

**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht

**Band:** 2 (1936)

**Artikel:** Méthodes d'essai à l'atelier et sur le chantier

**Autor:** Pinczon, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-2937>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## III c 2

### Méthodes d'essai à l'atelier et sur le chantier.

### Prüfungsmethoden im Werk und auf der Baustelle.

### Testing Methods in Workshop and ad Site.

M. Pinczon,

Ingénieur en Chef Conseil, des Chantiers et Ateliers de Saint Nazaire.

Le Laboratoire d'essais mécaniques adjoint à l'atelier de soudure du *Chantier de Penhoët* n'a pas été créé dans le but de faire des recherches théoriques sur la soudure par fusion. Son rôle est d'assurer un contrôle scientifique, aussi méthodique et aussi constant que possible, des travaux de toute nature exécutés dans cet atelier.

Ces travaux sont d'ailleurs, pour la très grande majorité, des travaux de soudure à l'arc et c'est de cette catégorie particulière de la soudure par fusion qu'il sera exclusivement question dans ce rapport. Nous ne parlerons donc ni de la soudure par résistance, ni de la soudure par points, qui ont cependant quelque intérêt pour la construction métallique; nous laisserons également de côté la soudure par fusion au chalumeau dont les applications sont encore limitées dans notre Chantier.

Celui-ci est, pensons nous, suffisamment connu, puisque c'est de lui, en particulier, qu'est sorti le paquebot «*Normandie*». Nous nous bornerons donc à rappeler qu'on y construit à la fois des coques de navires, des machines à vapeur ou à combustion interne, des chaudières marines ou terrestres; on peut ainsi se rendre compte des applications nombreuses et variées qui s'y présentent pour la soudure à l'arc; celle-ci tend à remplacer de plus en plus le rivetage pour l'assemblage des tôles et des profilés et la fonderie pour certaines pièces mécaniques.

Laissons de côté ce dernier mode d'emploi et bornons-nous aux joints soudés dans les constructions métalliques.

L'utilisation de la soudure à l'arc, au lieu du rivetage, n'a pas changé la nature des conditions que doit réaliser un assemblage, dans une construction métallique, pour en assurer la stabilité sous charge; il faut toujours la réunion d'un tracé judicieux des pièces et de leurs assemblages, d'un choix convenable des matériaux et d'une mise en oeuvre adéquate.

Le tracé relève surtout de la technique pure. Nous retiendrons seulement ce qui concerne le choix des matériaux et la mise en oeuvre.

C'est pour l'étude de ces deux questions qu'il a été jugé utile d'installer un

laboratoire d'essais mécaniques et nous nous proposons d'exposer la méthode de contrôle employée par nous et les résultats d'expérience que nous en avons tirés.

### 1<sup>o</sup> — *Le métal de base*

Dans un assemblage soudé, on distingue le métal de base et le métal d'apport. Nous parlerons d'abord du premier. Le choix des qualités mécaniques qu'il doit posséder n'est pas déterminé par des considérations relatives à la soudure; mais il n'en est pas de même de sa composition chimique; l'influence de celle-ci sur les qualités de la soudure et même sur la possibilité de son exécution n'est pas contestable.

Il y a, en effet, des aciers soudables et des aciers non soudables. Il ne suffit d'ailleurs pas de poser les termes de cette classification; on doit en définir le sens; il faut, en outre, instituer une méthode d'essai qui permette de classer un acier donné dans l'une ou l'autre des catégories.

Qu'est-ce donc qu'un acier soudable? Avant de donner la réponse à cette question, rappelons que, dans toute soudure, on distingue trois zones différentes: au centre, le métal d'apport; aux bords, le métal de base, et, entre les deux, une zone de faible étendue, qu'on appelle la zone intermédiaire.

Ces trois zones diffèrent par leur origine et par leur traitement thermique. Le métal d'apport provient de l'électrode et, dans une certaine mesure, de son enrobage; il a été obtenu par fusion complète à une température plus ou moins élevée puis refroidi rapidement.

La zone intermédiaire est formée par le mélange plus ou moins intime du métal de l'électrode et du métal de base. La température, au cours de l'opération de soudure a été intermédiaire entre celle de la zone centrale et celle de la fusion commençante.

Enfin, au voisinage de la zone intermédiaire, le métal de base a été, au moment de la soudure, porté à une température élevée, bien qu'inférieure à la température de fusion, puis refroidi à l'air plus ou moins rapidement. Ce traitement thermique a modifié dans une certaine mesure ses qualités mécaniques.

Ce sont là des faits bien connus dans le détail desquels il n'est pas utile d'entrer ici. Ils ont fait l'objet d'une conférence très étudiée de *M. Portevin* à la Faculté de *Lille*, le 23 Février 1933. L'auteur de cette conférence la termine en proposant de définir la soudabilité comme «l'aptitude des métaux à fournir, en opérant d'après les règles établies de la technique de la soudure, un ensemble compact et continu c'est-à-dire exempt de défauts physiques et aussi homogène que possible, c'est-à-dire réalisant au mieux l'uniformité des propriétés demandées par l'usage auquel est destinée la pièce soudée».

Cette définition peut être acceptée dans son ensemble, bien qu'elle donne lieu à quelques réserves de détail sur lesquelles il n'y a pas lieu d'insister.

A quelle méthode doit-on recourir pour l'appliquer à l'étude de la soudabilité d'un acier? Théoriquement, il faudrait isoler chacune des trois parties de la soudure: métal d'apport, métal de base dans la région chauffée et zone intermédiaire, et en déterminer les propriétés physiques et mécaniques pour les comparer à celles

du métal de base dans son état primitif. Il n'y a à cela aucune difficulté pour le métal d'apport: on sait en tirer des éprouvettes de dimensions normales, qu'on peut essayer par les méthodes courantes et sur les machines usuelles.

