

B. *Tectonique.*

Le charbonnage de Gives a pratiqué, au voisinage de sa limite nord, près de la Meuse, d'importants travaux de recherche et d'exploitation, dans la veine Six mai. M. Fauconnier, directeur du charbonnage de Gives m'a très aimablement documenté sur les résultats de ces travaux. Cette documentation m'a singulièrement facilité l'interprétation des allures du sondage et du niveau de ses strates. C'est au moyen des renseignements que j'avais ainsi recueillis que j'ai pu dresser une coupe des allures du sondage que je joins ici : figure 2. C'est grâce à cette coupe que j'ai pu dresser la coupe n° 1 du travail précité de 1922, laquelle coupe passe un peu à l'Ouest du sondage, par les concessions de Gives et de Couthuin. Cette coupe générale n° 1 montre de plus, les relations des allures reconnues par le sondage, avec les allures générales de la région.

Comme le montre cette coupe, le but poursuivi par le sondages n'a pas été atteint par suite de l'existence de la faille de Java, inconnue auparavant et que le sondage m'a permis de reconnaître. En effet la rencontre indubitable de cette faille, dans le sondage, et dans les travaux de Gives, m'a permis d'interpréter convenablement des accidents observés, dans les affleurements ou dans d'autres travaux et j'ai pu ainsi la faire figurer sur la carte du bassin de Huy (1922) et sur ses coupes.

Les travaux du charbonnage de Gives, au Nord, ont révélé l'existence d'un grand dressant de la veine Six mai, dressant qui correspond certainement au dressant ondulé que la coupe du sondage montre, sous la faille de Java. Le dressant de Gives est morcelé par deux petites failles, qui passent peut-être dans le sondage où leur présence est difficile à déceler, vu l'uniformité des roches, sous la faille. Peut-être aussi peut-on admettre que ces failles sont remplacées, au sondage, par les plissements que montre le dressant.

CHRONIQUE

Le traitement thermique et les essais de résistance des chaînes

par J.-W. DONALDSON, D. Sc. ;

traduit du *Foundry Trade Journal* du 22 juin 1933

par J. MARTELEE, Ingénieur au Corps des Mines.

La question des essais et du traitement thermique des chaînes et autres engins de levage intéresse tous les usagers et a donné lieu, en ces dernières années, à de multiples recherches métallurgiques.

Ces engins sont utilisés dans la plupart des industries et particulièrement dans les ateliers de construction, les forges, les fonderies, les docks, les chemins de fer. Les accidents qu'ils occasionnent sont fréquents; ces accidents sont parfois mortels. D'où la nécessité de vérifier, par des visites répétées et des essais, si les matériaux qui les constituent sont encore aptes au service.

Le « Anchors and Chains Cables Act » de 1899, le « Factory and Workshops Act » de 1901, le « Coal Mines Act » de 1911 et les différents règlements anglais visant les docks et la construction des bâtiments et des navires spécifient tous que les chaînes et autres engins de levage doivent être éprouvés, avant mise en service, sous une charge généralement double de la charge maximum prévue. Ils imposent également des visites fréquentes, des recuits et l'enregistrement méthodique de tous les accessoires et, notamment, des chaînes, anneaux, attaches, pivots et pièces de serrage.

La fragilité des chaînes et les dangers créés, en service, par cette fragilité ont surtout retenu l'attention. On sait, en effet, que les chaînes en fer forgé peuvent devenir extrêmement fragiles, à tel point qu'on en a vu se casser en tombant sur un sol dur. On admet que la fragilité est due à une cristallisation très prononcée occasionnée par les surcharges et la fatigue du

métal et on procède généralement à des recuits afin de supprimer les tensions internes et rendre à la matière une texture fibreuse. Mais on ne possède que depuis peu des renseignements concrets au sujet des effets du recuit des chaînes grâce aux recherches qui ont étudié systématiquement la question et tenté de déterminer l'influence de différents facteurs sur la fragilité.

