

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 79 (1953)  
**Heft:** 18: Comptoir Suisse, Lausanne, 12-27 septembre 1953

**Artikel:** Les constructions soudées: où en sommes-nous actuellement?  
**Autor:** Chevalley, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-59805>

#### 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:** 11.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

**Abonnements :**

Suisse : 1 an, 24 francs  
Etranger : 28 francs  
Pour sociétaires :  
Suisse : 1 an, 20 francs  
Etranger : 25 francs  
Prix du numéro : Fr. 1,40  
Abonnements et n° isolés par versement au cpte de ch. postaux Bulletin technique de la Suisse romande N° II. 5775, à Lausanne.

**Rédaction**  
et éditions de la S. A. du  
Bulletin technique (tirés à  
part), Case Chauderon 475

**Administration**  
Ch. de Rosenegg 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président : R. Neeser, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. Epitaux, architecte, à Lausanne ; Secrétaire : J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg : MM. P. Joye, professeur ; † E. Latelatin, architecte — Vaud : MM. F. Chenaux, ingénieur ; † H. Matti, ingénieur ; E. d'Okolski, architecte ; Ch. Thévenaz, architecte — Genève : MM. † L. Archinard, ingénieur ; Cl. Grosgruin, architecte ; E. Martin, architecte ; V. Rochat, ingénieur — Neuchâtel : MM. J. Béguin, architecte ; R. Guye, ingénieur — Valais : MM. J. Dubuis, ingénieur ; D. Burgener, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration  
de la Société anonyme du Bulletin technique : A. Stucky, ingénieur, président ; M. Bridel ; G. Epitaux, architecte ; R. Neeser, ingénieur.

**Tarif des annonces**

1/1 page	Fr. 264.—
1/2 »	» 134.40
1/4 »	» 67.20
1/8 »	» 33.60

**annonces Suisses S. A.  
(ASSA)**



Rue Centrale 8. Tél. 223326  
Lausanne et succursales

**SOMMAIRE :** *Les constructions soudées : Où en sommes-nous actuellement ?* par A. CHEVALLEY. Dr. h. c., ingénieur en chef, Giovanolla frères, Monthey. — LES CONGRÈS : Association suisse pour l'aménagement des Eaux. — BIBLIOGRAPHIE. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION GÉNÉRALE. — NOUVEAUTÉS, INFORMATIONS DIVERSES.

## LES CONSTRUCTIONS SOUDÉES OÙ EN SOMMES-NOUS ACTUELLEMENT ?

par A. CHEVALLEY, Dr. h. c., ingénieur en chef, Giovanolla frères, Monthey<sup>1</sup>

Le 30 juin 1945, lors de la Journée de la soudure organisée à Lausanne par l'Ecole polytechnique et l'Association suisse pour l'essai des matériaux, j'avais présenté une conférence ayant pour titre : *Les constructions soudées*, et pour sous-titre : *Le point de vue d'un constructeur après vingt-cinq ans de pratique*.

L'étude actuelle est en somme la suite de cette conférence ; elle a pour but de faire le point et de déterminer où nous en sommes de l'évolution de la nouvelle technique au cours de ces dernières années. En effet, la soudure électrique a amené une véritable révolution dans la mise en œuvre des métaux et spécialement du principal d'entre eux : l'acier.

Cette révolution est loin d'avoir déployé tous ses effets ; mais l'emploi de la soudure présente de tels avantages sur les anciennes méthodes d'assemblage qu'il s'impose de plus en plus ; il est donc indiqué de résumer dans une brève étude les résultats déjà obtenus et les progrès faits dans cette dernière période.

Les progrès enregistrés ne concernent pas uniquement la soudure, mais aussi toute la grande métallurgie ; celle-ci a fait, de son côté, de louables efforts pour

fournir des métaux bien soudables et de résistance de plus en plus élevée. Ce développement parallèle de la métallurgie et des méthodes de soudure a permis des réalisations remarquables.

Nous nous permettrons donc de donner rapidement quelques indications sur le matériel de base : l'acier laminé.

Les deux grandes catégories d'acier sont l'acier Thomas et l'acier Siemens-Martin. Par l'un ou l'autre des procédés, on peut obtenir de l'acier dit effervescent ou de l'acier calmé. Si l'on coule en blocs l'acier effervescent, on obtient un acier fortement poreux par suite du développement d'oxyde de carbone pendant la solidification.

Lors du laminage des blocs, les pores se referment et se soudent si l'opération est bien faite.

L'acier calmé est celui dans lequel on a combiné l'oxygène en excès avec le silicium ; ainsi il ne se produit plus d'oxyde de carbone. Les blocs se solidifient tranquillement, sans pores, d'où le nom d'aciers « calmés » ou « au silicium ».

