

LA FABRICATION DES CHAINES A GUERIGNY ETAMPAGE ET SOUDURE ELECTRIQUE

Jean André BERTHIAU

Nous avons consacré un premier article à la fabrication des chaînes soudées au feu de forge, pratiquée à Guérigny de 1823 à 1950¹. Voyons maintenant les autres procédés de fabrication qui ont progressivement remplacé la soudure au feu de forge.

Chaînes étampées

Au début du XXe siècle, l'emploi de l'acier se généralise, mais pour la fabrication des chaînes, la soudure au feu de forge est plus difficile à réaliser qu'avec le fer, malgré l'interposition de plaques à souder. Il faut donc rechercher d'autres méthodes de confection et des essais sont effectués en jonctionnant deux demi-maillles au niveau des extrémités du petit axe. La jonction est réalisée par étampage à chaud d'une tulipe creuse refermée sur un champignon. Ces essais sont exécutés sous la direction de M. Romazzotti². Nous reproduisons ci-après la description qu'en donne M. Guyonnet dans le **Mémorial de l'Artillerie française**³.

"M. Romazzotti procède alors à un certain nombre d'essais d'assemblage par rivure, puis par tulipe creuse refermée sur un champignon par étampage à chaud. Il constate que la tulipe, au cours de l'étampage, s'applique parfaitement sur les sinuosités du champignon. Afin de réduire le diamètre extérieur de la tulipe et permettre ainsi à la maille de se présenter correctement sur barbotin, il remplace le champignon unique par une série de cinq collets. Pour des mailles de calibre 24 millimètres, le diamètre extérieur de la tulipe est de 42 millimètres. Le profil des collets est sensiblement celui d'un filet rond, la distance entre deux collets consécutifs est de 4,8 millimètres, le diamètre extérieur des collets est de 28,2 millimètres, le diamètre à fond de filet est de 24 millimètres. L'étau est constitué par deux pièces réunies par un rivet. Ce mode de confection des chaînes a fait l'objet du brevet français n° 409.134 demandé le 16 novembre 1909 par M. Romazzotti."

A la suite de ces essais, deux tronçons de mailles jonctionnées à tulipes sont mis en service à Brest sur le remorqueur *Atlas*. Après plusieurs années, ces mailles n'avaient présenté aucun signe de fatigue. Vers 1920, avec la mise en service des ancrs sans jas, on constate une détérioration rapide des extrémités de chaînes en fer. Certains bâtiments sont dotés d'extrémités de chaînes constituées par des mailles Romazzotti. On constate une bonne tenue de l'assemblage, mais une prise de jeu très importante de l'étau. Pour remédier à ce défaut, on a l'idée de rendre l'étau solidaire de la tulipe. A la fin de 1921, on aboutit à une maille dite **en acier étampé à étau solidaire**, ou **maille A.E.E.** Cette maille comporte deux demi-maillles en acier spécial au nickel, traité par trempé et revenu, obtenues par étampage. Les extrémités des demi-maillles comportent cinq collets. L'étau tulipe est étampé plein et ses tulipes sont obtenues par usinage. L'assemblage est réalisé par étampage de l'étau chaud sur les

¹ **Marteau Pilon**, tome VIII, 1996, p. 53-64.

² L'ingénieur du génie maritime Gaston Romazzotti est l'un des pionniers de la construction des sous-marins. Chargé en 1888 d'assurer la mise au point du *Gymnote*, conçu par Gustave Zédé, puis concepteur de plusieurs sous-marins dans les années 1890, il continuera dans la voie des sous-marins "purs", à simple coque, alors que l'ingénieur Maxime Laubeuf a eu l'idée géniale de concevoir le submersible, à double coque, dont les qualités nautiques sont nettement supérieures à celles des sous-marins. En mai 1902, le ministre de Lanessan décide de commander treize submersibles sur plans Laubeuf. Les luttes politiques en décideront autrement, son successeur, Pelletan, annule cette décision et fait mettre en chantier des sous-marins "purs", dont les vingt "Naiades" de 70 tonnes, si petits qu'ils seront inutilisables. Romazzotti a dirigé l'établissement de Guérigny du 17 juin 1905 au 31 octobre 1909. Cette affectation à Guérigny est très probablement liée au départ de Pelletan et à son remplacement au ministère par Thomson en juin 1905, ce dernier ayant fait mettre sur cale, dès son arrivée, dix-huit submersibles à vapeur de 398 tonnes en surface.