Il en est autrement pour la zone de chauffage et pour la zone intermédiaire. Ces deux zones et, en particulier la zone intermédiaire, ont une très faible étendue dans le sens transversal du cordon de soudure et ne se prêtent pas à la prise d'éprouvettes normales si ce n'est l'éprouvette pour essai de résilience. C'est ce que fait remarquer *M. Portevin* dans la conférence déjà citée: «les modes d'essai adoptés, dit-il, devront être obligatoirement des modes d'essai aussi localisés que possible . . . . , ils seront utilement effectués sur très petites éprouvettes avec des machines spécialement conçues à cet effet.»

Des machines répondant à ce programme ont fait l'objet d'une communication de *M. Pierre Chenevard* à l'Académie des Sciences le 30 Janvier 1935 (Technique Moderne du 1/er Mai et du 1/er Juin 1935); mais, si des recherches de cette nature peuvent trouver place au laboratoire d'une usine métallurgique, lorsqu'il s'agit de mettre au point la formule et le mode de préparation d'un nouvel acier, elles sont inapplicables à l'industriel qui ne dispose ni du temps, ni de l'outillage nécessaire, et qui a seulement besoin de savoir rapidement, et à peu de frais, si un acier dont il envisage l'emploi est pratiquement soudable, c'est-à-dire s'il existe sur le marché des électrodes avec lesquelles cet acier, pris comme métal de base, peut fournir des assemblages pratiquement homogènes.

Ainsi posé, le problème paraît susceptible de recevoir une solution simple, que nous avons eu l'occasion d'appliquer il y a déjà plusieurs années, pour des travaux par voie de soudure à effectuer sur le paquebot «*Paris*».

Elle consiste à étudier la zone de chauffage et la zone intermédiaire simultanément sur une éprouvette préparée de la manière suivante. On découpe dans le métal de base primitif une éprouvette de traction ordinaire à section rectangulaire (fig. 1). Sur cette éprouvette, on dispose avec l'électrode dont l'emploi est envisagé, un cordon de soudure longitudinal, disposé symétriquement par rapport à l'axe de l'éprouvette et la recouvrant entièrement. On enlève à la meule le métal déposé et il reste une éprouvette dont l'état moléculaire reproduit avec une fidélité pratiquement suffisante celui des deux zones à étudier.

Pour qu'il en soit ainsi, il faut que l'épaisseur de l'éprouvette soit faible. Elle dépend du diamètre de l'électrode qu'on compte employer dans le travail de soudure. Pour une électrode de 3,8 mm, l'éprouvette a une épaisseur de 10 mm.

On essaie cette éprouvette sur une machine courante (dans notre laboratoire, c'est une machine Amsler de 50 T.) et on relève la limite d'élasticité, la charge de rupture, l'allongement et la striction.

On a fait, au préalable, les mêmes mesures sur une éprouvette identique du métal de base, sans dépôt préalable de cordon.

La comparaison des deux séries de résultats permet déjà de se faire une opinion sur l'homogénéité de l'assemblage; on les complète cependant par un autre essai qui met en évidence l'allongement du métal dans la zone intermédiaire. Pour cela, on prépare une éprouvette de pliage (fig. 2) sur une des faces de laquelle on dépose encore un cordon de soudure et, après enlèvement

de celui-ci à la meule, on fait l'essai en plaçant la face qui a reçu le cordon du côté tendu. La comparaison de l'angle de pliage réalisé avant criquère avec celui que donne le métal primitif donne une base pour la comparaison des allongements.

Enfin un troisième essai est l'essai de résilience. Nous utilisons en général l'éprouvette Mesnager et nous plaçons le cordon de soudure (fig. 3) sur une des faces longitudinales perpendiculaires à l'entaille. Comme pour les essais précédents le cordon est enlevé par meulage et une éprouvette est prise pour référence, dans le métal primitif.

Sans doute, ce procédé fournit un moindre nombre de renseignements que la série d'essais envisagés par *M. Portevin* et on peut lui reprocher de ne pas distinguer pour l'essai de traction entre les deux zones. Mais il permet d'obtenir

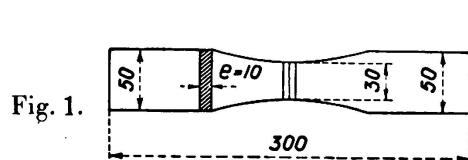


Fig. 1.

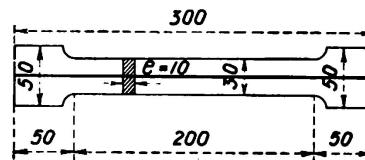


Fig. 4.

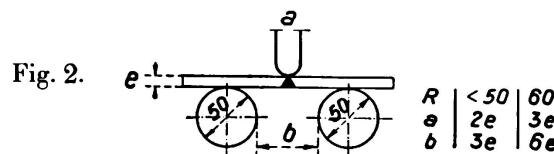


Fig. 2.

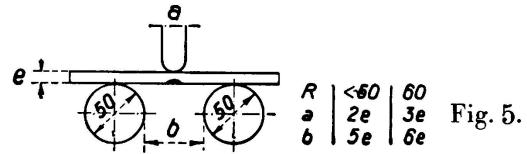


Fig. 5.

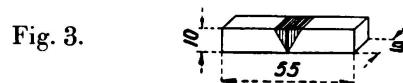


Fig. 3.

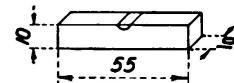


Fig. 6.

à peu de frais et rapidement une discrimination suffisante entre les aciers soudables ou non soudables et jusqu'ici nous n'avons pas eu de difficultés provenant de son emploi.

Voici quelques spécimens de résultats.

Tous les essais que nous allons citer ont été faits en employant un même type d'électrode que nous désignerons par le repère  $E_1$  et qui nous avait, antérieurement, donné des résultats satisfaisants.

Le métal d'apport de cette électrode avait les qualités mécaniques suivantes.

$$E = 47,3$$

$$R = 59$$

$$A = 20$$

$$\rho \text{ (Mesnager)} = 6,42$$

$$\alpha = 135^\circ$$

Les éprouvettes № 1 sont celles des figures 1 à 3; les éprouvettes № 2 sont représentées par les Fig. 4 à 6 et sont soudées bord à bord.

Nous donnerons aux diverses nuances d'acières essayés les repères A B C etc.