L'utilité des éprouves périodiques des chaînes est assez discutée. Tout le monde est d'accord pour estimer que les chaînes neuves et celles qui ont été réparées après rupture doivent être éprouvées, mais beaucoup sont adversaires du renouvellement des éprouves après chaque recuit. Ils estiment, en effet, que la répétition des essais entraîne des déformations permanentes et réduit la ductilité et la vie des chaînes. Ceux qui restent partisans de ces essais disent que les déformations font apparaître les défauts naissants et, notamment, les fissures dans les congés et les soudures.

On a donc cherché à établir, d'une part, l'influence qu'exercent sur les propriétés des chaînes les déformations permanentes et les tensions internes produites par les éprouves et, d'autre part, les effets du recuit des métaux soumis à des tensions internes de ce genre et son influence sur les effets du forgeage à froid et sur les dimensions des grains.

Effet des éprouves et des recuits.

En 1924, M. C.-G. Lutts (1) a publié une note relative à des essais effectués au chantier naval de Boston. Des maillons prélevés dans de grosses chaînes en fer forgé de bonne qualité ont été soumis à des essais de chocs résultant de leur chute, d'une hauteur de 4 m. 80, sur une enclume de 900 kg. Quelques maillons ont été essayés à la livraison; d'autres, après service en mer; d'autres, enfin, après simple exposition à l'air libre.

Lors d'essais de réception, certains maillons ont été soumis à 150.000 mises en charges répétées correspondant à 15,5 kg. par mm²; on leur a, ensuite, fait subir l'essai de choc soit directement, soit après recuit à des températures comprises entre 600 et 960° C., soit après normalisation à 960° et nouvelle mise en charge sous 15,5 kg/mm².

Ces différents essais ont montré que le travail sous des charges variables et les éprouves avant ou après recuit rendent le

métal fragile : les maillons non recuits ont donné des cassures anguleuses et courtes rarement obtenues dans les pièces recuites qui ont donné des résultats plus favorables puisque la plupart d'entre elles ont résisté, sans se rompre, à cent essais de choc.

D'autres recherches ont été entreprises en 1924 grâce à l'intervention du « Home Office » auprès de l'« Engineering Research Board of the Department of Scientific and Industrial Research ». Les essais, effectués au National Physical Laboratory, avaient pour but d'étudier les effets des déformations plastiques et des traitements à chaud périodiques sur les propriétés des chaînes nouvelles et vieilles. Les chaînes ont été essayées : 1° à la réception; 2° après recuit à 650-750°; 3° après normalisation à 1.000° et 4° après déformation permanente produite, à l'aide d'une machine de traction statique, par une, deux ou trois mises en charge suivies, chacune, d'un recuit ou d'une normalisation. Les résultats de ces essais ont été publiés, en 1928, par le Dr. H.-J. Gough et M. A.-J. Murphy (2) dans la *Revue de l'Institut des Ingénieurs Mécaniciens* et, ensuite, dans le rapport spécial n° 3 du Département de la Recherche Scientifique et Industrielle.

Il fut constaté que des éprouvettes entaillées, prélevées dans des maillons qui avaient été plusieurs fois surchargés et recuits à 650°, étaient très fragiles, tandis que des chaînes entières constituées à l'aide de ces maillons résistaient parfaitement au choc; le recuit supprimait cependant le durcissement dû aux surcharges. Un recuit permit de faire disparaître la fragilité d'une chaîne qui n'avait pas été périodiquement recuite avant son retrait au service, des chaînes qui avaient été périodiquement éprouvées et recuites furent trouvées non fragiles, prouvant ainsi que les effets combinés des surcharges et des recuits avaient évité la fragilité. Ce défaut apparut comme provoqué dans les pièces en service par des effets mécaniques, car on parvint à rendre très fragiles des chaînes neuves tout simplement en les battant légèrement à l'aide d'un petit marteau.

Les résultats de ces essais permirent de conclure que, si on met à part les effets de surcharges grossières, le cas d'emploi de matériaux non adéquats et les défauts de fabrication, les causes de rupture des chaînes et des câbles sont de trois types.