Généralement l'acier SM convient mieux à la soudure que l'acier Thomas, ce dernier contenant un pourcentage plus élevé d'azote et de phosphore. Toutefois, c'est la proportion de carbone dans l'acier qui a la plus grande importance pour la soudure. Dans l'acier de

<sup>1</sup> Ce texte a paru également dans l'ouvrage que publia, en juin 1953, l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne, à l'occasion de son centenaire. (Réd.).

construction on peut avoir une proportion de carbone de 0,06 % jusqu'à 0,20 %. Au-delà de 0,20 % de carbone la soudure devient plus délicate à réaliser, surtout en ce qui concerne la résilience. Actuellement les poutrelles à larges ailes provenant de Differdange contiennent seulement de 0,06 à 0,08 % de carbone, bien que très probablement obtenues par le procédé Thomas ; elles constituent un excellent matériel de base pour la soudure.

Comme je ne voudrais pas trop m'étendre sur cette question, je renvoie les lecteurs qui veulent bien me suivre à l'excellente étude de M. E. Folkhard, ingénieur métallurgiste, parue dans la *Revue de soudure électrique des Ateliers de Sécheron*, n° 20, de décembre 1952.

J'ajouterai simplement que la soudure a pour effet de provoquer, dans la zone de transition entre le métal de base et le métal de la soudure, une concentration de carbone caractéristique, par conséquent une augmentation de la dureté dans ces zones. Il s'ensuit que si la proportion de carbone est déjà grande dans le métal de base, les zones de transition auront une proportion de carbone encore plus forte. L'aptitude à la trempe de ces zones sera augmentée et le danger de fragilité s'en suivra.

Actuellement il est possible d'obtenir, de presque tous les grands producteurs d'acier de construction, une gamme complète d'acières bien soudables qui vont depuis l'acier normal 37 jusqu'aux aciers à haute résistance de l'ordre de 58-68 kg/mm<sup>2</sup>. Ces aciers contiennent tous les éléments suivants : carbone, silicium, manganèse, phosphore et soufre. Puis éventuellement du cuivre, du chrome, du nickel et du molybdène.

Le tableau suivant donne une idée générale des caractéristiques de ces aciers.

	R. kg/mm <sup>2</sup>	Limite élast.	Allongement
Acier 37	36-41	23 env.	30-28 % env.
» 41	41-45	26 »	28-26 % »
» 44	44-50	28-30 »	26-24 % »
» 47	47-52	30-32 »	25-23 % »
» 50	50-60	34-36 »	22 % »
» 52	52-62	35-37 »	22 % »
» 54	54-64	36-38 »	20 % »
» 55	55-68	40-45 »	20 % »
» 58	58-68	40-46 »	20 % »

Plusieurs de ces aciers sont élaborés en introduisant une certaine proportion d'aluminium en cours de fabrication, ce qui facilite l'obtention d'acier calmé. Les différents fournisseurs appellent leurs aciers de toutes sortes de noms plus bizarres les uns que les autres, mais on constate assez rapidement qu'ils sont peu différents pour une même résistance et une même limite élastique.

Nous en sommes donc actuellement, pour les aciers de construction, à 58 kg de résistance, 40 kg/mm<sup>2</sup> pour la limite élastique et 20 % d'allongement.

Ces hautes résistances et limites élastiques élevées rendent plus nécessaire que jamais ce que j'ai préco-

nisé depuis longtemps : l'abandon de la notion de sécurité ordinaire pour ce que j'appelais *la marge de sécurité*, soit la différence entre le taux de travail effectif et *la limite élastique*, ceci naturellement pour les taux de travail en traction simple ou compression (flambement réservé).

Les aciers de toutes nuances et caractéristiques posent le problème du métal d'apport pour la soudure.

### Métaux d'apport

#### 1. Electrodes

Jusqu'à maintenant les fournisseurs d'électrodes utilisées dans les soudures sont arrivés à mettre à disposition des constructeurs des matériaux parfaitement adaptés aux qualités des aciers. Nous devons rendre hommage au travail intense et consciencieux que ces fournisseurs ont fait dans ce domaine, où une adaptation ne va pas sans de grandes recherches et des expériences sans nombre. On remarque souvent dans les électrodes des qualités complémentaires et qu'il faut savoir utiliser. Par exemple pour un même diamètre d'électrode et une même tension, certaines électrodes seront très agressives ; c'est-à-dire qu'elles attaqueront fortement le métal de base ; ces électrodes seront spécialement utiles dans la masse d'une soudure. Elles seront moins indiquées en surface parce qu'elles laissent un sillon le long de la soudure ; il convient donc de prendre en surface une autre qualité d'électrode qui n'attaque que très peu le métal de base et se superpose à celui-ci sans formation d'un sillon longitudinal.