Caractéristiques		Métal de Base	Eprouvettes No. 1	Rapports $\frac{3}{2}$	Eprouvettes No. 2
	1	2	3	4	5
<b>ACIER A</b>					
Traction	E	35,9	46,2	1,29	
	R	62,4	64,6	1,04	55,3
	A	24 %	7 %	0,29	
	R + 2A	110	79	0,72	
	Striction	64 %	32 %	0,50	
Pliage	1ère criquère	180°	62°	0,35	
	cassure	—	69°	—	
Résilience (Mesnager)		7,4	3,1	0,42	6,6
<b>ACIER B</b>					
Traction	E	36,9	—	—	
	R	54,7	57	1,04	52,7
	A	25 %	16,4 %	0,64	
	R + 2A	105	90	0,86	
	Striction	56 %	31 %	0,55	
Pliage	1ère criquère	—	—	—	
	Rupture	180°	147,0	0,82	
Résilience	(Mesnager)	21,6	9,1	0,42	
	UF	10,9	7,9		5,5
<b>ACIER C</b>					
Traction	E	42,1	48,6	1,16	37,9
	R	68,2	56,8	0,83	50,7
	A	25 %	3 %	0,12	
	R + 2A	118	63	0,53	
	Striction	54	8 %	0,15	
Pliage		180°	39°	0,22	
Résilience		6,8	0,9	0,13	6,9
<b>ACIER D</b>					
Traction	E	34,6	33	0,96	Pas de relevés
	R	54,5	59,5	1,09	
	A	23 %	17 %	0,74	
	R + 2A	100	94	0,94	
	Striction	52	33	0,64	
Pliage		180°	107°	0,60	
Résilience		7,8	7,5	0,97	

Repères et indications	Electrodes			Courant		Perte de poids par kg de métal déposé		Temps passé par kg de métal déposé		Limites d'élasticité		Résilience		Nombre de Brinell		Résistance à la rupture du métal de base			
	Diamètre mm	Poids gr	Longueur cm	I	V	volatilisation gr	totale gr	fusion	totale	kg	kg	%	Allongement sur 50 mm	Angle de 1ère crique	Mesnager	UF	kg		
E <sub>1</sub> { métal déposé Bord à Bord P	4	44	45	160	22	137	261	46 m 30s	1h 1 m	44,2	55,2	16,5	125°	Angle de 1ère crique	Mesnager	7,2	142		
	4	44	45	155	22	180	270			55,9	55,9	146°				6,6	142	55	
E <sub>2</sub> { métal déposé Bord à Bord P.	4	44	45	160	26	59	179	44 m 60s	1h 37 m	47,3	59	20	120°	Angle de 1ère crique	Mesnager	8,2	155	60	
	4	44	45	150	26	109	227			59,7	59,7					7,03			
E <sub>5</sub> { métal déposé Bord à Bord { P V T	4	39	40	147	19	185	330	1h 17 m	2h 30 m	32	40	15,6	16°	Angle de 1ère crique	Mesnager	113	40		
	4	39	40	130	22	93	222	1h 8 m	2h 46 m		42		88°						
	4	39	40	145	21	103	233	1h 8 m	2h 17 m		40								
	4	39	40	140	20	157	310	1h 17 m	2h 42 m		44								
E <sup>9</sup> { métal déposé Bord à Bord { P V T	4	44	45	170	22	75	222	48 m 30s	1h 27 m	48,7	57,8	27	180	Angle de 1ère crique	Mesnager	21,6	13,7	155	60
	4	44	45	170	22					61,6									
	4	44	45	170	22					62,6									
	4	44	45	170	22					64,6									

Ce dernier acier est le meilleur des quatre essayés il donne un assemblage pratiquement homogène avec le métal déposé. Il n'en est pas de même des aciers A et C. Pour celui-ci on remarquera que c'est le seul qui donne une valeur de R plus faible dans la zone de chauffage que dans le métal primitif. Cela tient à ce que la résistance élevée du métal primitif avait été obtenue par écrouissage au laminage; l'effet de cet écrouissage a disparu par le chauffage et la résistance a diminué.

Nous n'insistons pas davantage sur ce point, les essais dont nous venons de citer quelques résultats nous ont permis de faire un choix parmi les diverses compositions d'acier qui nous étaient offertes pour une application toute spéciale: acier semi-inoxydable à résistance élevée pour la carène d'un paquebot.

## 2<sup>o</sup>) — *Le métal d'apport*

L'étude du métal d'apport n'est autre que celle des diverses qualités d'électrodes. Il en existe un nombre de plus en plus grand sur le marché; leurs fabricants, en les proposant aux industriels, mettent en avant les qualités qu'ils revendentiquent pour leurs produits; il est bon de vérifier ces affirmations par des essais personnels et c'est ce que nous faisons couramment.

Nos essais ne comprennent pas seulement la recherche des propriétés mécaniques; nous y ajoutons d'autres données, peut-être moins scientifiques, mais intéressantes au point de vue économique.

Ils comprennent, en général:

### 1<sup>o</sup>) — *pour le métal déposé*

- a) un essai de traction sur éprouvette cylindrique,
- b) un essai de résilience sur éprouvette UF ou Mesnager, suivant le client auquel est destiné l'ouvrage soudé. La machine d'essai est un mouton *Charpy*,
- c) un essai de pliage,
- d) la mesure de la densité apparente;

### 2<sup>o</sup>) — *pour un assemblage soudé bout à bout*

- a) un essai de traction sur éprouvette rectangulaire (sans mesure de l'allongement),
- b) un essai de pliage.

### 3<sup>o</sup>) — *dans les deux cas*, les relevés pratiques de la vitesse de soudure réalisée et du poids d'électrode perdu par volatilisation ou par projection.

On trouvera ci-joint, par exemple le tableau complet des renseignements recueillis sur une marque d'électrode E<sub>2</sub>.

Ces résultats sont, en général, transmis aux fournisseurs, ce qui permet à ceux-ci de tenir compte des observations faites.

