

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 63 (1937)
Heft: 1

Sonstiges

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.03.2025

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

NOUVEAUTÉS — INFORMATIONS DIVERSES — AFFAIRES A L'ÉTUDE

Régie : ANNONCES SUISSES S. A., à Lausanne, 8, Rue Centrale (Pl. Pépinet) qui fournit tous renseignements.

Définition et interprétation des caractéristiques des aciers spéciaux.

Extrait d'une conférence faite aux membres de l'Association des ingénieurs diplômés de l'École provinciale supérieure de Charlevoix,
par M. André Lemoine, ingénieur civil des mines.

(Suite et fin.)¹

Du point de vue physico-chimique, l'acier se comporte comme un alliage dans lequel, suivant la température et la composition, il peut y avoir coexistence de constituants (phases en équilibre) ou, au contraire, formation de solution solide homogène, solution solide hétérogène, ou enfin existence d'états hors d'équilibre (c'est le cas des aciers trempés); enfin l'élément essentiel qui entre dans la composition de l'acier, le fer, se présente sous plusieurs variétés allotropiques, dont les deux principales sont, je vous le rappelle : le fer *alpha*, stable à température ordinaire, qui ne dissout pas le carbone, et est magnétique; le fer *gamma*, stable au-dessus de 920°, qui dissout le carbone et n'est pas magnétique.

Influence de la structure macrographique, de l'état physico-chimique et structural, conditions de l'essai mécanique, voilà autant de facteurs qui ont besoin d'être précisés, pour donner à la caractéristique que nous cherchons, sa véritable signification.

Au point de vue pratique, ces facteurs s'appelleront :

Corroyage.

Traitement thermique.

Dimensions des éprouvettes.

Vous remarquerez que les aciéries laissent dans leurs catalogues une place importante aux conditions d'essais avant toute énumération de caractéristiques mécaniques. Si donc, vous avez à fixer le choix d'un acier, il est pour vous de la plus haute importance, de ne jamais oublier que les chiffres qui vous sont donnés expriment des valeurs qui correspondent rigoureusement aux conditions de ces essais, et non dans l'immense majorité des cas, aux véritables conditions d'emploi du métal, sur lequel vous aurez fixé votre choix.

Remarquez, à titre d'exemple, la rigueur avec laquelle ce souci est exprimé par une aciérie française dans son catalogue, édité en 1932 :

« Conditions d'essais. — Toutes les caractéristiques figurant dans ce catalogue sont déterminées avec la plus grande exactitude possible sur des éprouvettes prélevées et traitées dans des conditions parfaitement définies.

« Ces caractéristiques constituent donc des renseignements susceptibles de fixer le choix de la clientèle, mais ne sont une garantie formelle de notre part que lorsque les essais sont exécutés dans les conditions où nous les exécutons nous-mêmes. En effet, suivant la section et la masse des pièces envisagées, suivant la position où sont prélevés les barreaux d'essai, les caractéristiques mécaniques d'un acier déterminé sont sujettes à des variations importantes.

« Tous les essais nécessaires au contrôle de la fabrication et dont les résultats concordent avec les chiffres moyens indiqués sur cette notice, sont toujours exécutés sur des éprouvettes prélevées dans un lingot d'essai.

« Essai de traction. — Après étirage du lingot d'essai en rond de 20 mm, l'éprouvette de traction (diamètre : 13,8 longueur utile : 100 mm) est ébauchée à 15 mm de diamètre traitée, rectifiée à 13,8 et essayée à la machine de traction.

« Essais de résilience. — Après étirage du lingot d'essai en carré de 12 × 12 mm² l'éprouvette de résilience est sectionnée à 55 mm de longueur, traitée, usinée suivant le tracé *Mesnager* (section de 10 × 10 mm entaille de 2 mm de profondeur, avec fond arrondi de 2 mm), puis essayée au mouton-pendule Charpy ».

De plus, chaque tableau de caractéristiques porte la mention

¹ Voir *Bulletin technique* du 19 décembre 1936, page 315.

Caractéristiques mécaniques moyennes. Ces caractéristiques moyennes ne sont pas des caractéristiques garanties.