Je dois signaler ici encore un fait capital : généralement l'enrobage des électrodes est hygroscopique. Si les électrodes restent un certain temps à l'air humide, elles se chargent d'eau. Dans l'arc, cette eau est dissociée et l'hydrogène passe en bonne partie dans le métal de la soudure. D'après M. le professeur Dr Keel, de Bâle, le métal peut contenir, en hydrogène dissout, le double de son volume.

Dans ces conditions la résilience de telles soudures descend à 1 kgm/cm<sup>2</sup> seulement. Il est vrai que six mois plus tard, l'hydrogène dissout aura disparu et la résilience de ces mêmes soudures sera remontée à 10 kgm/cm<sup>2</sup>. On obtiendra ce même résultat immédiatement par le recuit après soudure.

Il est donc toujours indiqué, en atelier comme au montage, de sécher les électrodes avant de les utiliser. Pour cela on emploie de petits fours électriques.

Le seul fait de la présence ou non d'humidité dans l'enrobage des électrodes peut fausser complètement les résultats d'un essai de résilience.

Au fur et à mesure que les qualités mécaniques des aciers spéciaux seront plus élevées, il sera possible d'obtenir des électrodes de la qualité correspondante. Nous avons vu que les meilleurs aciers de construction atteignent maintenant une résistance de 58-68 kg par mm<sup>2</sup> et une limite élastique supérieure à 40 kg/mm<sup>2</sup>. Nous avons pu constater qu'il existe déjà actuellement des électrodes qui permettent d'obtenir une résistance de la soudure de 120 kg par mm<sup>2</sup>, ceci sans qu'il soit nécessaire d'employer des procédés spéciaux et sans que le prix

des électrodes soit très élevé par rapport à celui des électrodes ordinaires. Le métal déposé par ces électrodes présente une ténacité considérable et un allongement, avant rupture, qui dépasse tout ce que l'on a vu jusqu'à maintenant.

Les fabricants d'électrodes ne sont donc aucunement en retard sur leurs collègues de la grosse métallurgie ; ils seront toujours à même de satisfaire aux exigences des assemblages d'acières dont les caractéristiques seront de plus en plus élevées.

## 2. Méthodes d'assemblage

Nous sommes toujours plus convaincus que l'idée directrice dans les constructions soudées doit être celle que nous avons déjà énoncée depuis bien longtemps et qui est celle-ci : *Tout ouvrage soudé, quelle que soit son importance, doit être absolument compact, sans surfaces superposées, sans aucune faille intérieure ou extérieure, en un mot il doit être semblable à une pièce d'acier coulé, sans défaut.* La deuxième règle est celle qui découle du retrait dans les soudures. En conséquence, elles doivent être faites dans un ordre rigoureux, tant en atelier qu'au montage, pour éviter les tensions internes dans toute la mesure du possible, et ceci même pour les pièces qui peuvent être recuites et où ces tensions sont annulées après coup.

Des fautes dans ce domaine se traduisent par des déformations et des mécomptes graves, même si les soudures en elles-mêmes sont parfaites.

Une conséquence de la construction monolytique des ouvrages soudés, c'est que les failles ou changements brusques de section prennent une grande importance ; on veillera donc tout spécialement à la transmission régulière et harmonieuse des lignes de force dans tout l'ouvrage.

Nous avons constaté que souvent les constructeurs cherchent toutes sortes de moyens pour éviter les efforts biaxiaux ou triaxiaux. Il nous paraît que les ouvrages soudés, construits suivant les règles de l'art, sont parfaitement capables de supporter de tels efforts et que si on veut les éviter à tout prix, c'est au détriment de la rigidité et en définitive de la sécurité.

Par contre nous considérons comme des chinoiseries parfaitement inutiles une règle qui voudrait qu'aucune soudure ne soit faite par des températures ambiantes inférieures à  $0^\circ$  ou même à  $+5^\circ$ .

En effet, dès qu'une pièce est mise en travail, sa température s'élève sensiblement au-dessus de la température de l'air qui l'entoure.

Par exemple le pont à treillis de 42 m de portée qui a été essayé après la construction du premier barrage de la Dixence, avait été soudé en partie par des températures de  $-6$  à  $-8^\circ$ . Lors des essais effectués au moyen de six vérins de 100 tonnes, le taux de travail des membrures a été poussé jusqu'à  $3,4 \text{ t/cm}^2$  sans qu'aucune défaillance se soit manifestée dans les soudures.

Un grand silo à alumine a été soudé à Chippis en plein hiver par des températures qui, par moment, ont atteint  $-15^\circ$ . Aucun inconvénient n'en est résulté.

## Soudures d'atelier et soudures de montage

Il est quelquefois interdit aux constructeurs d'utiliser la soudure comme moyen d'assemblage au montage, ceci spécialement pour les ponts ; que faut-il en penser ?