³ Marcel Guyonnet, Ingénieur en chef du génie maritime, Les chaînes à étais de la marine nationale, **Mémorial de l'Artillerie française**, 3ème fascicule 1965, Paris, Imprimerie Nationale, 1965, p. 703.

demi-maillages froides. L'acier spécial utilisé pour les mailles d'extrémité, qui doivent résister à des chocs importants, ne se justifiait pas pour les mailles ordinaires. Pour les demi-maillages on a retenu un acier au carbone ayant une résistance à la rupture de 50 kg/mm² à l'état recuit, et 60 kg/mm² trempé et revenu. Pour l'étau, qui ne peut pas être traité après l'assemblage sans risquer de détériorer la qualité du fretage des tulipes sur les branches à collets, on a retenu un acier au carbone ayant une résistance à la rupture de 60 kg/mm² à l'état recuit. Ces mailles qui sont capables de s'engrener correctement sur le barbotin sont appelées **régulières en acier estampé**, ou **mailles R.A.E.**

Nous citons de nouveau M. Guyonnet :

"Dès 1922, le Département de la Marine a adopté, pour les extrémités de chaînes, les mailles estampées type A.E.E. quel que soit le calibre. Le 9 juillet 1923, il décide d'attendre les premiers résultats de l'expérimentation des chaînes soudées en acier de 62 millimètres, alors en essais sur le *Victor Hugo*, et il fait entreprendre la confection de 10 maillons de chaînes de 64 millimètres pour l'un des croiseurs *Edgar-Quinet* ou *Waldeck-Rousseau* et 10 maillons de chaînes pour l'un des cuirassés de 23000 tonnes. Ces maillons doivent être réalisés en chaînes R.A.E..

"L'expérimentation en service ayant donné des résultats satisfaisants, le 23 novembre 1926, le Département décide : "Les chaînes de mouillage seront désormais en acier". Elles seront en acier extra-doux, soudées, pour les calibres de 50 millimètres et au dessous, en acier mi-dur estampé (mailles R.A.E. en acier à 50 kg/mm² pour les demi-maillages et à 60 kg/mm² pour les étais) pour les calibres de 52 millimètres et au dessus. Les essais à la traction des chaînes confectionnées, qu'elles soient en acier soudé ou en mailles R.A.E., seront effectués sous une charge de 17 kg/mm² de la double section, comme pour les chaînes en fer. Les épreuves de rupture des bouts de contrôle devront assurer une résistance d'au moins 26 kg/mm² de la double section pour les chaînes en acier soudé et 36 kg/mm² pour les chaînes à mailles R.A.E.

"La même circulaire ministérielle prescrit l'emploi de mailles d'assemblage démontables, à la place des manilles, exclusivement utilisées jusqu'alors, pour tout calibre égal ou supérieur à 36 millimètres.

"De 1926 à 1939, la technique de fabrication des chaînes d'ancrage évolue peu, elle reste fixée dans la ligne prescrite par la circulaire ministérielle du 23 novembre 1926. Il faut toutefois signaler qu'en 1934, on substitue aux chaînes R.A.E. des chaînes mixtes composées moitié de mailles monobloc estampées, moitié de mailles R.A.E. Cette application, qui se traduit par une économie sensible à cause du prix de revient élevé des mailles R.A.E. a été faite aux chaînes de 45 millimètres des contre-torpilleurs *Mogador* et *Volta*. Par ailleurs, la charge d'épreuve des chaînes R.A.E. est portée de 17 à 18 kg/mm² de la double section nominale".

Un groupe complet d'estampage de chaînes de forts calibres est mis en service à l'atelier des chaînes en 1937. Il comprend ⁴:

- 1 mouton à courroie de 6 tonnes Dieudonné-Lechêne
- 1 presse de 500 tonnes Spiertz
- 1 presse mécanique Spiertz
- 1 four à deux chambres Volcan
- 1 scie SS 4 H Heller

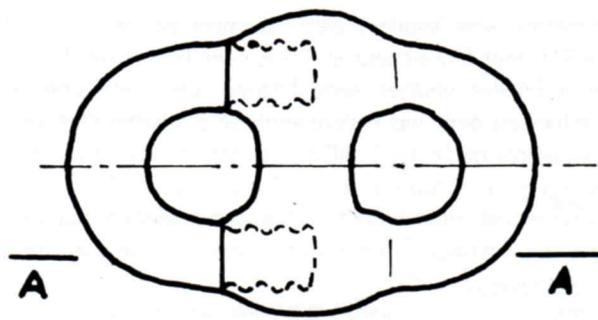
ainsi que deux machines transférées d'autres ateliers :

- 1 presse hydraulique de 110 tonnes, servant autrefois à la fabrication des obus
- 1 pilon électro-pneumatique transféré de l'atelier des Petites Forges

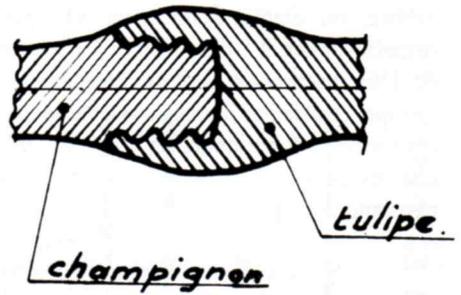
Après la seconde guerre mondiale, pour le remplacement des lignes de mouillage du paquebot *Liberté*, ex-*Europa*, Guérigny a confectionné des chaînes R.A.E. du calibre 100 millimètres dont la charge de rupture a atteint 640 tonnes. La charge de rupture imposée par le Bureau Véritas était de 282 tonnes.