On range dans les deux premières catégories les effets d'une surchauffe ou combustion partielle du fer pendant son laminage ou la confection des maillons et les chocs ou surtensions capables d'amener, en service, une détérioration progressive des soudures, non décelable par les épreuves et les visites superficielles et que les traitements thermiques ne peuvent pas faire disparaître.

La troisième et plus importante cause de rupture provient de la fragilité qui se développe, en service, sous l'effet des réactions entre chaînons et des actions mécaniques extérieures; elle résulte d'un durcissement superficiel de la matière accompagné d'une disparition de la ductilité, de telle sorte que la pièce est finalement constituée par un noyau ductile entouré d'une pellicule extrêmement fragile. Les efforts de flexion appliqués sous forme de chocs fissurent alors cette pellicule et reportent la tension maximum dans le métal ductile qui, fretté par le métal durci, se fissure à son tour et donne, finalement, une cassure dont l'aspect est caractéristique d'un métal fragile.

La pellicule durcie peut déjà se régénérer à 650°; un réchauffage à cette température ou une normalisation à 1.000° rendent donc, à nouveau, le métal ductile. Il convient de noter cependant que ce traitement thermique constitue uniquement un remède capable de supprimer la fragilité superficielle, mais qui n'empêche nullement un nouveau durcissement, en service, de la matière.

Effet des basses températures

Des recherches ont été effectuées également au National Physical Laboratory (3) sur la mise en défaut des chaînes aux basses températures. Les Ingénieurs et tous ceux qui utilisent des chaînes en fer forgé et des appareils de levage hésitent à les maintenir en service par temps froid parce qu'ils estiment que leur résilience décroît très rapidement à basse température. Afin d'étudier cette apparence de fragilité à froid, des bouts de chaînes de 13 maillons confectionnés à l'aide de barres d'un demi-pouce ont été soumis à des essais de choc à la traction à des températures comprises entre + 18 et - 78°. Les résis-

tances furent trouvées bonnes jusqu'à - 30°, mais à - 65° et au delà les résultats décrivirent rapidement jusqu'à ne plus atteindre que 25 % de la résistance aux températures ordinaires.

A - 20°, les cassures présentent encore l'aspect d'un métal ductile; à - 30°, elles deviennent grenues, caractéristique d'un métal fragile. Mais, tandis que les résultats obtenus semblaient indiquer que le métal devenait extrêmement fragile, la position des cassures montrait qu'un autre facteur devait intervenir. En effet, les cassures se produisaient généralement près de la soudure plutôt qu'aux extrémités des maillons, dans la zone des tensions maxima. On en déduisit que le fer forgé pouvait ne pas devenir fragile en lui-même, mais que les basses températures pouvaient accentuer l'effet des variations brusques de section. Il convenait, dès lors, de déterminer si, aux basses températures, la résistance au choc d'une barre entaillée diminue plus rapidement que celle d'une éprouvette de section constante.

Des éprouvettes cylindriques prélevées dans des barres pour chaînes montrèrent que le métal restait parfaitement ductile jusqu'aux plus basses températures atteintes, mais les éprouvettes entaillées donnèrent des résultats tout différents. Les diagrammes, établis à l'occasion de ces essais, donnant le travail de rupture par choc en fonction de la température des éprouvettes étaient constitués par des courbes sensiblement droites et légèrement décroissantes de 200 à + 15°, mais qui tombaient très rapidement en dessous de cette température. Les essais montrèrent donc qu'une fragilité propre aux barres entaillées croît très rapidement dans une zone de températures comprises entre la température normale et les températures atteintes, dans nos régions, au moment des gelées. Comme conclusion générale, ces deux séries d'essais montrent donc que le fer forgé ne devient pas fragile en lui-même à basse température, mais qu'une fragilité notable se crée dans les zones surtendues par suite des discontinuités de section. Les pièces en service peuvent donc être mises en défaut par des soudures mal conformées ou des déformations superficielles. Il en résulte que les engins de levage doivent être manipulés avec soin et

visités très fréquemment en vue du remplacement immédiat des pièces défectueuses. Les soudures doivent être soigneusement confectionnées et parachevées.