Voyez avec quel soin cette aciérie prévient cette confusion, en présentant les courbes donnant les caractéristiques mécaniques après trempe et différentes températures de revenu :

« Dans l'élaboration d'une coulée d'acier, il est impossible de reproduire d'une façon constante, dans une même nuance de métal, des caractéristiques chimiques et des caractéristiques mécaniques identiques, ce qui se traduit par les marges de tolérances usuelles des cahiers des charges.

« Les valeurs des caractéristiques mécaniques $R - E - A - \rho$ varieront donc légèrement d'une coulée à l'autre.

« Pour cette raison, les graphiques donnant les variations de ces caractéristiques mécaniques en fonction du traitement thermique, sont constitués, dans notre catalogue, par un faisceau de courbes dont l'écartement représente les variations normales en fabrication courante, et les traits les plus forts, les valeurs les plus probables de ces caractéristiques ».

Cette parenthèse fermée, je vais, si vous le voulez bien, passer en revue ces différents facteurs, dimensions des éprouvettes, corroyage, traitement thermique.

Influence des dimensions des éprouvettes : Les résultats ne sont comparables entre eux que si le rapport de la longueur entre repères (L) à la racine carrée de la section (S) reste constant. Voici les dimensions respectives des différents types d'éprouvettes :

	Diamètre	Longueur	$L : \sqrt{S}$
Éprouvette française	13,8 mm	100 mm	8,17
» anglaise	½ pouce	2 pouces	4 pouces
» allemande longue	20 mm	200 mm	11,3
» » courte	20 mm	100 mm	5,65

Par exemple, un *acier mi-dur*, recuit, d'une résistance de 60 kg/mm², a donné, comme allongement :

- 17,5 % pour l'éprouvette allemande courte,
- 18,5 % pour l'éprouvette anglaise,
- 20 % pour l'éprouvette française,
- 27 % pour l'éprouvette allemande longue.

Pour un acier à 2 % de *nickel*, traité à 62 kg/mm² chiffre à peu près contrôlé par les quatre essais, les valeurs respectives de l'allongement, sont, dans le même ordre :

18 — 21 — 26,5 — et 29 %.

Ces deux exemples suffisent à vous montrer le rôle considérable que joue la dimension de l'éprouvette de traction.

Les valeurs de la résilience sont également affectées par les dimensions du barreau et la forme de l'entaille. On utilise, en Europe, deux types d'éprouvettes de même longueur 55 mm et de même section 10 × 10, qui ne diffèrent entre elles que par la forme et la profondeur de l'entaille :

Entaille de 2 mm avec fond arrondi de 2 mm pour l'éprouvette *Mesnager*.

Entaille de 5 mm avec fond arrondi de 2 mm pour l'éprouvette *Charpy*; ce dernier type a été adopté par les Réseaux de chemins de fer français, au moment de l'unification de leur cahier des charges.

Une troisième éprouvette de résilience, très rarement employée d'ailleurs, et uniquement pour les grosses pièces, a 160 mm de longueur, une section de 30 × 30, et une entaille de 15 mm, à fond arrondi de 4.

Pour les deux premières, la valeur de la résilience Charpy que l'on désigne par $U. F.$ est toujours plus faible que celle de la résilience *Mesnager*; la section de rupture est, en effet, de 50 mm² pour la première et de 80 mm² pour la seconde, alors que la masse tombante du mouton-pendule utilisé, est la même dans les deux cas.

Il ne faut pas en conclure, d'ailleurs, que le rapport des deux valeurs soit celui de 50 à 80.

Voici quelques exemples :

Acier à 2 % nickel, trempé à l'eau à 900° C, à 55 kg/mm² de résistance. Les valeurs de résilience obtenues sont respectivement :

U. F.	22 mkg/cm ²
Mesnager	36 »
Grosse éprouvette.	46 »

Les deux premières sont prélevées dans un barreau forgé de 12 × 12, et la grosse, dans un barreau de 35 × 35.

Autre exemple :

Acier au chrome-nickel de cémentation trempé à l'huile sans revenu, pour $R = 120$ kg/mm² :

U. F.	6,50 mkg/cm ²
Mesnager	8,50 »
Grosse éprouvette.	11 »

Ces quelques chiffres montrent suffisamment l'influence de la dimension des éprouvettes de traction et de résilience sur la valeur absolue des caractéristiques.

Corroyage. — Je passe, maintenant, à l'influence du corroyage, et je vais me permettre de rappeler quelques notions, car du point de vue pratique, cet aspect de la question dans l'étude d'une pièce mécanique, n'est pas sans intérêt.

Au moment de la solidification de l'acier, il y a prédominance du développement cristallin dans la direction des axes cristallographiques ; autrement dit, le phénomène de cristallisation est anisotrope. L'arrêt de la croissance est la seule conséquence de la limitation mutuelle de ces développements individuels à forme dendritique.

Cette limitation de toutes parts du cristal initial aboutit à la constitution du grain. C'est la périphérie des rameaux dendritiques qui se solidifie en dernier lieu ; cette zone est riche en inclusions et en oxygène dissous ; ce sont ces derniers éléments qui dessinent le motif macrostructural de l'acier ; la solidification achevée, rien ne peut plus agir sur cette distribution qu'une déformation plastique du métal.

Le laminage et le forgeage écraseront cet édifice dendritique, mais ne le feront pas disparaître, et au fur et à mesure de l'allongement que subit le métal, tous ces rameaux auront tendance à devenir parallèles au sens de l'écolement, et constitueront ce que l'on appelle la *fibra* du métal. A partir de ce moment, la macrostructure prend un sens. Les propriétés, donc les caractéristiques du métal, vont dépendre de ce sens. La différence des valeurs de ces caractéristiques sur des éprouvettes prises « en long » et « en travers » (pour employer des expressions consacrées) va croître sans cesse avec l'importance du corroyage, dont l'expression mathématique est le rapport de la section initiale du lingot à la section finale de la barre obtenue par forgeage ou laminage.

Pour un corroyage donné, les propriétés mécaniques vont dépendre de l'incidence de l'éprouvette par rapport au sens des fibres.

Charpy a montré que dans un acier mi-dur (corroyage 1,3) la résilience tombait de 13,5 mkg/cm² pour une éprouvette prélevée dans le sens du laminage à 3,4 mkg/cm² pour une incidence de 45°, et à 1,3 mkg/cm² pour le travers.

D'après *Bréarly*, qui a fait ses essais sur un acier à 3 % de nickel (corroyage non précisé) trempé à l'huile à 830° C et revenu à 650° C, la résistance à la traction varie peu en passant du sens de la fibre, c'est-à-dire l'incidence 0 à l'incidence 90°, qui correspond au « travers ». Par contre, les autres caractéristiques décroissent très rapidement. La limite élastique et l'allongement diminuent peu jusqu'à 40° d'incidence. Mais quand on passe de 40 à 60° l'allongement tombe de 30 % et la limite élastique de 50 %. Enfin, c'est surtout la valeur de la résilience qui est le plus affectée en passant successivement du sens de la fibre aux incidences de 20, 40, 60, 80° ; la valeur de la résilience *Izod* (éprouvette américaine,

dont une extrémité est encastrée) n'est plus respectivement, en %, de la valeur en long, que :

92 % pour 20°
62 % pour 40°
40 % pour 60°
26 % pour 80° d'incidence.

Ces chiffres sont suffisamment éloquentes pour montrer que dans la pratique, une pièce mécanique forgée par exemple, ne présentera pas dans toutes ses parties des caractéristiques constantes.

Dans ce cas, pour le choix de l'acier, les caractéristiques indiquées par l'aciérie n'auront que la valeur d'une indication.

Dans un vilebrequin usiné dans la masse, les bras coupent la fibre orthogonalement et on est obligé de prévoir des dimensions telles qu'elles ne sont plus pratiquement compatibles avec les nécessités d'encombrement, de légèreté et de sécurité qu'on impose aujourd'hui aux moteurs. Aussi, presque tous les vilebrequins sont-ils forgés ou estampés et le constructeur s'applique à faire suivre au « fibrage » du métal le contour des coudes.

Si les propriétés mécaniques dépendent, comme nous venons de le voir du sens du « fibrage », il ne faut pas perdre de vue que les caractéristiques en long qui ont une grosse importance augmentent avec le corroyage. C'est pour cette raison que la plupart des cahiers des charges imposent un corroyage minimum de 4. Pour un acier au carbone mi-dur, les différences constatées entre un barreau forgé (corroyage 4) et un barreau moulé sont les suivantes (essais sur 10 coulées différentes) :

la résistance tombe de	9 %
la limite élastique de	18 %
l'allongement de	24 %
et la résilience <i>UF</i> de	42 %

ces différences seraient beaucoup plus grandes si, au lieu de mouler le barreau d'essai, il avait été prélevé dans un gros lingot.

J'en arrive maintenant au dernier facteur qui joue également un très grand rôle dans l'interprétation des caractéristiques de l'acier, je veux parler du traitement thermique.

Le traitement thermique des aciers est bien, à beaucoup près, et toutes choses égales par ailleurs, la condition essentielle de la bonne utilisation des aciers spéciaux.

Le meilleur acier spécial ne vaut rien s'il est mal « traité ». Toutes ses propriétés mécaniques dépendent du traitement thermique qui conditionne (la composition de l'acier mise à part) l'état physico-chimique et structural de l'acier.

Avant de passer en revue les principaux états réalisés par traitement thermique : *recuit, trempé, revenu*, je rappelle l'influence de la température sur la texture, c'est-à-dire le grain de l'acier.

La grosseur du grain dépend :

1. des transformations allotropiques par passage d'une zone critique de température ou *point de transformation* ;
2. de la température elle-même.

Le premier cas ne peut que provoquer la multiplication des grains donc la réduction de leur grosseur moyenne, mais en dehors de toute transformation allotropique, l'élévation de température, ou le maintien à température élevée, a tendance à provoquer le grossissement du grain.

Dans l'acier, ce phénomène se produit surtout aux températures élevées : en effet, les résistances passives ont tendance, à basse température, à entraver le mécanisme de l'enrichissement des grains les plus gros, au détriment des plus petits.

Les propriétés mécaniques de l'acier — toutes choses égales par ailleurs : composition, corroyage, etc. — sont fonction de la grosseur du grain, et c'est par son action sur la grosseur du grain que le traitement thermique a une influence prépondérante sur les propriétés de l'acier.

Recuit. — Le recuit consiste à porter l'acier au-dessus de son point de transformation pour détruire la structure existante et à

lui faire traverser la température critique à une vitesse de refroidissement suffisamment faible pour laisser tous les constituants de l'acier en état d'équilibre.

Ce recuit sert donc pratiquement à faire disparaître les effets de la trempe et à adoucir l'acier par retour à l'état perlitique.

La température de recuit, le temps de maintien à cette température, la vitesse de refroidissement, tels sont les facteurs qui influent sur les propriétés de l'acier à l'état recuit.

Voici quelques exemples :

2 éprouvettes de traction en acier chrome-molybdène à 0,40 % de carbone, portées lentement à 875° C, maintenues un quart d'heure :

la première, refroidie à l'air calme, donne : 87 kg/mm² de résistance ;

la seconde, refroidie dans la chaux, donne : 72 kg/mm².

Autre exemple :

2 éprouvettes d'acier fondu au carbone, à 0,9 % de carbone :

la première, chauffée à 850° C pendant une demi-heure, refroidie à l'air calme, donne 87 kg/mm² de résistance ;

la seconde, prélevée dans la même barre, chauffée à 850° C pendant 6 heures, et refroidie dans le four en 12 heures, ne donne plus que : 48 kg/mm².

Trempe et revenu. — Les effets de la température sont les mêmes que dans le cas du recuit, mais à l'effet de la température s'ajoute l'influence de la composition qui agit directement sur la vitesse critique de trempe. La vitesse critique de trempe est, je vous le rappelle, la vitesse de refroidissement pour laquelle il y a discontinuité dans la loi d'abaissement du point de transformation au refroidissement et qui se traduit par l'apparition de la martensite.

Cette vitesse critique de trempe dépend :

de la température de trempe, de la composition.

Mais comme il faut atteindre cette vitesse, pour obtenir l'état trempé, la vitesse de refroidissement influera directement sur les caractéristiques du métal.

Pour un acier d'une composition donnée, une température de trempe déterminée, un bain de trempe donné, c'est donc des dimensions de la pièce à tremper que dépendra la valeur des caractéristiques à mesurer, puisque c'est des dimensions de la pièce que dépendra la vitesse de refroidissement. Plus la pièce sera volumineuse, plus la vitesse de refroidissement sera faible, et plus la vitesse critique de trempe sera grande, plus les effets de la trempe diminueront depuis la surface de la pièce jusqu'à son centre.

