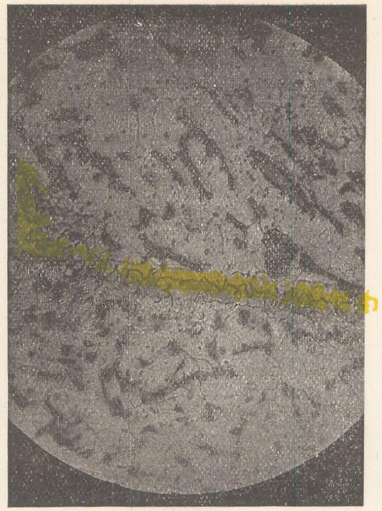


Planche V.
G. = 500 X

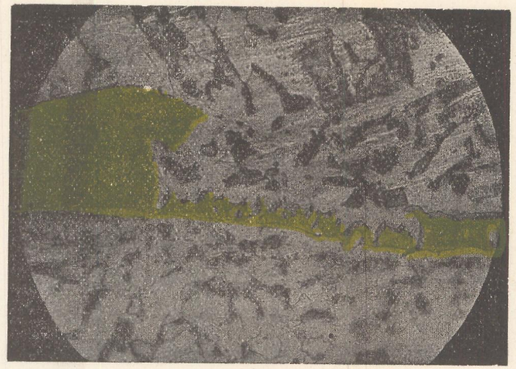


Planche VI.
G = 500 X.
Extrait de la Micro 729. Pl. II.

Planche VII.
G = 500 X.

Planche VIII.
G = 500 X.
Extrait de la Micro 728. Pl. II.

Planche IX.
G = 500 X.
Extrait des Micros 716-717. Pl. II.

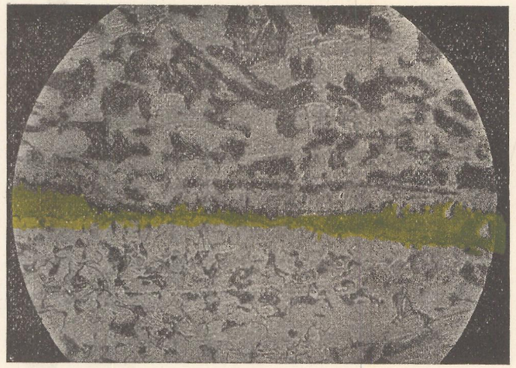
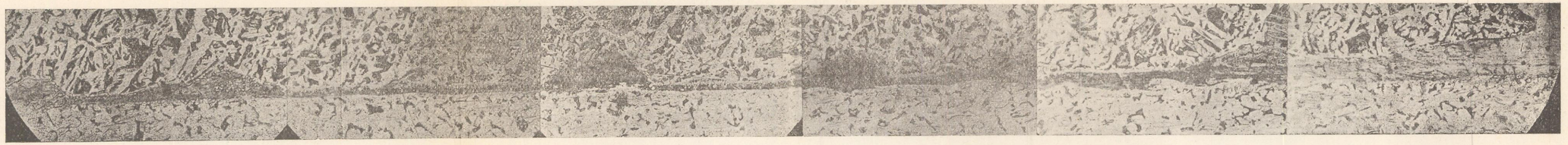


Planche X.
G = 500 X.
Extrait des Micros 733-734. Pl. II.



715 714 713 712 711 710

N° 1034

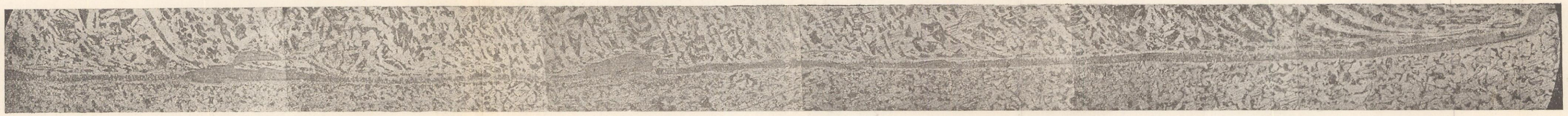
Micro : 710, 711, 712, 713, 714, 715

G = 125 X

PLANCHE I

Pl. VIII, Gross. 500 X

Pl. IX, Gross. 500 X



728 727 719 718 717 716

Pl. X, Gross. 500 X

Pl. IV, Gross. 500 X

Pl. VI, Gross. 500 X

734 733 732 731 730 729

N° 1037

Micro : 716, 717, 718, 719, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 734

G = 125 X

PLANCHE II