Ainsi, nous avions trouvé pour des électrodes E<sub>3</sub> les résultats généraux suivants:

Métal déposé: R = 43 E = 38 A = 48.

$\alpha = 18^0$   $\rho (M) = 11,1$ .

Essai sur joint bord à bord: R = 47 Kg.

A la suite d'une visite du Directeur de cette maison à notre laboratoire, on nous offrait quelques mois après un nouveau type E<sub>4</sub> qui présentait les caractéristiques suivantes:

$$\begin{aligned} \text{Métal déposé: } R &= 48,7 \quad E = 40,1 \quad A = 27,9 \\ \rho (M) &= 13. \end{aligned}$$

$$\text{Essai sur joint bord à bord: } R = 52,5 \quad \alpha = 132^\circ.$$

On voit que, conjointement à une augmentation de la résistance à la rupture, les autres qualités du joint et surtout sa ductilité ont été notablement améliorées. Le joint à franc bord a été fait sur des tôles à 50 Kg. de résistance à la rupture, mais cette électrode convient fort bien pour les aciers courants type Veritas, à 48 Kg. de résistance maximum et donne avec ces aciers des joints homogènes.

Enfin, il nous paraît intéressant, pour montrer les progrès faits en peu d'années dans l'étude des électrodes pour soudure à l'arc, de donner dans le tableau précédent les essais faits à deux époques différentes sur les fournitures d'un même fabricant français.

Les électrodes E<sub>6</sub> sont destinées à la soudure d'un métal qui a les caractéristiques mécaniques suivantes, et qui, d'autre part, a été reconnu comme soudable avec ces électrodes, dans le sens attribué par nous à cette expression

$$R = 60 \quad A = 20 \quad \rho (UF) = 6.$$

L'homogénéité du joint pour ce qui est de l'accord entre le métal déposé et le métal de base est aussi bien réalisée que possible. L'essai de soudabilité a montré par ailleurs que cette homogénéité reste suffisante dans les zones de transition.

On peut donc être assuré que si la mise en oeuvre est adéquate, les assemblages soudés exécutés avec cet acier donneront toute sécurité.

La conclusion de ce rapide exposé, c'est qu'il existe dès maintenant, une gamme de types d'électrodes avec lesquelles on peut réaliser des assemblages homogènes, dont la résistance à la traction varie de 40 à 60 Kg. avec des allongements et des coefficients de résilience comparables à ceux du métal de base.

### 3<sup>o</sup>) — *La mise en oeuvre*

a) *Le personnel* — Il nous reste à montrer comment peut être organisé le contrôle de la mise en oeuvre, de telle sorte que la sécurité acquise par le choix des matériaux soit conservée jusqu'à l'achèvement de l'ouvrage.

La principale objection qu'on ait faite à la généralisation de l'emploi de la soudure par fusion est la suivante: La qualité de la soudure dépend essentiellement de l'habileté et de la conscience professionnelle de l'ouvrier soudeur. Quel que soit le soin avec lequel l'Ingénieur aura étudié le tracé des joints, quelques recherches qu'on ait faites pour obtenir, par un choix convenable des matériaux, un assemblage homogène, toutes ces précautions seront inutiles si la soudure est mal exécutée et, comme il n'existe pas de moyen pratique de faire la preuve a posteriori de la bonne ou de la mauvaise exécution, la sécurité qu'on a cru réaliser est illusoire.

Tout d'abord, nous ferons remarquer que cette prétendue impossibilité de vérifier, sur l'ouvrage fini, la qualité de la mise en oeuvre n'est pas spéciale

à la soudure à l'arc. N'en est-il pas ainsi en particulier dans le béton armé et n'est-ce pas par une exécution défective que l'on a expliqué des accidents survenus dans des constructions de cette nature?

D'autre part, il y a quelques années, on pouvait, il est vrai, avoir des doutes les plus sérieux sur les capacités professionnelles des ouvriers qui se disaient soudeurs à l'arc.

Mais il n'en est plus de même aujourd'hui.

Il y a, en effet, dans tous les pays de nombreuses écoles de soudure; la plupart d'entre elles dépendent de l'initiative privée et à notre avis, c'est une excellente chose; l'art de la soudure à l'arc est loin d'avoir terminé son évolution; il se transforme et se perfectionne d'année en année et rien ne lui serait plus néfaste à ce point de vue qu'une tutelle administrative. Nous demandons donc, pour la soudure, la maintien de la liberté d'enseignement; nous repoussons aussi l'institution de diplômes plus ou moins officiels qui seraient délivrés aux ouvriers comme consécration de leur passage dans une école.

L'habileté professionnelle, pour tout métier, et plus spécialement peut-être pour la soudure, diminue et finit par se perdre quand elle n'est pas entretenue par l'usage. Les diplômes n'auraient donc de valeur que pour un temps limité et par suite, leur création serait inopérante puisqu'elle ne supprimerait pas la nécessité des essais périodiques que nous estimons indispensables.

Notre école de soudure a été fondée en 1930; les ouvriers qui en sortent exécutent des joints soudés bout à bout et en croix dans les trois positions principales: à plat, verticalement et au plafond. Des éprouvettes de traction sont tirées des pièces soudées et les résultats des essais de traction servent à classer les ouvriers. Ceux qui, pour une position, n'ont pas obtenu un certain minimum, ne sont pas admis à souder dans cette position: cette mesure s'applique particulièrement à la soudure au plafond pour laquelle, entre parenthèses, certains règlements font preuve d'une défiance exagérée: les deux tiers de nos soudeurs sont capables d'exécuter des joints au plafond donnant des résultats équivalents à ceux des joints à plat et, en fait, on exécute couramment de tels joints sur les navires en construction sans que, jusqu'ici, il y ait eu d'incidents à leurs sujet. La réduction du taux admissible imposée aux soudures au plafond est injustifiée: il suffirait de prescrire que ces soudures seront exécutées uniquement par les ouvriers soudeurs ayant prouvé, par des essais de qualification, leur aptitude à les réaliser correctement.