⁴ S.H.M. Lorient, 3V1/49, rapports annuels établissement de Guérigny de 1930 à 1938.

maille Romazzotti

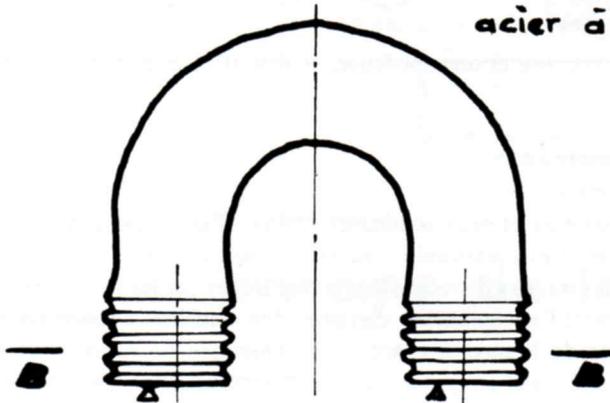


section A

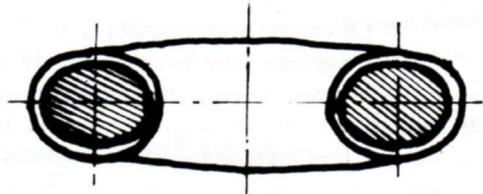


demi maille RAE.

acier à 50kg au carbone.

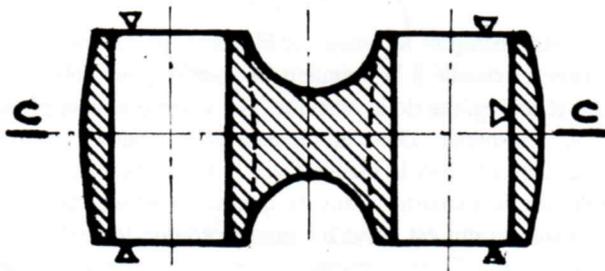


coupe B



Etai.

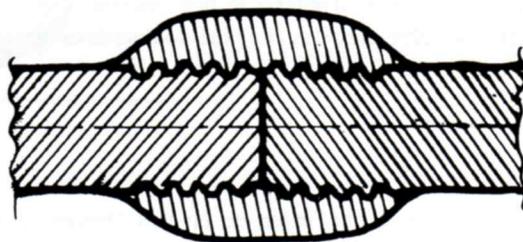
acier à 60kg au carbone.



coupe C



maille RAE après assemblage.



coupe dans l'étau.

Chaînes soudées électriquement

En 1930, des chaînes de petit calibre, 4 millimètres, sont soudées électriquement par résistance. Les dimensions intérieures minima des mailles sont alors de 3 d pour la longueur et 1,3 d pour la largeur, d étant le calibre, ou diamètre du rond. Or, pour les chaînes à mailles courtes série Marine, ces dimensions sont respectivement 2,5 d et 1,25 d. La soudure électrique ne leur est donc pas encore applicable. L'achat d'un groupe de deux machines à préparer et à souder les mailles des calibres de 16 à 32 millimètres est envisagé en 1932. Ce groupe, réalisé par la maison Davaine, fabricant de chaînes à Saint-Amand-les-Eaux (Nord), est installé en 1935 et commence à fonctionner en 1936. En 1938, un second groupe est commandé et l'achat de machines à préparer les chaînes de 4 à 8 millimètres et de 10 à 14 millimètres est envisagé⁵. Le procédé utilisé est le soudage par résistance.

Nous avons eu l'occasion d'examiner la fabrication des chaînes de petits calibres lors d'un stage d'étude effectué en 1954. Pour ce type de production, l'équipement de l'atelier comprenait alors quatre groupes de machines automatiques de fabrication allemande, Meyer Roth et Pastor :

- Un groupe pour les calibres de 4 à 10 millimètres
- Un groupe pour les calibres de 11 à 14 millimètres

Ces deux groupes, comprenant chacun une prépareuse et une soudeuse, étaient affectés à la confection de chaînes pour palans.

- Un groupe pour les calibres de 13 à 20 millimètres
- Un groupe pour les calibres de 18 à 26 millimètres

Ces deux groupes, comprenant chacun une prépareuse et deux soudeuses, étaient affectés à la confection de chaînes de convoyeurs à raclettes pour les houillères. Ces commandes ont été obtenues dans le cadre d'un accord avec les Charbonnages de France dans le cadre des travaux de reconversion recherchés par les Forges de la Chaussade à la reprise d'activité en 1945. Fait administratif exceptionnel, certaines des machines nécessaires à cette fabrication ont été financées par les Charbonnages de France, à charge pour Guérigny de rembourser à mesure des livraisons de chaînes. Les principales commandes ont été passées par les bassins houillers de la Sarre, de Lorraine et du Nord-Pas de Calais⁶.