Cette différence d'état entre la peau et le centre fait intervenir la notion de pénétration de la trempe.

Je vais citer quelques exemples :

1. D'abord un acier au carbone dur, rond 110 — trempé à l'eau et revenu.

Les caractéristiques obtenues sont :

	<i>R</i> kg/mm ²	<i>E</i> kg/mm ²	<i>A</i> %	ρUF mkg/cm ²
à la peau	70	45	17	6
à mi-rayon	70	43	16	4
au centre	70	42	15	3

2. Acier à 2 % de nickel, trempé et revenu pour $R = 60$ kg/mm².

4 essais ont été faits, en prélevant les éprouvettes mi-rayon d'un rond de 22, de 50, de 100, de 200 Φ .

La résilience *Mesnager* passe respectivement de 24 à 20, puis 18, enfin 16 mkg/cm².

3. Chrome-nickel, rond 110 mm Φ , trempé à l'huile et revenu :

	<i>R</i> kg/mm ²	<i>E</i> kg/mm ²	<i>A</i> %	ρUF mkg/cm ²
à la peau	76	52	18	12
à mi-rayon	73	50	17	10
au centre	70	45	16	8

4. Chrome-nickel de cémentation, ogive de 120 \times 120, trempé à l'huile, sans revenu.

à la peau	110 kg/mm ²
au quart du rayon	106 »
à mi-rayon	100 »
aux trois quarts du rayon	95 »
au centre	90 »

5. Acier auto-trempant, Φ 100, trempé à l'air.

à la peau	172 kg/mm ² de résistance
à mi-rayon	170 » »
au centre	167 » »

Ces trois nombres montrent, tout de suite que, pour une pièce d'un certain volume, qui a besoin d'être trempée à cœur, il n'y a pas d'autre solution que d'employer un acier auto-trempant.

Ces quelques exemples illustrent la notion de pénétration de la trempe.

En voici maintenant d'autres, sur l'effet de masse.

1. Acier chrome-nickel, mi-dur :

un rond de 120 Φ dans lequel a été forgée une barre de 20 mm Φ ; ce rond de 100 Φ est trempé à l'huile à 850° C, et revenu à 650° C, une éprouvette prise à la peau donne :

<i>R</i>	96 kg/mm ²
<i>E</i>	80 »
<i>A</i>	16 %
ρM	10 mkg/cm ² .

Plusieurs éprouvettes, prises dans la barre de 20, sont trempées et revenues à des températures différentes : 600, 615, 625, 640, 650° C, etc... Après l'essai de traction on ne retient, pour la comparer avec la précédente, que celle qui donne : 95 kg/mm² de résistance. Ses caractéristiques sont les suivantes :

<i>R</i>	95 kg/mm ²
<i>E</i>	84 kg/mm ² au lieu de 80 kg/mm ²
<i>A</i>	16 %
ρM	15 mkg/cm ² au lieu de 10.

2. Acier au chrome-molybdène, sur rond 180 Φ et rond 20 Φ trempé et revenu pour $R = 100$ kg/mm².

Pour l'éprouvette à la peau du gros rond :

<i>R</i>	101 kg/mm ²
<i>E</i>	86 »
<i>A</i>	10,5 %
ρ	10 mkg/cm ² .

Sur le Φ 20 :

<i>R</i>	99 kg/mm ²
<i>E</i>	89 »
<i>A</i>	15 %
ρ	14 mkg/cm ² .

3. Enfin, chrome-nickel de cémentation :

rond de 200 Φ et barreau de 20 Φ , trempé à l'huile sans revenu :

<i>R</i>	127 kg/mm ² pour le barreau
<i>R</i>	93 kg/mm ² pour l'éprouvette prise à la peau du gros rond.

Ces quelques exemples suffisent à montrer que les caractéristiques d'un acier spécial ont besoin d'être interprétées.

Les données commerciales d'un catalogue constituent une source de renseignements comparatifs.

Dans la réalité d'une réalisation pratique, différente des conditions d'essai de l'aciérie, les caractéristiques indiquées n'ont qu'une valeur indicative. L'utilisateur aura toujours intérêt à consulter l'aciérie, en lui fournissant les données complètes du problème à résoudre.

ANDRÉ LEMOINE, ingénieur civil des Mines.