Le minimum exigé pour le classement était à l'origine 35 Kg. pour l'essai bout à bout, et 28 Kg. pour l'essai en croix. Par suite de l'amélioration de qualité des électrodes, ce minimum a été relevé et il est maintenant, avec l'électrode E<sub>6</sub> et des tôles d'acier à 50 Kg., 46 Kg. pour l'essai bout à bout et 33 Kg. pour l'essai en croix.

Le séjour à l'école de soudure varie entre six semaines et deux mois; il serait absurde de prétendre que ce laps de temps relativement court suffit à la formation complète du soudeur. Celui-ci continuera à se faire la main pendant les premiers mois d'exercice de sa nouvelle profession; on peut dire que, d'apprenti il est passé compagnon mais il n'est pas devenu maître.

Il sera donc d'une prudence élémentaire de ne lui confier, au début que des travaux n'intéressant pas la sécurité de l'ouvrage et, d'autre part, de suivre les

progrès qu'il peut faire et qui seront peut-être négatifs, par des essais de contrôle à des intervalles assez fréquents. Nous avions d'abord adopté le principe consistant à renouveler tous les trois mois pendant la première année, les essais de classification. L'expérience a montré qu'on pouvait adopter un intervalle un peu plus long et, maintenant, ces essais ont lieu tous les quatre mois.

Au bout d'un an, l'ouvrier qui a maintenu sans défaillance sa capacité professionnelle peut inspirer confiance et on le charge de travaux d'importance correspondant à sa classe mais on continue à vérifier qu'il ne perd pas la main et on ne supprime pas les essais périodiques; on se borne à en augmenter la période en les exigeant tous les six mois.

Par cette méthode, le personnel est maintenu en haleine et il s'établit entre les soudeurs une émulation profitable à la fois aux ouvriers et à leurs employeurs.

Voici à titre de renseignement, un tableau résumant les essais successifs d'ouvriers formés dans notre école.

#### Résistance à la rupture de joints bout à bout

Nos de marron:		38.022	38.027	38.049	38.050	38.098
Essais de sortie	H	39.4	41.1	49.9	48.9	38.0
	V	34.8	35.7	45.8	45.5	31.4
	T	36.4	35.7	43.0	45.8	20.5
1/er essai trimestriel	H	47.9	42.0	49.9	44.5	39.4
	V	39.1	38.1	45.3	45.3	41.9
	T	40.6	30.9	39.5	40.9	39.0
2/ème essai semestriel	H	44.1	37.2	46.5	44.6	41.1
	V	38.6	40.8	40.8	42.2	45.9
	T	34.7	35.2	31.1	45.6	44.2
3/ème essai trimestriel	H	44.4	43.5	47.6	45.7	45.4
	V	43.5	42.3	42.6	41.2	42.3
	T	43.8	36.1	47.2	42.0	47.6
1/er essai semestriel	H	45.6	40.7	48.7	46.9	46.6
	V	41.6	43.3	44.8	44.1	43.5
	T	45.6	42.4	44.2	44.0	41.2
2/ème essai semestriel	H	47.1	41.8	45.6	49.1	41.8
	V	40.2	42.8	44.8	44.6	42.1
	T	45.3	38.0	46.0	44.4	41.8

Tous ces essais ont été effectués avec les mêmes électrodes dont le métal d'apport avait une résistance minimum à la rupture de 40 Kg. par mm<sup>2</sup> et sur des tôles de qualité courante. Depuis un an environ, on emploie des électrodes donnant un métal d'apport à résistance plus élevée et des tôles de base de qualité correspondante et contrôlée.

Le dernier essai effectué dans ces conditions par les soudeurs ci-dessus a donné les résultats suivants :

H	55,3	64,9	58,4	62,9	54,3
V	55,8	73,0	57,0	57,3	46,5
T	59,8	70,0	57,9	63,2	59,1
Métal de Base	50 kg	60 kg	50 kg	60 kg	50 kg

L'examen des chiffres de ce tableau montre que, si un ouvrier de l'école peut exécuter convenablement des joints à plat ce n'est guère qu'après un an de pratique qu'il arrive à faire d'une façon constante des joints verticaux ou au plafond.

Il prouve également l'intérêt capital que présentent au point de vue de la sécurité, les essais périodiques que nous avons institués dès la fondation de notre école. Il en résulte incontestablement une augmentation des frais généraux de l'atelier, mais nous y trouvons une assurance contre les accidents qui pourraient résulter de soudure défectueuses, et nous estimons qu'aucun industriel ne devrait être admis à exécuter par soudure des travaux intéressant la sécurité publique, s'il ne justifie pas de l'existence, depuis au moins un an, d'une organisation semblable. Les prescriptions des cahiers des charges qui imposent seulement des essais individuels au commencement du travail ne donnent pas une garantie suffisante.

### b) *Le matériel*

Nous venons de voir comment on peut former et maintenir un personnel soudeur apte à exécuter les travaux les plus variés. Pour lui permettre de tirer un bon parti de son habileté professionnelle il faut mettre à sa disposition un outillage approprié; la partie fondamentale de cet outillage est celle qui assure la distribution du courant de soudure. Il serait hors de propos d'étudier ici les divers procédés utilisés pour cette distribution et les conditions qui doivent être réalisées pour assurer une soudure correcte. Nous nous bornerons à rappeler que l'une des plus importantes de ces conditions est le bon réglage de l'intensité. Il est donc indispensable, à notre avis, que chaque soudeur ait à sa portée un ampèremètre en série sur l'électrode: les indications de cet ampèremètre ne serviront pas seulement à l'ouvrier pour choisir l'intensité convenable d'après les instructions qu'il a reçues; elles permettront au contremaître de vérifier facilement et rapidement si chacun des soudeurs qu'il dirige se conforme à ces instructions; elles fournissent donc, sur la bonne exécution du travail, un renseignement direct et permanent et c'est là la seconde réponse que nous faisons à l'objection que nous avons citée plus haut contre la généralisation de la soudure à l'arc dans la construction métallique. Non seulement le choix de la main-d'œuvre de soudure est fait avec une méthode qui ne se retrouve dans aucune autre profession, mais encore l'un des éléments les plus importants de la mise en oeuvre peut être, à tout instant contrôlé.