Confection des chaînes soudées par résistance

a/ Préparation

La préparation est faite à froid, sur des machines automatiques à cames. Le fil tréfilé, en couronnes, est redressé par un système de galets, amené contre une butée et cisailé à la longueur nécessaire pour l'obtention d'une maille. Chaque calibre nécessite un outillage spécial et un réglage de la machine. Dans une première phase, la barre cisailée est appliquée sur un mandrin de forme déterminée. Dans la seconde phase, deux poussoirs symétriques, se déplaçant dans le sens transversal, commencent à former la maille. Dans la troisième phase, deux poussoirs longitudinaux commencent à fermer la maille sur le mandrin. Dans la quatrième phase, la maille précédente est présentée à l'intérieur de la maille en préparation qui est resserrée jusqu'à ce que les extrémités soient suffisamment rapprochées pour permettre la soudure. Les efforts transmis par les divers poussoirs étant fournis soit par des cames, soit par des ressorts, leur intensité est constante. Il est donc nécessaire d'employer des fils de section circulaire régulière que l'on ne peut obtenir que par tréfilage.

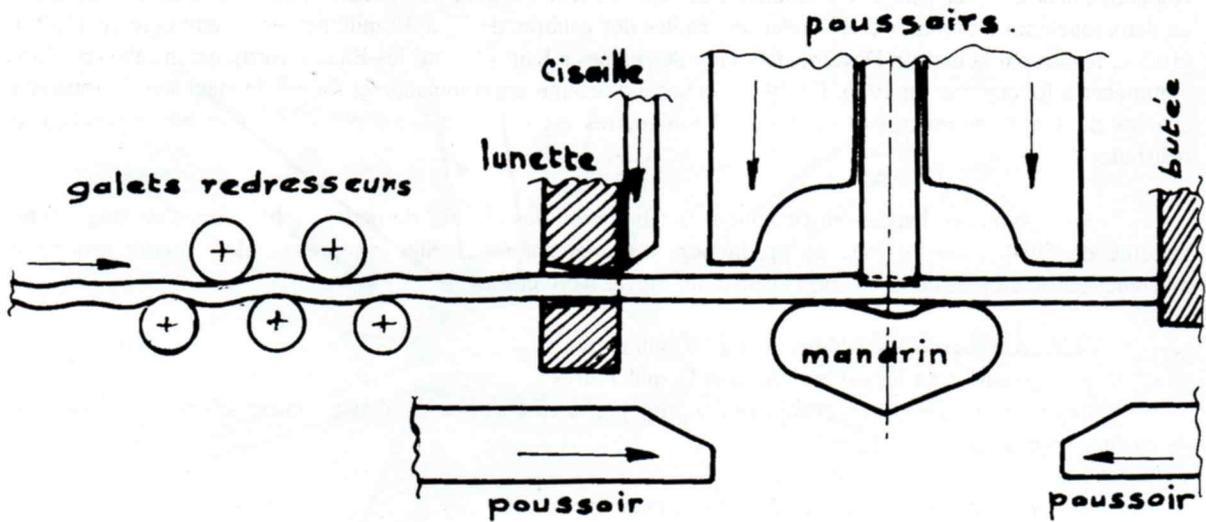
b/ Baraudage

Afin d'effectuer un dégraissage et d'obtenir le poli nécessaire à un bon contact des électrodes pour la soudure, la chaîne préparée est baraudée avec des copeaux de bois dans un tonneau rotatif à axe horizontal.

⁵ S.H.M. Lorient, 3V1/49.

⁶ Ces éléments nous ont été communiqués par l'ingénieur en chef Thévenard, ancien chef de l'atelier des chaînes.

schéma de la prépareuse.



principe de la préparation.

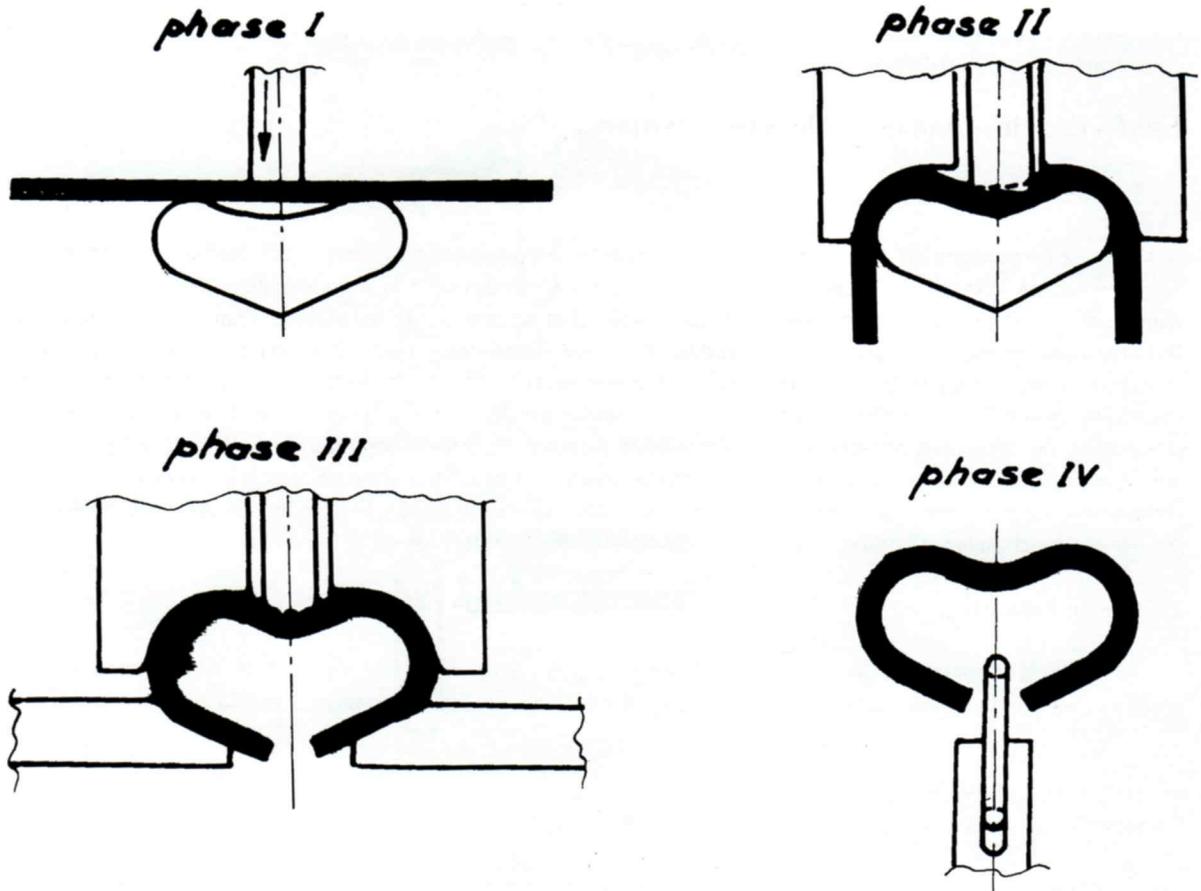
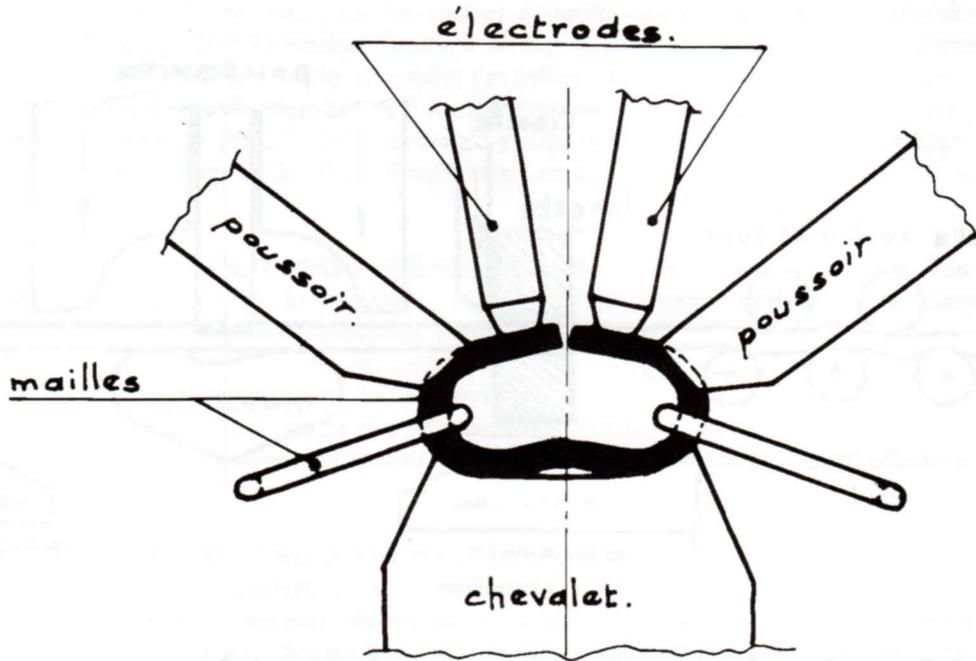
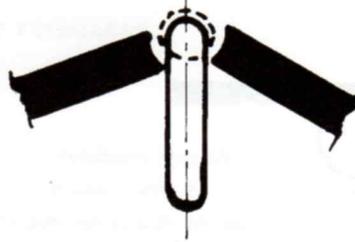


schéma de la soudeuse

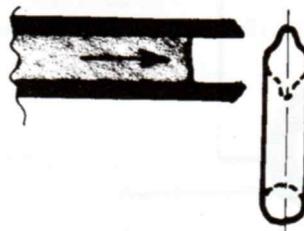
phase I (Soudage.)



phase II (étampage.)

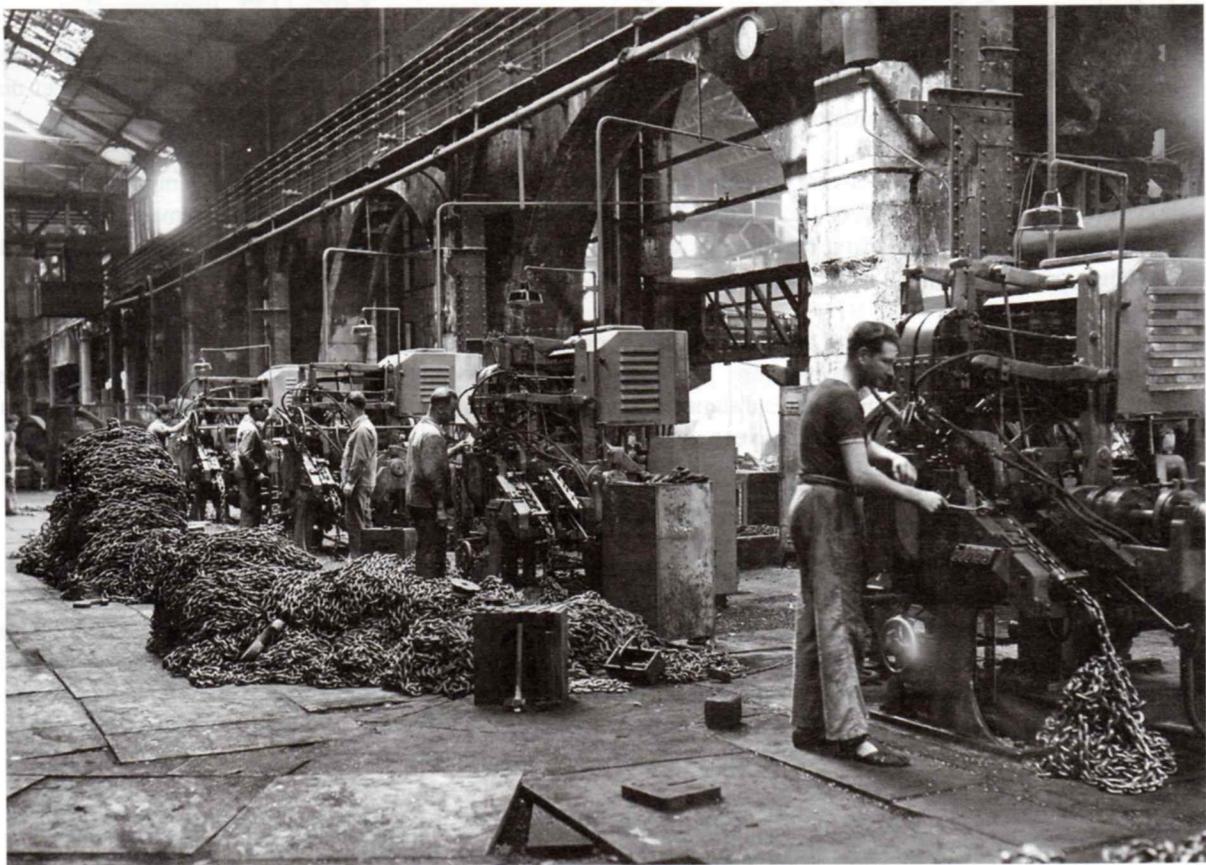


phase III (ébarbage.)





- PRÉPAREUSES -



- SOUDEUSES -

c/ Soudure

Cette opération est également réalisée sur des machines automatiques à cames. Dans la première phase quatre électrodes sont appliquées de part et d'autre de la section à souder, située au milieu d'une des branches de la maille, tandis que deux poussoirs viennent appuyer fortement au voisinage des anses, de manière à amener les sections en contact et permettre le passage du courant. La surface de contact ayant la plus grande résistance, c'est dans cette section que se produit le plus grand échauffement par effet Joule. La température atteint et dépasse 1300°. Il s'y produit une fusion pâteuse et une partie du métal, refoulée du fait de la pression exercée par les poussoirs, forme un bourrelet dans lequel se trouvent rejetées la plus grande partie des inclusions. Le courant est interrompu et les poussoirs sont maintenus un certain temps. Dans une phase d'étampage, deux matrices transversales viennent reformer la section de la maille dans la partie soudée. Enfin dans la phase d'ébavurage deux couteaux éliminent la bavure provoquée par l'étampage. Les mailles sont soudées de deux en deux, ce qui nécessite deux passages du chaînon sur la soudeuse.

Confection des chaînes soudées par étincelage

Les chaînes de plus gros calibres sont soudées par étincelage. Un premier groupe de confection par ce procédé, capable des calibres de 33 à 80 millimètres, livré en 1949 par la Société suédoise Asea-Svets, a été mis en service en 1950. Ce groupe comprend :

- Un chauffe-barres électrique
- Une prépareuse hydraulique
- Une soudeuse électrique par étincelage
- Un étau pneumatique
- Une presse à étais hydraulique

Les machines sont disposées autour d'un manège comportant deux grues de manutention, tournant autour d'un axe central et s'appuyant sur un chemin de roulement circulaire suspendu à la charpente de l'atelier, et une plaque tournante asservie à l'une des grues et recevant les deux maillons de chaînes en cours de confection.

Un second groupe, capable des calibres de 18 à 45 millimètres, a été livré par le même fabricant et mis en service en 1954. Les machines sont disposées autour d'un manège comportant quatre grues calées à 90° et une plaque tournante recevant les quatre maillons en cours de confection.