Recherches allemandes

W. Pungel (4) a étudié le traitement à chaud des chaînes en vue de la neutralisation des tensions internes créées par les éprouvettes; il a publié ses résultats en 1930. La méthode d'investigation qu'il avait adoptée était basée sur le fait que, entre + 100 et — 80°, le fer et l'acier doux présentent une chute brusque de la résistance au choc des éprouvettes entaillées et que la température correspondant au point d'inflexion de la courbe énergie de rupture-température dépend du degré de déformation à froid que l'on a fait subir au métal et est l'autant plus élevée que la déformation a été plus importante.

Il mesura donc l'influence du degré de déformation sur cette température d'inflexion à l'aide d'éprouvettes entaillées prélevées dans des maillons de chaînes déformés sous l'effet de charges déterminées.

Il préleva ses éprouvettes dans des maillons de chaînes en fer forgé et en acier doux normalisés à 950°, normalisés puis soumis aux tensions d'épreuve, normalisés puis éprouvés et « vieillis » à 250°. Il détermina également l'effet du recuit à 700, 950 et 1.100° de chaînes préalablement éprouvées et fit toujours prélever, dans chaque maillon, une éprouvette du côté de la soudure et une éprouvette du côté opposé.

Ces essais ont montré que les chaînes en fer forgé et en acier doux donnent des résultats semblables. La déformation permanente produite par l'épreuve réduit notablement la résistance au choc des chaînes, le réchauffage à 250° tend à en accroître la fragilité.

L'auteur préconise, par conséquent, un traitement à chaud des chaînes non seulement après l'épreuve mais après chaque année de service, ce traitement étant constitué par une normalisation à 950° plutôt qu'un recuit à 700° qui risque de développer les grains aussi bien dans le fer que dans l'acier.

Alors que, pour l'acier doux, des mises en surcharge et des recuits successifs à 650-700° peuvent donner un accroissement

notable des grains et, par conséquent, un abaissement de la résistance au choc de la matière, l'étude de Gough et Murphy a montré que des chaînes en fer forgé, régulièrement réchauffées à 650-700° et éprouvées ne sont pas trop fragiles et qu'on peut donc se contenter de faire périodiquement des recuits à cette température suivis d'épreuves.

Les essais effectués en Angleterre ont également montré que des éprouvettes, prélevées dans des maillons ayant subi une série de recuits et de surcharges, sont fragiles mais que des essais de choc effectués sur des chaînes entières ne font pas apparaître ce défaut.

Pungel a uniquement étudié des maillons séparés, ses conclusions ne pouvaient donc pas signaler que les chaînes entières en fer forgé se sont montrées moins fragiles, ce qui n'est du reste pas le cas pour celles en acier. Il ne fait aucune allusion à la fragilité due à un durcissement par fatigue de la pellicule extérieure du métal; la chose s'explique par le fait que ses éprouvettes ont été prélevées au centre des maillons et qu'il n'a donc pas observé les parties superficielles.

Recherches américaines

Un mémoire important relatif à une étude sur les effets du recuit des chaînes faite sous les auspices de l'« American Society of Safety Engineers » fut publié, en 1931, dans *Heat Treating and Forging* (5).

Les essais furent effectués sur des chaînes en acier, ils montrèrent que le recuit à 815° réduit la résistance à la fatigue sans faire disparaître les effets de fatigue préexistants. Ces essais furent effectués avec et sans enlèvement de la pellicule superficielle, mais cette opération ne donna pas une variation sensible de la résistance à la fatigue.

Des essais de traction donnèrent des résultats semblables pour des pièces fatiguées et des éprouvettes prélevées dans des barres neuves : on en conclut que ces essais ne peuvent donner aucun avertissement quant au degré de fatigue du métal.

On obtint également des résultats concordants dans des essais de traction et des essais de fatigue exécutés sur des tronçons de

chaînes recuites à 815 et 540° ou recuites à 815° après fatigue partielle.

Les chaînes d'acier confectionnées par soudure électrique donnèrent, lors de ces essais, des résultats meilleurs et plus réguliers que les chaînes soudées à la forge.