Nous utilisons deux modes de distribution de courant. Dans l'un deux, chaque ouvrier soudeur dispose d'un ensemble convertisseur alimenté en énergie par un réseau à 440 v et fournissant le courant à basse tension propre à la soudure. Nous avons tenu à ce que chacun de ces convertisseurs soit muni, non seulement

de l'ampèremètre dont nous venons de parler, mais également d'un voltmètre. Celui-ci ne peut évidemment être consulté par le soudeur, mais il fournit au contremaître une indication très utile sur la conduite du travail.

Dans le second mode de distribution, il existe, sur une zone couvrant trois cales de construction et deux postes d'achèvement à flot une canalisation à basse tension alimentée par une centrale qui transforme le courant du secteur, alternatif à 5000 volts, en courant continu à 45 volts. Les sections de la canalisation ont été calculées pour que la tension minimum y soit de 35 volts. Chaque ouvrier soudeur peut placer, en un point quelconque de la canalisation, une prise de courant spéciale appelée régulateur, qui contient des résistances servant non seulement à régler l'intensité du courant de la dérivation, mais aussi à fournir, à l'allumage de l'arc et à chacun des courts circuits quasi instantanés que révèlent les oscillogrammes du courant de soudure un supplément de tension de 20 à 25 volts. La stabilité de l'arc est ainsi parfaitement assurée. Sur chaque régulateur est placé un ampèremètre, mais il n'y a pas de voltmètre parce que le régulateur est sur un pôle seulement; la ligne de retour est directe de la pièce à souder à la canalisation fixe.

Les résultats obtenus avec ce mode de distribution, qui a fait l'objet d'un article publié par le journal *La Technique Moderne*, le 1<sup>er</sup> Juin 1932, ont été assez satisfaisants pour qu'une nouvelle Centrale, desservant une autre zone de notre Chantier, ait été créée et mise en service en 1935.

#### 4<sup>o</sup>) — *Essais sur des assemblages soudés*

Nous aurions voulu montrer, par des résultats numériques d'essais effectués sur des constructions soudées, que les méthodes décrites dans les pages qui précèdent donnent bien la sécurité en vue de laquelle elles ont été instituées, mais nous n'avons guère, jusqu'ici, appliqué ces méthodes que pour des coques de navire et il n'est pas fait, sur ce genre de travaux, d'essais positifs à l'achèvement. C'est seulement au bout d'un certain temps de service, et dans des circonstances de navigation plus ou moins défavorables, qu'on peut, par l'absence de déformations ou de ruptures locales juger de la valeur du travail.

Il faut donc nous borner à rappeler que la presse a rendu compte, il y a environ un an, des essais du croiseur «*Emile Bertin*», livré par notre Chantier à la Marine Française, et pour la construction duquel il avait été fait un large emploi de la soudure. Certains de ces essais ont été effectués par très grosse mer et, néanmoins, aucun assemblage soudé n'a montré ni trace de fatigue ni défaut d'étanchéité. Après six mois de navigation d'hiver dans l'Atlantique, l'examen de la coque de l'*«Emile Bertin»* a donné lieu aux mêmes constatations favorables.

Sur le paquebot *«Normandie»*, il a été exécuté un grand nombre d'assemblages soudés, puisqu'à certains moments le nombre des soudeurs occupés à bord de ce navire a atteint 140; mais d'une part les travaux n'intéressaient pas les œuvres vives et, d'un autre côté, la mise en service de *«Normandie»* est trop récente pour qu'on puisse formuler des conclusions.

Nous nous permettons donc, bien que ce genre de travaux ne rentre pas dans l'objet direct du Congrès, de donner quelques observations faites au cours de la soudure à l'arc de pièces mécaniques. Il s'agit d'ailleurs de la soudure bout

à bout de tôles épaisses et des soudures de ce genre peuvent trouver place dans la charpente métallique, pour des semelles de pont par exemple.

Le premier cas que nous allons citer est celui de la soudure d'une plaque de fondation formée de deux tôles de 20 mm d'épaisseur, ayant une résistance à la rupture de 60 Kg/mm<sup>2</sup>.

La plaque était placée horizontalement et ne pouvait être retournée en cours de travail. Comme l'épaisseur conduisait à adopter un joint en X, il en résultait la nécessité d'exécuter la moitié du joint à plat, pour le dessus de la plaque, et au plafond pour le dessous.

Le travail fut conduit de la manière suivante. Les deux tôles à réunir furent chanfreinées sur les deux faces à l'angle de 60°, puis disposées parallèlement en laissant un vide de 5 mm entre les deux saillies des chanfreins.

Un fil de cuivre de 10 mm de diamètre fut posé dans le chanfrein inférieur et on déposa un premier cordon de soudure, à plat. L'électrode employée avait un diamètre de 6,4 mm. C'était l'électrode dénommée plus haut E<sub>6</sub>: elle est à fort enrobage et cette circonstance a conduit à mettre le pôle + à l'électrode, le pôle — à la pièce, contrairement à notre pratique courante.

Une fois déposé le cordon N° 1, on le burine par dessous pour faire disparaître les irrégularités et défauts de surface dus au contact de l'air pendant le dépôt, malgré la présence du fil de cuivre, et un cordon symétrique N° 2 fut déposé sur toute la longueur du joint, celui-ci par dessous et par suite au plafond.

Les cordons suivants furent alors déposés par dessus et par dessous, par deux soudeurs travaillant simultanément et réglant leur avance de manière à se trouver sensiblement sur la même verticale.

Le dépôt du cordon se faisait en balançant l'électrode de droite à gauche et de gauche à droite, de manière à obtenir des stries perpendiculaires à l'axe du joint au lieu de stries parallèles. On est arrivé ainsi à réduire considérablement l'influence du retrait.

Le contrôle après exécution a été fait de deux façons: des appendices laissés à chaque bout du joint furent soudés de la même façon et en même temps que le joint, et on y préleva les éprouvettes d'essai ordinaires.