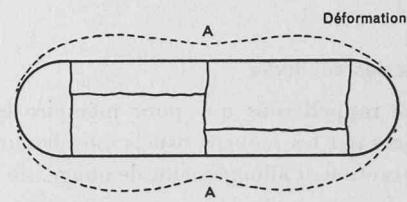
Notre opinion est que cette interdiction conduit à des solutions boiteuses et qui ne sont pas dignes d'un ingénieur.

S'il est reconnu que la soudure est avantageuse dans un ouvrage, elle l'est aussi pour les parties de cet ouvrage qui doivent être soudées au montage. Il sera toujours très facile de renforcer les joints de montage si des essais prouvent que les soudures faites sur place ne sont pas équivalentes à celles d'atelier.

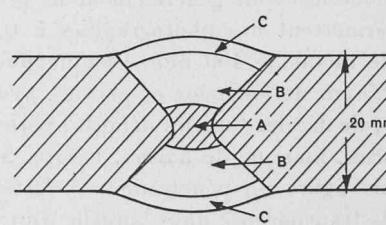
Nous pouvons dire que depuis 1930 tous les ouvrages soudés que nous avons construits ont été soudés aussi bien au montage qu'en atelier, et ceci sans aucun incident ou accident.

Il s'agit d'un grand nombre de ponts, de charpentes de bâtiment ou d'usine, de gazomètres, de bateaux, de charpentes de ponts roulants et de portiques roulants.

Nous devons signaler ici que, dans un même ouvrage, il peut être très avantageux d'utiliser des électrodes de qualités diverses et ceci quelquefois dans la même soudure. Ce sont des essais de récipients soudés, poussés jusqu'à la rupture, qui nous ont montré le chemin à suivre. Lors de la construction des tuyaux pour la conduite forcée de Salanfe, nous avions fait un premier récipient d'essai en acier SM au chrome-cuivre. Toutes les soudures étaient faites au moyen d'électrodes correspondant à la qualité du métal. Le récipient était formé de deux viroles et de fonds bombés sphériques.



Il a été constaté que la soudure transversale AA, plus dure et moins déformable que la tôle, ne pouvait pas suivre la déformation générale ; de petites fissures se sont produites avant la rupture générale, transversalement à cette soudure ; enfin une de ces ruptures préalables s'est poursuivie de part et d'autre dans les viroles et a amené la rupture du réservoir. La résistance n'était pas mauvaise, mais la déformation avant rupture était relativement faible. Un deuxième récipient identique au premier a été fait, mais de la façon suivante :



### Soudures longitudinales

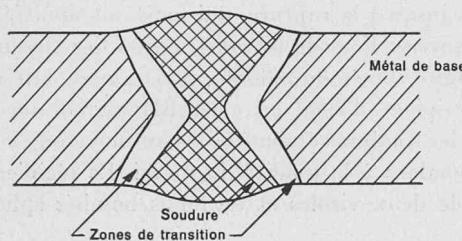
- Zone A Electrodes douces.
- Zone B Electrodes correspondant à l'acier chrome-cuivre.
- Zone C Electrodes extra-douces.
- Surface

### Soudures transversales

Electrodes douces comme pour la zone A des soudures longitudinales.

L'essai jusqu'à rupture a donné des résultats excellents :

- 1<sup>o</sup> Rupture en pleine tôle, à la limite de résistance de la tôle  $\sim 56 \text{ kg mm}^2$ .
- 2<sup>o</sup> Déformation énorme avant rupture. Le volume initial du récipient qui était de  $3 \text{ m}^3$  a exigé  $1 \text{ m}^3$  supplémentaire pour arriver à la rupture. Pour cela il a fallu que l'allongement général des tôles sur 4,900 m du développement du cylindre soit d'environ 20 %. Ceci, compte tenu de la déformation de l'eau qui n'était pas négligeable.
- 3<sup>o</sup> Aucune rupture préalable n'a pu être constatée.



### 3. Contrôle des soudures

Nous ne rappellerons que pour mémoire le contrôle des soudures par les moyens usuels que chacun connaît : essais de traction, d'allongement, de pliage, de résilience, essais de fatigue, puis les images macroscopiques et microscopiques des soudures.

Tous ces moyens supposent la fabrication d'échantillons dans lesquels les éprouvettes peuvent être découpées ; ou bien le prélèvement, au choix, d'une partie d'ouvrage terminée et qui est sacrifiée pour les essais. Ces essais sont nécessaires et se traduisent par des chiffres ; mais chacun de ces essais ne renseigne que sur un seul point d'une soudure.

Les essais usuels peuvent être complétés par un examen photographique des soudures aux rayons X, par exemple. Ces procédés s'appliquent maintenant couramment, dans les ateliers et même au montage. Les appareils modernes sont généralement de grande puissance et permettent des photographies à travers une épaisseur de métal de 100 mm. Chaque photographie a environ 45 cm de longueur et permet, avec un peu de pratique, de déceler tous les défauts : porosité, inclusion de scories, manque de liaison, fissure. Sur chaque photographie figure un pénétramètre, c'est-à-dire une petite feuille transparente dans laquelle sont inclus des

fils parallèles de 0,1 à 0,7 mm de diamètre. L'image de ces fils paraît dans la photographie, et permet l'évaluation des dimensions des porosités ou autres défauts.

Les soudures non meulées apparaissent sous forme d'une zone, claire dans les négatifs et sombre dans les positifs ; ceci par suite de la différence d'épaisseur des tôles et de la soudure ; mais pour les soudures meulées à fleur du métal, seuls apparaissent les défauts.

Nous reproduisons ci-dessous quelques photographies de soudures qui montrent les défauts suivants :

- N° 1096 Petites porosités concentrées en deux points.
- N° 1046 Petites fentes ou inclusions près du pénétramètre.
- N° 979 Porosités produites probablement par une électrode humide.
- N° 1095 Une inclusion et deux porosités.
- N° 2114 Porosité au croisement des soudures.
- N° 1605 Porosité et fente à la croisée des soudures.
- N° 1433 Défaut de continuité dans la branche verticale.
- N° 1357 Nid de porosités vers la gauche.

Les porosités sont en général de petites bulles sphériques de gaz qui restent prises dans la soudure ; les essais prouvent que si ces porosités ne sont pas nombreuses, elles n'ont pas une influence fâcheuse sur les qualités mécaniques de la soudure ; en effet les lignes de force passent facilement autour de ces petits vides sphériques.

On peut donc admettre comme acceptable la présence de ces porosités, à la condition qu'elles ne forment pas des nids nombreux et serrés. En revanche les autres défauts : inclusions, fentes, défauts de continuité, ne peuvent jamais être tolérés, puisqu'ils constituent des amorces de ruptures.

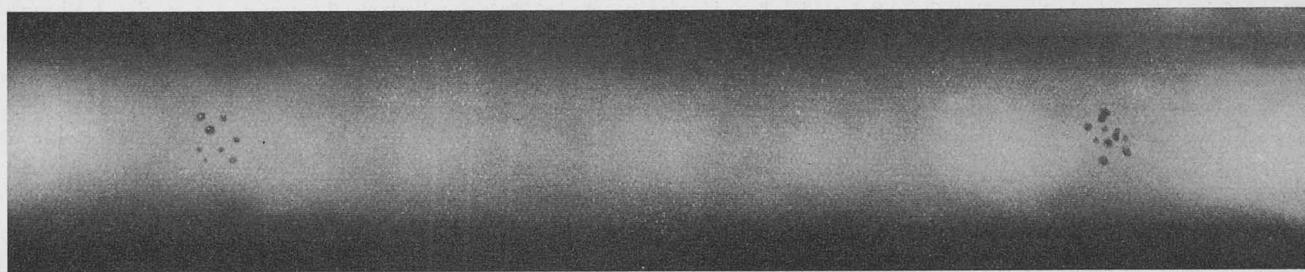
Généralement on se contente d'examiner les négatifs, soit à la lumière du jour, soit avec un appareil spécial comportant un panneau lumineux sur lequel sont posées les pièces à examiner. Avec un peu de pratique on peut déceler tous les défauts de continuité.

### 4. Soudures au moyen de machines automatiques

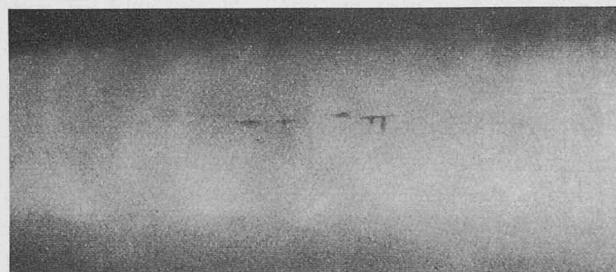
Dans le but d'augmenter la production et d'économiser de la main-d'œuvre, toutes sortes de machines automatiques ont paru ces dernières années. Les meilleures d'entre elles exigent que le fond des chanfreins en X ou en V soit tout d'abord soudé à la main ; ensuite la soudure peut être faite en une ou deux passes, suivant l'épaisseur.

A la suite d'un grand nombre d'essais, voici nos conclusions sur les résultats obtenus avec ces machines :

- 1<sup>o</sup> Résistance à la traction, 100 %.
- 2<sup>o</sup> Aspect des soudures, très bon.
- 3<sup>o</sup> Les soudures sont compactes, sans inclusions, pores ou fissures.
- 4<sup>o</sup> Essais d'allongement et de pliage satisfaisants.
- 5<sup>o</sup> Seuls les essais de résilience laissent à désirer.



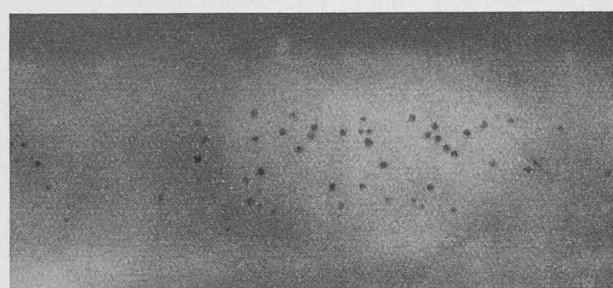
1096



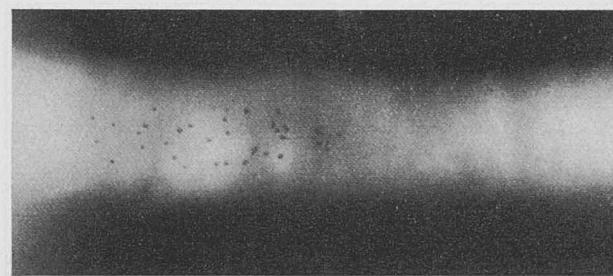
1046



1095



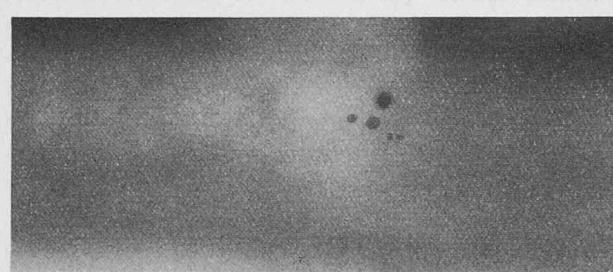
979



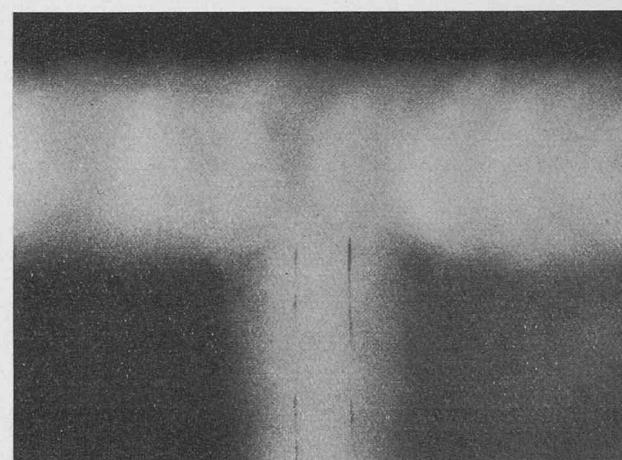
1357



1605



2114



1433

La résilience moyenne d'une soudure automatique faite en une ou deux passes, indépendamment des passes faites à la main, est d'environ  $7 \text{ kgm/cm}^2$ .

Pour la même soudure faite en quatre passes plus petites, la résilience moyenne atteint  $10,5 \text{ kgm/cm}^2$ .

Pour les mêmes soudures recuites à  $650^\circ$ , la moyenne des résiliences devient :

Pour une ou deux passes . . .  $8,75 \text{ kgm/cm}^2$

Pour quatre passes . . . . .  $14,9 \text{ kgm/cm}^2$

On a trouvé, pour la moyenne d'un assez grand nombre d'éprouvettes de résilience et pour des soudures faites à la main, les valeurs suivantes :

Non recuites	Soudures sur tôles, qualité chau-	
	dière I . . . . .	$14,88 \text{ kgm/cm}^2$
	Soudures sur tôles, qualité chau-	
	dière II . . . . .	$18,34 \text{ kgm/cm}^2$

Il y a donc un rapport direct entre le nombre des passes ou cordons de soudure et la résilience : la résilience augmente avec le nombre des passes. Chaque passe nouvelle produit un certain recuit du métal précédemment déposé et améliore sa qualité.

Cette constatation est encore confirmée par le fait que les soudures de pièces de grandes épaisseurs présentent une résilience sensiblement plus élevée que celle de pièces minces, soudées avec un petit nombre de passes.

Les machines automatiques de soudure devraient donc faire des passes nombreuses, de section plus petite et à grande vitesse.

##### 5. Recuit des pièces soudées et recuit des soudures<sup>1</sup>

On distingue deux sortes de recuits :

- 1<sup>o</sup> Le recuit de stabilisation à une température inférieure au deuxième point de transformation de l'acier, soit en dessous de  $720$ - $730^\circ$ .
- 2<sup>o</sup> Le recuit de normalisation au-dessus du point de transformation, à  $960^\circ$  environ.

Le recuit de stabilisation ne modifie pas les cristaux du métal ; il détend les tensions internes et modifie les duretés.

Le recuit de normalisation modifie complètement la cristallisation du métal, enlève les tensions internes et modifie encore plus radicalement les duretés.

Pratiquement, seul le recuit de stabilisation peut être appliqué dans les ouvrages soudés, ceci pour la raison bien simple que le poids propre déforme peu ou pas du tout les pièces soumises à cette température. Des précautions simples à réaliser empêchent toute déformation.

Il n'en va plus de même à  $960^\circ$ , où les pièces se déforment complètement sous leur simple poids.

<sup>1</sup> En 1945, nous formions des vœux pour que l'on dispose de fours à recuire de grandes dimensions ; ce vœu est maintenant réalisé à Monthevy. Les deux plus grands fours ont les dimensions suivantes : *Un four* pour température max.  $800^\circ$ , section  $2,30 \text{ m}$  en largeur,  $2,75 \text{ m}$  sous la voûte et  $13,50 \text{ m}$  de longueur.

*Un deuxième four* pour température max.  $1000^\circ$ , section  $3,10 \text{ m}$  en largeur,  $3,60 \text{ m}$  sous la voûte et  $10,50 \text{ m}$  de longueur.

Le chauffage est électrique.

Nous allons donc examiner dans la suite de cette étude le recuit de stabilisation.

A quelle température devons-nous recuire ? Si une température voisine de  $650^\circ$  est indiquée pour les fours à gaz ou au mazout, nous estimons qu'avec des fours électriques, où le réglage de la température est très exact et les différences de température d'un point à l'autre minimales, il est indiqué de monter jusqu'à  $680$  ou  $700^\circ$ . Les résultats seront d'autant meilleurs.

Le recuit procure les améliorations indiquées ci-dessous.

Pour les aciers doux de  $37$  à  $44$ , la résistance est à peine modifiée, les qualités de ductilité sont sensiblement améliorées, les différences de dureté entre soudure et métal de base sont atténuées, la résilience est augmentée comme nous l'avons déjà vu.

Pour les aciers à haute résistance de  $55$  à  $65 \text{ kg/mm}^2$ , la résistance est un peu abaissée, en moyenne environ  $2 \text{ kg par mm}^2$ , en revanche toutes les qualités de ductilité sont augmentées, de sorte que l'opération du recuit se traduit par une augmentation notable du coefficient de qualité. (En Suisse le coefficient de qualité est le produit de la résistance en  $\text{t/cm}^2$  par l'allongement de rupture défini par les prescriptions en fractions décimales.)

Des mesures de dureté des soudures et du métal de base ont été faites sur un acier ayant la composition suivante :

C %	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo %
ép. 15 mm	0,16	0,26	0,83	0,55	0,44	0,25
ép. 20 mm	0,16	0,23	0,83	0,56	0,45	0,26

Les soudures étaient faites en forme de X, suivant le croquis ci-dessous et les mesures de dureté étaient faites en six ou huit points de chaque zone. *Dureté Vickers*.

Zones	Non recuit	Recuit à $650^\circ$
<i>Epaisseur 15 mm</i>		
Métal de base . . .	161 à 172	148 à 165
Soudure . . . . .	161 à 203	140 à 162
Zones de transition	215 à 230	167 à 182
<i>Epaisseur 20 mm</i>		
Métal de base . . .	160 à 179	147 à 160
Soudure . . . . .	172 à 210	143 à 172
Zones de transition	220 à 261	175 à 182

Le petit tableau ci-dessus montre l'amélioration considérable obtenue par le recuit de stabilisation. Donc, indépendamment du fait que les tensions éventuelles dues au retrait des soudures sont complètement éliminées, il y a encore une augmentation sensible dans la ductilité des soudures, ce qui rend l'ouvrage capable de déformations considérables, sous l'effet des forces extérieures, avant toute rupture du métal de base ou des soudures.

Le recuit de stabilisation s'applique maintenant en grand dans la construction des conduites forcées pour

les parties où les tensions et les épaisseurs deviennent un peu grandes. Ceci est d'autant plus nécessaire que le taux de travail dans ces ouvrages, pour les aciers à haute résistance, peut atteindre 2300 kg par cm<sup>2</sup> ou même plus. Dans ces cas le recuit se fait après que les soudures soient meulées à l'extérieur et à l'intérieur et ramenées sensiblement à la même épaisseur que les tôles.

Les essais de fatigue effectués sur des éprouvettes découpées au hasard, en travers de la soudure longitudinale d'un tuyau traité de la manière indiquée ci-dessus, ont montré que la résistance des soudures est supérieure à celle du métal de base.

A l'exception d'une seule éprouvette sur huit, les ruptures se sont produites à une distance minima de 40 mm du bord de la soudure, donc en dehors de la zone de transition.

De plus en plus, des pièces en charpente soudée : châssis de treuil et de grues tournantes, bogies de wagons, châssis de wagons même, passent au four à recuire.

#### 6. Recuit des joints de montage soudés

Pour le moment, les seuls assemblages de montage qui sont quelquefois recuits sont également ceux des

conduites forcées. Les moyens employés sont des ceintures chauffées électriquement ou au mazout.

On espère pouvoir obtenir, très prochainement, un système de chauffage de ces joints par courant à haute fréquence. Ce qui serait une grande simplification sur les procédés actuels.

Personnellement, je suis d'avis que le recuit des joints de montage courants d'une conduite forcée n'est pas indispensable : ces joints étant presque toujours soumis à des efforts relativement faibles de compression. Par contre le recuit des joints est indiqué dans les collecteurs des conduites forcées et partout où des encastrements des conduites peuvent produire des moments fléchissants très importants.

Pour le moment, personne ne songe à recuire les joints de montage de ponts ou de charpentes ; cependant, si des aciers à très haute résistance étaient employés pour des constructions soudées de ce genre, le recuit des joints devrait être envisagé. Peut-être alors, si les espoirs mis dans le chauffage par haute fréquence se réalisent, sera-t-il possible de faire ces recuits.

Arrivés au terme de cette brève étude, nous espérons avoir donné une idée des progrès réalisés ces dernières années dans le domaine, si vaste, de la soudure des aciers de construction.

## LES CONGRÈS

### Association suisse pour l'aménagement des Eaux

*L'Association suisse pour l'aménagement des eaux a tenu son assemblée générale le 29 mai 1953, à Locarno. Nous donnons ici, comme nous l'avons fait les années précédentes<sup>1</sup>, un large extrait du rapport annuel de cet important groupement (Réd.).*

#### Extrait du rapport annuel de l'Association sur l'exercice 1952

##### Conditions météorologiques et hydrologiques

En 1952, les précipitations dans les Alpes, sur le Plateau, en Suisse romande et dans le Jura ont généralement dépassé la moyenne des années 1864-1940, durant les mois de janvier à mars et de septembre à décembre, tandis que les cinq mois d'avril à août furent relativement secs. Dans toute la Suisse, le mois de juillet a été extrêmement sec. Au nord des Alpes, les mois d'octobre et de novembre furent très pluvieux. Au sud des Alpes, les précipitations n'ont dépassé la moyenne que durant les mois d'avril, mai, août et septembre, tandis que les autres mois furent secs, surtout ceux de février, mars, juin, juillet et octobre.

<sup>1</sup> Voir entre autres *Bulletin technique*, 1950, p. 19 et 218, les extraits des rapports des exercices 1948 et 1949; *Bulletin technique* 1951, p. 157, l'extrait du rapport 1950; *Bulletin technique* 1952, p. 184, l'extrait du rapport 1951. (Réd.)

Les courbes de débits de 1952 du Rhin à Rheinfelden, du Rhône à Chancy, du Tessin à Bellinzone, de l'Inn à Martinsbruck et du Doubs à Ocourt, relevées par le Service fédéral des eaux, donnent un aperçu général des conditions des débits de l'année, comparés à une année sèche et une année pluvieuse, ainsi que des moyennes mensuelles des débits des bassins versants de ces cours d'eau, établis depuis de nombreuses années. Les résultats, en chiffres, seront donnés dans le prochain Annuaire hydrographique de la Suisse, publié par le Service fédéral des eaux.

Pour nous rendre compte du régime de l'écoulement dans une grande partie de la Suisse, nous considérons les conditions du Rhin à Rheinfelden, dont les eaux proviennent d'un bassin versant de 34 550 km<sup>2</sup>, ce qui

#### Débit moyen mensuel du Rhin à Rheinfelden en m<sup>3</sup>/s

TABLEAU 1

Année hydrogr.	1908/ 1909 <sup>1</sup>	1909/ 1910 <sup>1</sup>	1920/ 1921 <sup>1</sup>	1939/ 1940	1948/ 1949	1951/ 1952	1952/ 1953	Moy. 1901/ 1952
Octobre	693	1015	802	1505	622	642	1108	870
Novembre	438	598	433	1755	512	846	1530	823
Décembre	428	861	374	1359	413	778	1497	751
Janvier	453	1179	434	670	441	739	(777)	727
Février	357	1260	416	786	418	705	(614)	689
Mars	425	935	332	1130	534	1202	(686)	798
Hiver	466	975	465	1201	490	819	1035	776
Avril	870	991	464	1186	881	1335		1019
Mai	909	1396	770	1167	976	1254		1264
Juin	1172	2328	953	1675	1114	1288		1534
Juillet	1850	2416	856	1966	688	1038		1503
Août	1270	1814	796	1483	557	737		1274
Septembre	961	1648	703	1681	556	876		1068
Eté	1172	1766	757	1526	795	1088		1277
Année hydr.	819	1370	611	1364	643	953		1027

<sup>1</sup> Rhin, à Bâle.