On constata que le réchauffage des chaînes en fer forgé jusqu'à des températures comprises entre 540 et 620° en diminue simultanément la résistance à la traction et à la fatigue, ces pertes de résistance étant d'autant plus importantes que la température atteinte avait été plus élevée et le refroidissement plus lent. Il en résulte que ce genre de recuit est défavorable aussi bien pour les chaînes en acier que pour celles en fer, il convient de noter cependant que la fatigue semble ne pas devoir être considérée comme une cause de rupture normale des chaînes car les chaînes à maillons courts ne présentent pas de danger de fatigue excessive du métal sous l'effet des variations de charge lorsque, bien entendu, on ne dépasse pas la charge limite.

Après la publication, en 1928, des travaux de Gough et Murphy, les savants américains voulurent en reproduire les résultats. Leur premier essai de martelage sur des chaînes d'un demi-pouce ne leur permit pas d'obtenir une fragilité superficielle, mais ils y réussirent, par la suite, en utilisant des chaînes d'un pouce. Ils découvrirent également que la fragilité apparaît nettement sous l'effet d'un travail produisant soit un déplacement latéral des couches superficielles du fer ou de l'acier, soit une compression des fibres telles que celle produite par le martelage. Ce défaut se développe aussi bien dans les chaînes en fer que dans celles en acier, mais un recuit à 750° les régénère.

Comme conclusion de ses essais, le Comité des recherches a préconisé de recuire les chaînes en fer à cette température et de normaliser les chaînes en acier à 900° plutôt que de les recuire à 750°. Il propose également des durées variables de chauffe pour les chaînes de diverses dimensions et un refroidissement à l'air libre plutôt qu'en vase clos. Pour déceler la fragilité, il considère comme le plus pratique l'essai de martelage de quelques maillons et il estime qu'il y a lieu de soumettre les chaînes réparées à une charge d'épreuve dépassant de 10 % seulement la charge maximum.

Autres essais

Gough et Murphy ont également étudié les effets d'une laminage défectueux dans les barres en fer et les maillons de chaînes (6). Ils vérifièrent qu'on peut obtenir ainsi un métal à gros grains plus dur et plus fragile que le fer normal. Dans un cas, ils trouvèrent une fibre riche en phosphore (0,48 %) et silicium (0,38 %). L'examen microscopique ne permit pas de conclure que le métal était brûlé et un traitement à 1050° ne réduisit pas les dimensions des grains, l'analyse thermique montra que les points de transformation étaient fortement abaissés. Ils supposèrent que cette fibre provenait de l'introduction, pendant la fabrication, de barres mal puddlées parmi des barres normales.

En conséquence, un essai spécial pour des métaux de ce genre se trouve prévu dans les nouvelles règles de la B.S.I. pour les chaînes en fer forgé.

D'autre part, le National Physical Laboratory étudie actuellement le recuit à basse température des chaînes en acier et les effets des traitements thermiques périodiques des chaînes calibrées. Les recherches relatives à la mise en défaut des chaînes en fer forgé aux très basses températures (jusqu'à — 78°) se sont étendues vers la détermination des effets des recuits à basse température sur les accessoires en acier doux attachés aux chaînes en fer et du traitement thermique à préconiser pour les chaînes et engins de levage en acier doux, mais des résultats définitifs n'ont pas encore été obtenus.

Le recuit des chaînes calibrées engendre une sérieuse difficulté qui n'existe pas pour les chaînes ordinaires pour lesquelles une légère variation de longueur n'a guère d'importance.

Des chaînes en fer forgées à la main et des chaînes en acier doux soudées à l'arc électrique ont été essayées sur une machine spéciale, les unes à la réception et les autres après plusieurs recuits à 650 et 750°.

Des essais poussés jusqu'à la rupture ont montré que les roues dentées usent les chaînes sans les rendre fragiles tandis que les recuits périodiques les déforment et en réduisent, par conséquent, la durée d'utilisation. Si les résultats actuels se confirment, il conviendrait de revoir soigneusement la question du recuit de ces genres de chaînes.

Conclusions générales

Il semble résulter de ce qui précède que les ruptures des chaînes en fer forgé, si on met à part les conséquences des défauts dus à une mauvaise composition de la matière ou à un façonnage défectueux et les effets des surcharges, sont généralement dues non pas à une fatigue générale du métal, mais à une des trois causes suivantes : brûlure ou surchauffe du métal pendant sa fabrication ou lors du forgeage des maillons, détérioration de la soudure par suite d'un choc ou d'une déformation, gênese d'une fragilité superficielle due à des effets mécaniques ou à des réactions entre maillons.

Les essais sur éprouvettes entaillées ont montré que la fragilité à basse température est occasionnée par les variations brusques de section.

Les chaînes en acier doux ont donné des résultats peu différents de celles en fer.

Les recuits font disparaître les effets de durcissement dus aux mises en charge et au travail de la matière, l'effet combiné des éprouves en surcharge et des recuits ne rend pas le métal fragile.

Le recuit des chaînes en fer forgé à 650-700° donne des résultats satisfaisants en régénérant la matière durcie. Il convient de normaliser les chaînes en acier à 1.000° plutôt que de s'arrêter aux températures préconisées pour le fer, parce que les grains de l'acier peuvent se développer notablement à ces températures. Si des accessoires en acier sont fixés à des chaînes en fer, il faut les enlever avant de recuire les chaînes ou procéder à une normalisation de l'ensemble à 1.000°. La durée du traitement thermique doit être adaptée aux dimensions des chaînes et le refroidissement se fera à l'air libre plutôt que dans des récipients clos.

En Angleterre, les éprouves après recuit sont poussés jusqu'au double de la charge maximum, soit 12 d² si cette charge vaut 6 d². Elles n'ébranlent pas la matière proprement dite, mais produisent un allongement de 3 à 4 %.

Cet allongement est sans importance lorsqu'il s'agit de chaînes ordinaires, mais il n'en est pas de même pour des chaînes calibrées ou des chaînes pour roues dentées dont la durée d'utili-

sation se trouve considérablement réduite à cause des déformations; il conviendrait donc de voir si les éprouves sont toujours réellement nécessaires.

Le Home Office a publié en 1930, sous la signature de G.-S. Taylor (7), un memorandum dans lequel se trouvent décrits les accessoires des différents types d'engins de levage, leur fabrication et leur usage, les éprouves et les recuits, les défauts; il est particulièrement utile pour les ingénieurs, les métallurgistes et tous ceux qui utilisent des chaînes et appareils de levage.

BIBLIOGRAPHIE :

- (1) C. G. Lutts, Amer. Soc. Testing Materials, juin 1924.
- (2) H. J. Gough et A. J. Murphy, Dept. Scien. and Indust. Research : Eng. Research; Special Report n° 3, 1928. Proc. Inst. Mech. Eng., 1928, n° 2.
- (3) H. J. Gough et A. J. Murphy, Proc. Inst. Mech. Eng., 1930, Vol. 119.
- (4) W. Pungel, « Stahl und Eisen », septembre 1930.
- (5) « Heat Treating and Forging », 1931, Vol. 17.
- (6) J. Gough et A. J. Murphy, Journal Iron and Steel Inst., 1931, Vol. 123.
- (7) G. S. Taylor, Home Office Memorandum, 1930.

Note du traducteur : Dans un autre domaine, un accident récent a montré que des effets de fatigue du métal et un grossissement des grains peuvent se produire dans certaines pièces d'ancrage de foyers, fours et hauts fourneaux soumises à des charges variables par suite des variations de température.

On ne pourrait trop attirer l'attention des Industriels sur les dangers qui peuvent en résulter et sur la nécessité de soigner tout particulièrement le calcul de ces éléments et d'éviter toute mise en œuvre de métaux de réemploi.

Le diagramme fer-carbone montre qu'une bonne normalisation ne peut s'obtenir que dans une zone de températures assez réduite : la mesure précise des températures atteintes a donc une importance capitale.