Les essais mécaniques de ces éprouvettes donnèrent les résultats suivants:

$$R = 61 \text{ Kg. 5}$$

Angle de pliage (sans criquère) 118° <sup>1</sup>

$$\rho (\text{UF}) = 7,6.$$

D'autre part, l'examen de la soudure elle-même aux rayons X fut fait sur toute sa longueur afin de rechercher et de faire disparaître, s'il y avait lieu, les défauts locaux.

L'appareil que nous possédons pour ces essais radiographiques est de la marque *Phillips*. Il permet d'obtenir entre anode et cathode une tension de 180 Kv. et on peut obtenir des radiographies satisfaisantes pour une épaisseur atteignant 90 mm d'acier.

Nous donnons une reproduction d'un des positifs obtenus dans l'étude de la plaque en question. Les cercles blancs qu'on voit sur cette reproduction servent

<sup>1</sup> — L'essai fut arrêté lorsque l'allongement de la fibre tendue eut atteint le minimum fixé par le Cahier des Charges.

de repères pour reporter la radiographie sur la plaque et retrouver la position du défaut. On notera que, pour avoir cette position dans l'espace, il est nécessaire de posséder deux radiographies prises avec des faisceaux de rayons ayant des axes différents.

Le second exemple que nous allons donner est celui de la soudure, toujours bord à bord, de tôles sensiblement plus épaisses que les précédentes et dont les caractéristiques mécaniques étaient les suivantes:

$$A = 49,6 \quad R = 27,8 \quad \rho (\text{Mesnager}) = 14$$

L'épaisseur atteignait 55 mm; des tôles aussi fortes ne seront vraisemblablement pas utilisées dans la charpente métallique, mais les observations qui vont suivre peuvent avoir leur intérêt pour des tôles un peu moins épaisses, 25 à 30 mm par exemple.

Avant de commencer l'exécution proprement dite, des études expérimentales furent entreprises sur des coupons de tôle mesurant  $600 \times 300$  mm et qui furent soudés bord à bord.

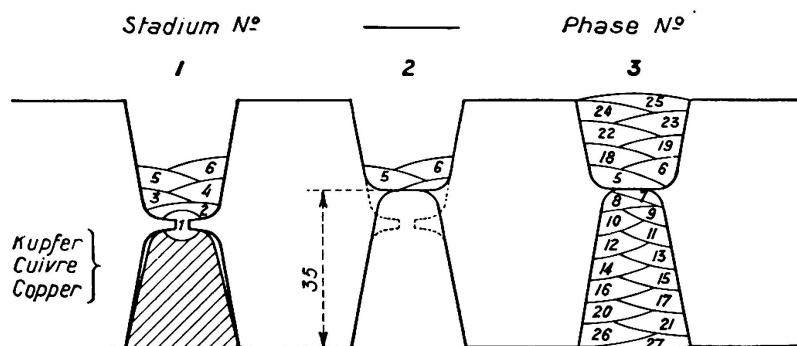


Fig. 7.

Geschweißte Versuchsplatte. Types de tôles soudées Specimen of welded plates

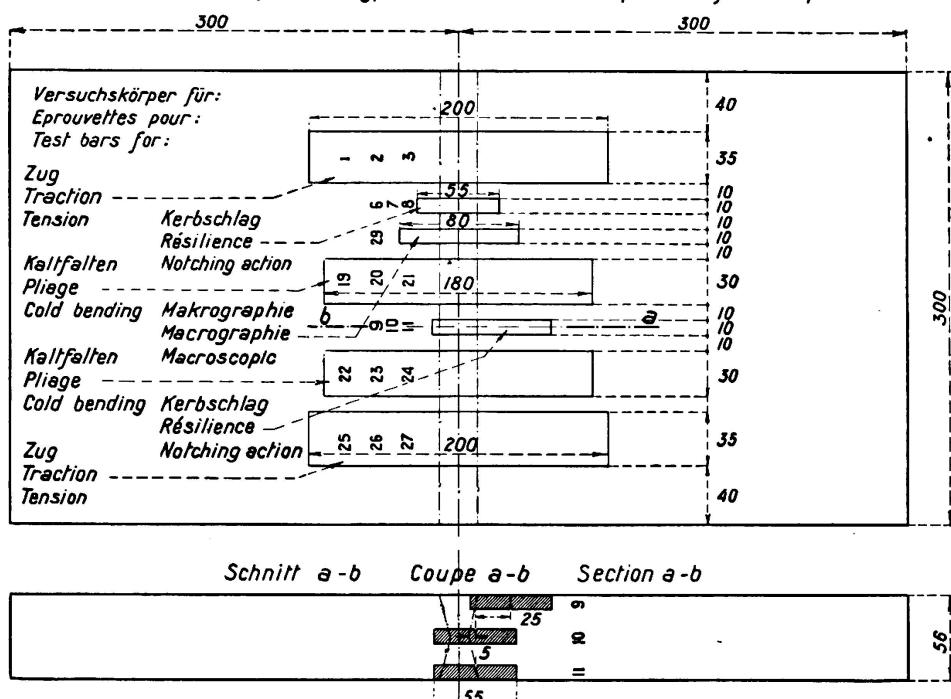


Fig. 8.

En raison de l'épaisseur, le profil du chanfrein adopté était formé de deux U accolés par la base (fig. 7). L'électrode employée était la même que dans le cas précédent. La succession des passes, l'intensité et la tension du courant étaient réglées, au début, par le tableau ci-dessous :

Diamètre des électrodes	Ordre des passes	T amp.	V volts
3,25	1	80	24—26
4	2, 3, 4, 5	180	24—26
5	6 à 17	230—240	20—24
6,4	18 à 29	320—350	20—24

Pour exécuter la première passe, on plaçait, dans la moitié inférieure du joint, une bande de cuivre rouge; les cordons étaient tous exécutés à plat, en retournant la pièce chaque fois qu'il était nécessaire. Entre le cordon N° 3 et le cordon N° 4, il a été procédé à un burinage du cordon N° 1 pour enlever la partie superficielle de celui-ci, qui avait été exécutée au contact de l'air, malgré la présence du cuivre, et n'accrocher le cordon N° 4 que sur une surface parfaitement saine.