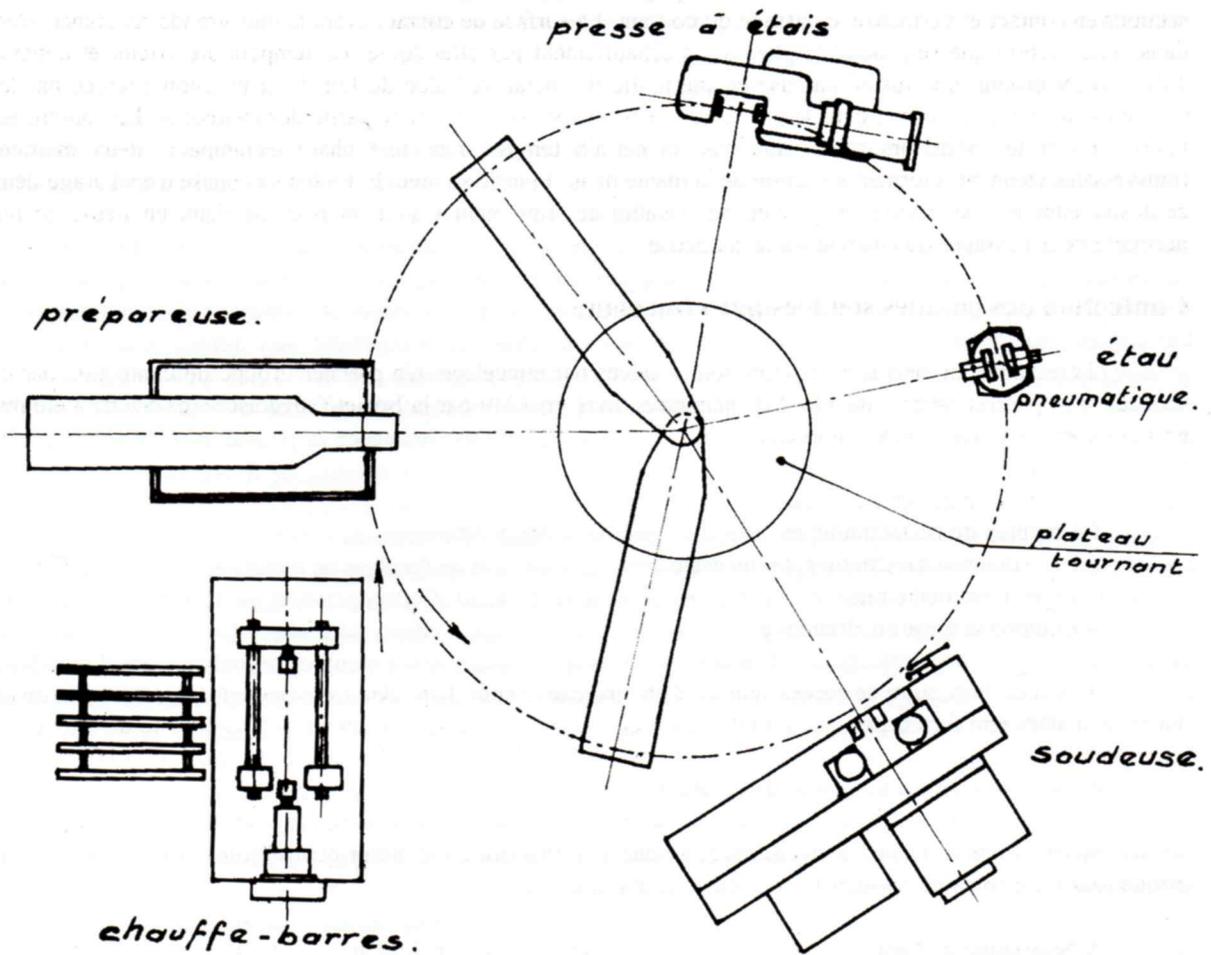
Une soudeuse Asea-Svets, capable des calibres 13 à 33 millimètres est venue remplacer la vieille soudeuse Davaine dans les années 1960, enfin, dans les dernières années d'activité de l'établissement, un groupe à étincelage Meyer Roth et Pastor capable des calibres 13 à 23 millimètres est venu compléter les moyens de fabrication pour les chaînes à haute résistance.

On part de barres en acier laminées à chaud. Ces barres sont découpées en lopins de longueur convenable soit à la scie soit à la meule à tronçonner. Les deux extrémités doivent être aussi parallèles que possible. Les lopins sont ensuite envoyés sur un tapis d'alimentation desservant le chauffe-barres. Le cycle de confection d'une maille comporte cinq opérations successives :

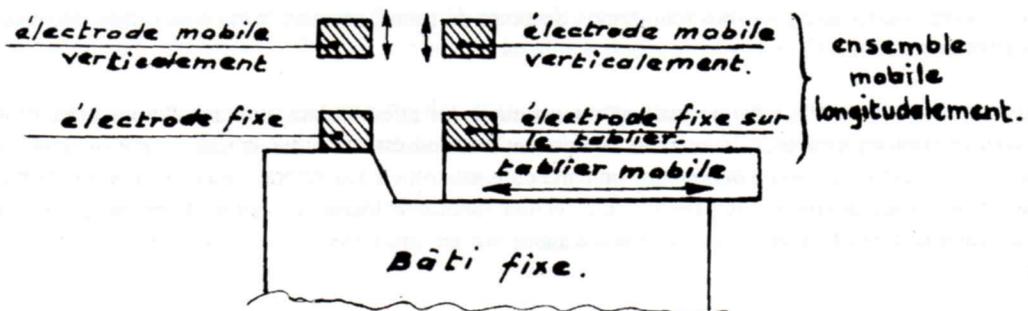
a/ Chauffage

Le lopin est placé entre deux électrodes, l'une réglée dans une position fixe selon le calibre de la chaîne à confectionner, l'autre équipée d'un vérin à air comprimé qui exerce un effort parallèlement à l'axe du lopin. Ce dernier est chauffé par effet Joule, sous une tension de l'ordre de 10 volts. La température nécessaire au formage, réglée soit par un relais chronométrique, soit par une cellule photoélectrique, est atteinte en moins de trois minutes pour un barreau de calibre 80 millimètres qui a une longueur d'environ 1 mètre. Le barreau est ensuite porté sur la prépareuse.

Groupe ASEA/SVETS de 33-80.



Disposition des électrodes de la soudeuse ASEA.



b/ Préparation

La prépareuse comporte un coulisseau, commandé par un vérin hydraulique, entraînant un galet entre deux mâchoires fixes. Au cours d'une première opération, on forme une anse de la maille, puis dans une seconde opération on ferme la maille sur celle qui a été confectionnée précédemment et qui pend à l'extrémité de la grue de manutention. Par une rotation de la grue on porte l'ensemble sur la soudeuse.

c/ Soudure

La maille est serrée à plat, entre deux paires d'électrodes. Les électrodes supérieures sont équipées de vérins hydrauliques qui viennent les appliquer fermement sur la maille à souder. Celles de gauche sont liées au bâti de la soudeuse et l'électrode inférieure est fixe. Celles de droite sont liées à un coulisseau qui peut se déplacer latéralement. Le mouvement horizontal de la partie mobile amène les parties à souder en contact. Les variations de résistivité du joint déterminent des mouvements de recul et d'approche et l'étincelage s'amorce, puis devient continu. Des particules de métal et d'impuretés sont arrachées aux deux surfaces et forment une gerbe d'étincelles. Les parties à souder se rapprochent lentement, puis suit une phase de refoulement, l'arc s'éteint et la soudure se termine par résistance. Une fois le courant coupé, une forte pression latérale continue à être appliquée sur le joint, réalisant ainsi l'opération de forgeage. Une partie du métal pâteux est expulsée et forme un bourrelet. On obtient ainsi des soudures exemptes d'inclusions d'oxyde, ce que le procédé par résistance ne pouvait pas permettre dans le cas des fortes sections.

Le réglage de la soudeuse est effectué, pour un calibre déterminé, au début de l'utilisation de chaque coulée d'acier⁷. Des résultats statistiques tenant compte du calibre et de l'analyse du métal permettent d'essayer un premier réglage. Une maille seule est confectionnée et pliée à chaud. Cette opération est répétée plusieurs fois après légères modifications du réglage, jusqu'à obtention d'un pliage à chaud satisfaisant. Un tronçon échantillon de trois mailles est alors confectionné. Il sera éprouvé jusqu'à rupture après recuit et refroidissement. Le réglage est parfait lorsque la rupture se produit par cisaillement dans l'anse d'une des trois mailles. La confection de la chaîne peut alors être entreprise.

d/ Suppression du bourrelet de soudure

Après soudure, la maille est amenée à l'étau pneumatique et le bourrelet provoqué par l'opération de refoulement est éliminé manuellement au burin pneumatique.

e/ Sertissage de l'étai

Enfin, un étai en acier étampé est serti à l'intérieur de la maille à l'aide d'une presse hydraulique horizontale qui assure également la mise en forme de la maille, et le cycle recommence pour la maille suivante. L'étai est froid et la maille est encore très chaude, sa contraction améliorera la tenue de l'étai.

Deux ou quatre maillons sont simultanément en confection, supportés par les grues de manutention et venant se déposer au centre sur la plaque tournante. Quand ils sont terminés, ils sont évacués à l'aide d'un cabestan, puis transportés vers les traitements thermiques. Le traitement est variable selon la nuance d'acier mise en oeuvre, mais il comporte toujours un recuit au dessus du point de transformation, suivi d'un refroidissement à l'air calme. Ces opérations sont réalisées dans des fours à sole mobile.

Après traitement thermique, chaque maillon est soumis à un effort de traction ayant pour effet de lui donner sa longueur définitive (voisine de 30 mètres) en donnant à ses mailles un léger allongement permanent, de l'ordre de 2 à 3 %. Le maillon est ensuite déposé sur un banc de visite, on y effectue les contrôles dimensionnels et un examen attentif de chaque maille afin de détecter les défauts éventuels. Dans les dernières années, cette visite est suivie d'un contrôle systématique des soudures par ultrasons.

⁷ Ces éléments nous ont été communiqués par l'ingénieur en chef Thévenard, ancien chef de l'atelier des chaînes.