Malgré cette précaution, les essais mécaniques exécutés sur des éprouvettes prises les unes à la surface du joint, les autres au milieu et contenant, par suite, la passe N° 1, ont montré une différence sensible de ductilité entre la surface et le centre de la soudure, ce qui conduisit à adopter un procédé un peu différent.

On exécuta, sans burinage préalable, les passes N°s 1 à 6 inclusivement, puis on enleva tout le métal correspondant aux passes 1 à 4, y compris le métal de base au voisinage de la partie étranglée, comme l'indique le croquis (fig. 7) et on procéda ensuite au dépôt des passes N° 7 et suivantes. La pièce subit ensuite une opération de revenu à 640°, pendant 2 heures 15 minutes (une heure pour 25 mm d'épaisseur).

On découpa ensuite des éprouvettes de traction et de résilience, les unes à la surface de la pièce, les autres au milieu de l'épaisseur; la fig. 8 donne la répartition de ces diverses éprouvettes.

Cette méthode donna des résultats tout-à-fait satisfaisants comme l'indique le tableau ci-après :

Repères	Dimensions des éprouvettes	Section	Traction			Repères	Pliage		Résilience		
			mm <sup>2</sup>	totales	mm <sup>2</sup>		Angles de pliage	A <sup>0,0</sup> fibre extr. sur 20 mm	Repères	ρ Mesnager	Moyenne
1	19.8×13.6	270	12 800	47.4					7 F <sub>1</sub>	15.4	
3	18.6×13.6	254	12 100	47.6		20	130°	38	7 F <sub>2</sub>	12.4	14.4
25	19.5×13.6	266	12 800	48.1	47.9	23	107°	36	7 F <sub>3</sub>	15.4	
27	19.8×13.7	272	13 300	48.8					7 F <sub>4</sub>	14	
									7 F <sub>5</sub>	14	
									7 F <sub>6</sub>	14	14

L'examen aux rayons X ne fit apparaître aucun défaut appréciable, nous donnons la reproduction d'une des radiographies prises à l'occasion de ces essais.

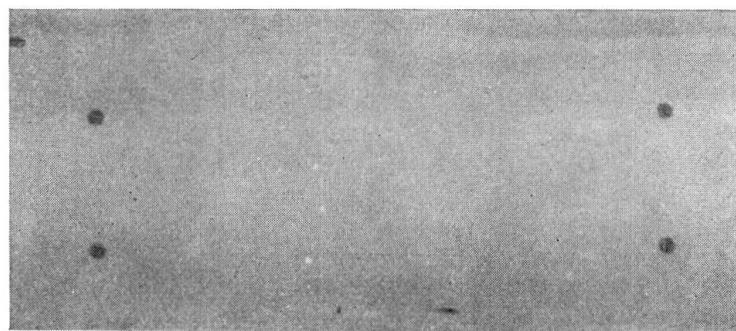


Fig. 9.

Radiographie d'une soudure bout à bout entre deux tôles de 20 mm.



Fig. 10.

Radiographie d'une soudure bout à bout entre deux tôles de 55 mm.

La soudure est comprise, dans chaque cas, entre les grands côtés du rectangle formé par les quatre points noirs.

La marque de contrôle du Bureau Veritas apparaît au bas à gauche de la deuxième radiographie.

La différence de teinte des deux radiographies s'explique par la différence des épaisseurs.

### 5<sup>o</sup>) — *Conclusions*

L'expérience acquise dans l'emploi de la soudure à l'arc pour des travaux de nature très diverse permet d'affirmer que, moyennant une bonne organisation du contrôle des matériaux et de la mise en oeuvre ce mode d'assemblage donne une sécurité aussi complète que d'autres méthodes de construction comme le rivetage ou le béton armé. Il faut toutefois faire une réserve. Les essais que nous avons faits jusqu'ici sont des essais statiques ou des essais de choc. Il aurait fallu les compléter par des essais de fatigue sous charges variables. Bien que nous ayions ajouté à notre laboratoire un pulsateur Amsler qui permet de faire des essais, nous n'en avons fait jusqu'ici qu'un nombre très restreint.

L'examen radiographique peut, dans une certaine mesure suppléer à l'essai de fatigue car il décèle les défauts locaux comme les soufflures ou les inclusions qui n'auraient qu'une faible influence sur la résistance aux essais statiques mais seraient cause de rupture prématurée sous des charges alternées. On ne peut

donc que le conseiller quand il est pratiquement possible. Mais son emploi paraît difficile à généraliser tout au moins pour la construction métallique. L'appareil est relativement lourd et encombrant; il faut prendre des précautions sérieuses pour mettre le personnel à l'abri des rayons secondaires. Enfin, et surtout, les radiographies des pièces présentant des différences d'épaisseurs sensibles manquent de netteté, par suite de la présence des mêmes rayons secondaires. Il est donc à peu près impossible de radiographier avec ces rayons, un assemblage de pièces en croix. On y arrive en employant les rayons  $\gamma$  mais le coût de l'installations et les dangers que présentent ces rayons pour le personnel, les rendent inutilisables dans l'industrie courante.

Nous n'avons pas cru devoir parler dans ce rapport des recherches, d'ailleurs peu nombreuses, que nous avons faites sur le retrait. Elles n'avaient d'ailleurs pas pour but de déterminer les tensions résiduelles dues au retrait, mais seulement les changements de dimensions et de forme qui pouvaient en résulter pour les éléments de la charpente d'un navire et la méthode à suivre pour les corriger par avance. Nous nous sommes donc bornés à relever les déformations d'ensemble après refroidissement complet, ce qui ne permet pas d'évaluer avec certitude les tensions résiduelles.

#### Résumé.

Dans un atelier de soudage, on peut créer d'emblée une organisation de contrôle qui offre toute sécurité. Le contrôle peut être complété dans des cas spéciaux par des radiographies. Il semble toutefois que l'on ne peut pas généraliser l'emploi des rayons Roentgen.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide