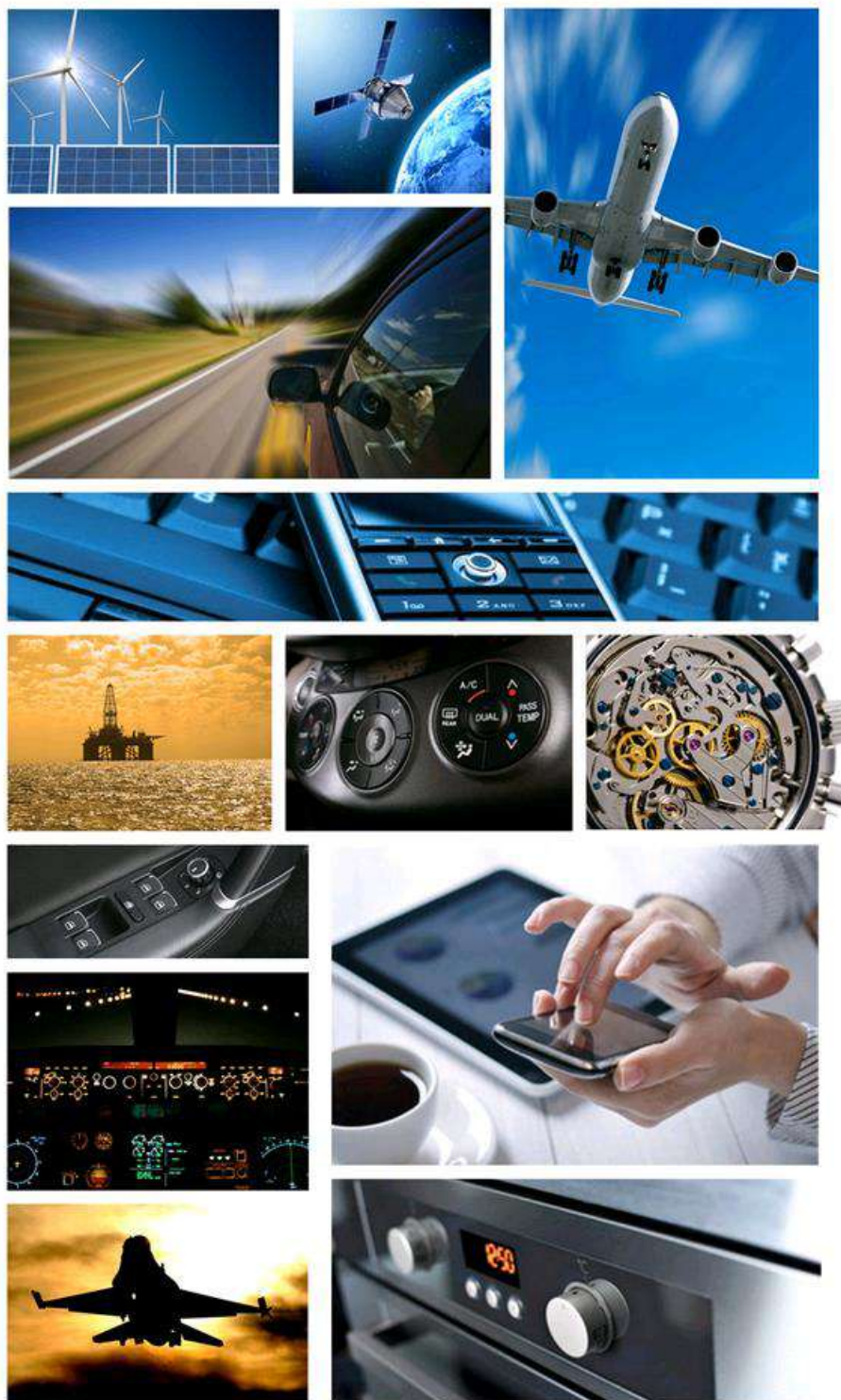


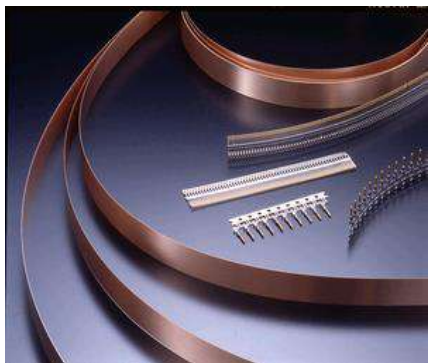
Alliages Cuivre Béryllium

Traitement Thermique



Introduction

Les alliages de cuivre au béryllium offrent à l'utilisateur l'avantage de pouvoir d'abord façonner aisément ses pièces les plus délicates (usinage ou formage) et ensuite par un traitement thermique simple, à basse température, d'obtenir les caractéristiques mécaniques nécessaires pour ses besoins. Les cupro-bérylliums sont ainsi les alliages à base de cuivre utilisables avec le maximum de souplesse.



En effet, avec la plupart des autres alliages de cuivre les pièces doivent être formées à partir d'un métal ayant déjà ses propriétés finales et, pour cette raison, elles sont souvent difficiles, sinon impossibles à fabriquer, l'allongement, donc la malléabilité, étant d'autant plus faible que les autres caractéristiques mécaniques sont plus élevées.

Ces produits sont disponibles sous forme de bandes, barres, fils, ou même tubes et sont corroyés à froid soit par laminage, soit par étirage.

Le traitement thermique des cupro-bérylliums se fait en deux étapes :

- 1) Le traitement thermique de mise en solution par chauffage du métal suivi d'une trempe. Ce traitement est une opération d'adoucissement qui, dans la presque totalité des cas, est réalisée par nos soins avant livraison du demi-produit et ne doit pas être fait chez l'utilisateur.
- 2) Le revenu, qui est une opération de durcissement par précipitation structurale, est souvent réalisé par l'utilisateur.

Choix de l'état de livraison

NGK Berylco France peut livrer les alliages Berylco dans les différents états suivants, en ordre croissant de dureté :

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| ■ Trempé (A) | ■ 4/4 Dur (H) |
| ■ 1/4 Dur (1/4 H) | ■ Etats revenus en usine |
| ■ 1/2 Dur (1/2 H) | |

Nous ne traiterons pas des états revenus usine qui sont réservés à la fabrication de pièces nécessitant des déformations peu importantes et dont l'utilisation ne fera pas appel aux caractéristiques optimales du Cuivre-Béryllium, puisque ces états ont déjà subi le traitement de revenu dans nos usines, évitant ainsi cette opération après la réalisation des pièces.

Le choix de l'état sera fait en fonction de la sévérité du formage à froid des pièces, en se souvenant de la règle

suivante : **"il faut utiliser le métal le plus écroui possible compatible avec la déformation à réaliser"**.

L'état trempé mou (A) est conseillé pour les pièces nécessitant des emboutissages profonds. Pour le choix des autres états, voir notre notice générale/catalogue qui donne les possibilités de pliage en fonction des états de livraisons.

Dans le cas rares où une déformation excessive doit être faite au cours du façonnage, il peut être nécessaire de radoucir le métal par une nouvelle mise en solution (chauffage et trempe) afin de pouvoir continuer la déformation à froid. Dans ce cas, le service technique de NGK est à la disposition de l'utilisateur et doit être consulté, chaque cas devant être traité comme un cas particulier.

Revenu des alliages cuivre au béryllium

Après formage ou usinage, le traitement thermique de précipitation structurale (ou revenu) sera effectué pour donner les propriétés finales désirées pour l'utilisation de la pièce.

Ces propriétés sont liées à l'état de livraison du produit d'origine, à la durée et à la température de traitement. Le premier facteur étant déterminé par la forme de la pièce à obtenir, on peut, en faisant jouer les deux autres éléments, avoir toute une combinaison de caractéristiques, telles que limite élastique, résistance à

la traction, ductilité, conductibilité électrique, dureté, résistance aux chocs, de façon que chaque application particulière commande le choix du temps et d'une température de revenu.

Pour profiter pleinement des caractéristiques des alliages de cuivre au béryllium données par ces innombrables combinaisons temps/température, des essais préliminaires sont recommandés, en particulier lorsque des cycles à hautes températures et temps courts sont envisagés.

Les courbes reprises en fin de ce fascicule montrent les phénomènes se produisant lors du revenu. La résistance, la limite «élastique», la dureté croissent avec le temps et la température, passent par un maximum et décroissent. L'allongement subit le phénomène inverse. Plus la température est élevée et plus le phénomène est rapide,

toutefois, dans une certaine plage de la température, la courbe atteint un palier qui se maintient pendant plusieurs heures sans modification appréciable. La conductibilité électrique croît avec la température et la durée du revenu.

Temps et température du revenu

Pour les alliages Berylco 25, 165 et 33/25, le revenu peut s'effectuer dans une gamme de température allant de 260°C à 440°C. Les duretés maximales, qui ne sont d'ailleurs pas forcément les caractéristiques recherchées, sont obtenues pour une durée de 3 heures entre 310°C et 340°C suivant l'état d'origine.

Pour l'alliage 165, les durées maximales sont obtenues avec des températures légèrement plus élevées d'environ 10 à 15°C que le B25.

Pour les alliages 25 et 33/25, deux sortes de graphiques ont été établies :

- 1) Des courbes pour une durée donnée (3 heures) qui montrent les caractéristiques mécaniques obtenues lorsque la température de traitement varie.

Ces courbes mettent particulièrement en évidence les phénomènes du revenu :

- La zone située avant le maximum est appelée la zone de sous-revenu.
- La zone située après ce maximum est la zone de sur-revenu.
- La dispersion des caractéristiques mécaniques due à la différence d'état avant traitement est plus réduite en période de sur-revenu qu'en période de sous-revenu. Cette constatation est un premier guide dans le choix du traitement si l'on veut obtenir des pièces terminées ayant la plus faible dispersion possible.

- 2) Des courbes en fonction du temps pour divers niveaux de température. Ces courbes appellent les remarques suivantes :

- Lorsque les températures sont inférieures à 300°C, la précipitation est lente et des temps longs sont alors nécessaires si l'on veut obtenir des propriétés proches du maximum. Par contre, lorsque les températures sont supérieures à 350°C les vitesses de précipitation s'accroissent et le durcissement se produit pour des périodes de temps court.

- Au début du revenu les courbes ont une forte pente, puis elles présentent des paliers ou bien elles chutent (pour les températures supérieures à 340°C), mais la pente en sur-revenu reste la plus faible et laisse quelque lassitude sur le temps.

En pratique, on aura intérêt lorsque l'on ne désire pas utiliser les caractéristiques de dureté maximale, à effectuer un sur-revenu qui permettra d'obtenir moins de dispersion dans les caractéristiques finales. D'autre part, on remarquera que pour un temps de 3 heures la plupart des courbes ont une faible pente et présentent un pseudo-palier, donc en général un sur-revenu temps long est préférable.

Il arrive souvent cependant que du fait de la température, des dilatations différentielles peuvent se produire et que d'autre part, la précipitation provoque un léger rétrécissement du cupro-béryllium (de 1-3mm par m).

Si l'on veut obtenir des pièces d'une grande précision, en réduisant au maximum les déformations inévitables au cours du revenu, on aura intérêt à travailler à des températures relativement basses en sous-revenu temps long ou alors à utiliser un conformateur.

Prenons un exemple pour mieux illustrer ce qui précède : A partir d'un matériau à l'état ½ dur, on désire obtenir une limite élastique à 0.2% de l'ordre de 1000 à 1100 N/mm². Avec un revenu d'une durée de 3 heures, on fera un sur-revenu à 370°C environ et un sous-revenu vers 260°C. On fera donc normalement un traitement de 3 heures à 370°C, par contre, si l'on craint les déformations et que l'on ne peut utiliser de conformateur, on fera un traitement de 3 heures à 260°C. Maintenant, si l'on désire faire une production importante et que l'on dispose de matériel très précis, on pourra faire un traitement court d'1/2 heure à 400°C par exemple, mais dans ce cas il y aurait lieu de faire des essais pour bien encadrer la température et le temps.

Conformateur

Il arrive que, dans des cas particuliers, on soit amené à effectuer le revenu, les pièces étant fixées dans des formes ou conformateurs pendant le traitement. Ceci est nécessaire seulement lorsque les dimensions

doivent être maintenues à des tolérances très serrées. On fera de préférence des traitements plutôt en sur-revenu avec des temps longs.

Si le conformateur est très massif par rapport aux pièces à traiter, il est souhaitable d'utiliser un thermocouple dans la charge qui mesurera la véritable température des pièces qui sont traitées.

Si les pièces à traiter nécessitant une grande précision dimensionnelle sont très petites, il n'est plus pensable

d'utiliser un conformateur. On peut alors effectuer dans une matière pulvérulente comme le sable par exemple. Ce dernier maintient les pièces pendant le traitement ce qui suffit en général à limiter les déformations.

Fours de revenu

Les fours à circulation d'air sont recommandés pour ces traitements. Les atmosphères contrôlées donnant des produits brillants après traitement peuvent être utilisées, mais on veillera à éviter leur contamination par des produits chlorés.

Les fours à bains de sels pour leur chauffage rapide et uniforme donnent de bons résultats dans toute la plage de températures des revenus du cupro-béryllium. Ils sont intéressants lorsque le temps du revenu est court et si l'on dispose d'une régulation précise de la température.

Des mélanges de sels ayant leurs points de fusion entre 135°C et 220°C existant dans le commerce sont généralement utilisés. Les sels à base de nitrates se

dissolvent aisément dans l'eau chaude mais nécessitent certaines précautions qui sont spécifiées par les fournisseurs.

Les fours à air ou à atmosphère contrôlée sans circulation ne peuvent être utilisés que pour des temps longs de l'ordre de 3 heures. Les fours à vide sont déconseillés en raison du faible échange thermique dans ce type de four.

A la sortie du four de revenu, la vitesse de refroidissement étant sans importance, les pièces peuvent être trempées dans l'eau froide ce qui facilite la manipulation et fixe définitivement la fin du temps de revenu.

Nettoyage, décapage et brillantage

Lorsque le revenu n'a pas été fait sous atmosphère contrôlée et que l'on désire obtenir après traitement une surface propre et brillante, un certain nombre d'opérations devront être prévues.

Avant le traitement thermique, on veillera à ce que les pièces à traiter soient exemptes de matière grasse et, le cas échéant on effectuera un dégraissage soigneux.

Après revenu les pièces devront être décapées. Une méthode simple est le décapage sulfurique qui consiste à immerger les pièces dans une solution de 20 à 30% en volume d'acide sulfurique et d'eau. Le bain devra être chauffé entre 70 et 80°C et les pièces devront être maintenues dans le bain entre 15 et 30 minutes/secondes suivant le degré d'oxydation (ou jusqu'à ce que le dépôt noir disparaisse). Le décapage sera suivi d'un rinçage à l'eau froide.

Avant de passer à l'opération de brillantage, il faut savoir que le décapage doit être parfait sinon le brillantage ne sera pas correct, des zones mates ou piquées risquent de demeurer et la durée du décapage qui peut être prolongée sans inconvénient, pourra être appréciée par les résultats obtenus lors du brillantage.

Après décapage, on peut effectuer un brillantage. De nombreux bains de brillantage existent, certains restituent simplement la couleur du métal, nous pouvons en citer deux :

- 1) Immerger dans une solution froide de 15 à 30% d'acide nitrique en volume et d'eau. L'opération doit être arrêtée dès l'apparition des premiers dégagements.
- 2) Immerger 30 à 45 secondes dans une solution froide de 15% d'acide sulfurique en volume et d'eau dans laquelle on ajoute 60 à 70 g/litre de bichromate de sodium.

Dans les deux cas, il y a lieu de faire suivre l'opération d'un rinçage soigneux à l'eau froide et d'un séchage.

D'autres bains de brillantage donnent un brillant plus satisfaisant comme par exemple les bains "blanc" (mélange d'acides sulfurique et nitrique à diverses concentrations), mais leur maniement est délicat car la dissolution du métal est très rapide. Dans le cas d'électro-déposition, le bain au bichromate est déconseillé.

Courbes-Effets du revenu

Les diverses courbes qui suivent, précisent l'effet du revenu pour plusieurs caractéristiques :

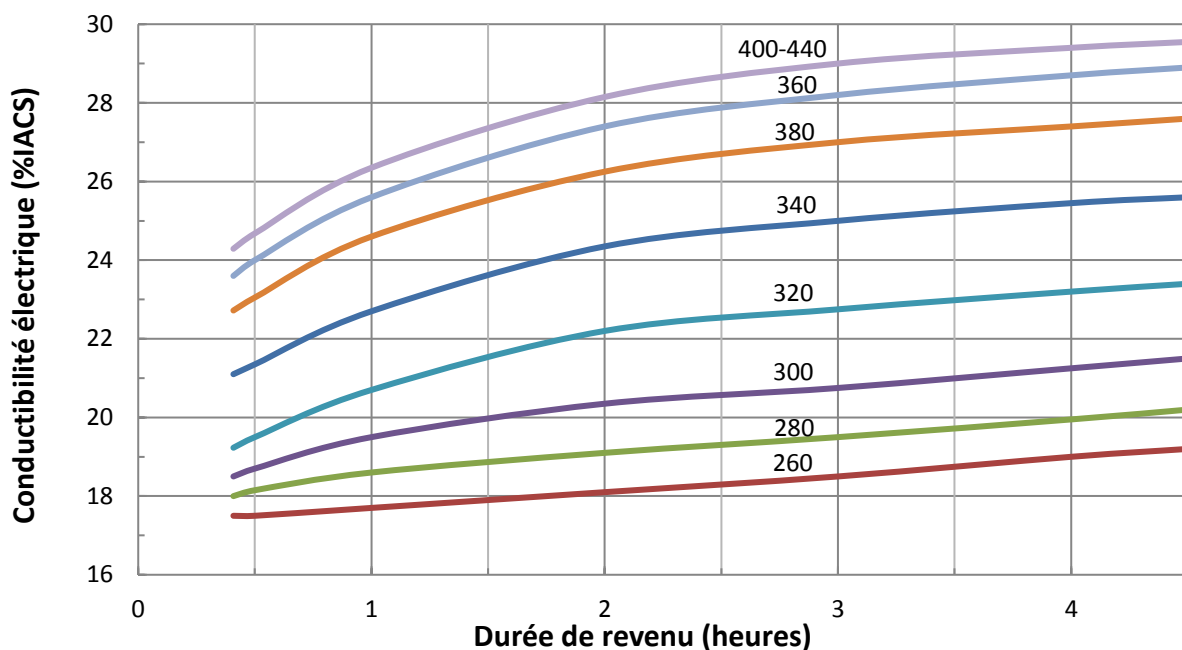
- Résistance à la traction (R_m ; charge de rupture)
- Limite élastique ($R_{p0.2}$) à 0.2% d'allongement
- Allongement (A%) mesuré sur 50mm
- Dureté Vickers
- Résistance à la fatigue
- Conductibilité électrique

Ces courbes doivent seulement être considérées comme des courbes moyennement représentant l'allure du phénomène et elles ne doivent pas être prises à la lettre

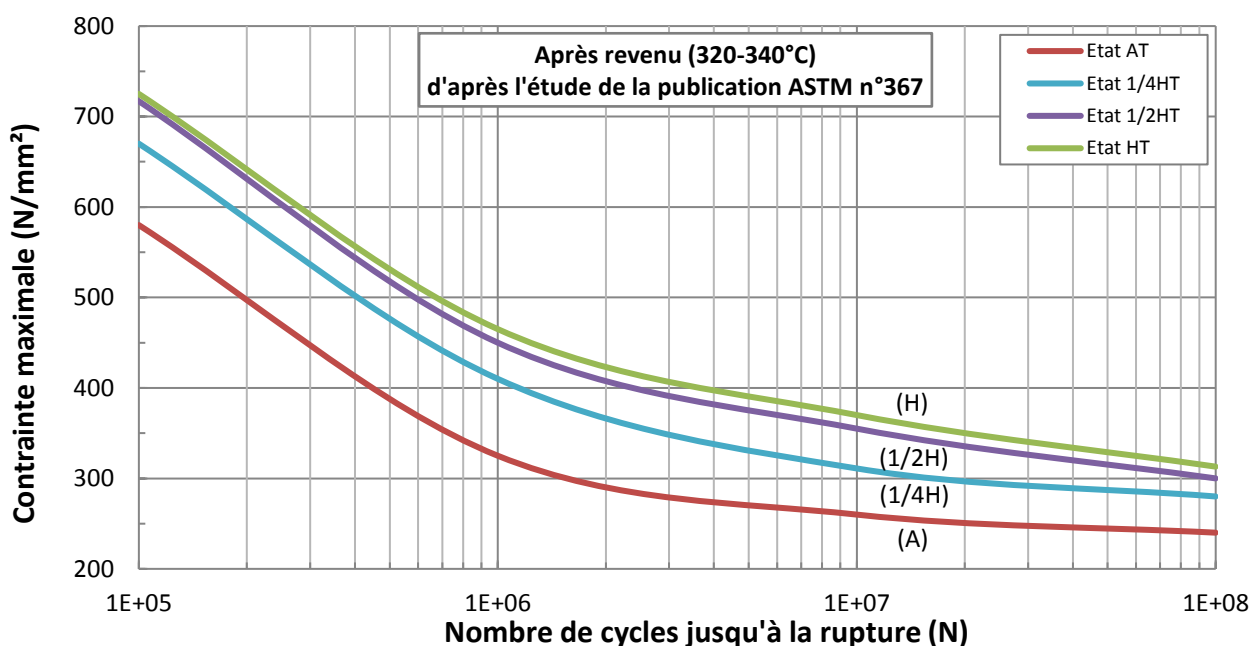
pour une détermination précise d'une durée et d'une température du revenu en vue de l'obtention de caractéristiques données.

En particulier, les courbes de résistance à la fatigue extrapolées de l'étude présentées dans la publication ASTM N°367, sont à considérer comme des ordres de grandeur, cette caractéristique étant liée à de nombreux facteurs comme la forme de la pièce, les défauts de découpe, l'état de surface pendant l'utilisation, etc.

Conductibilité électrique en % I.A.C.S.

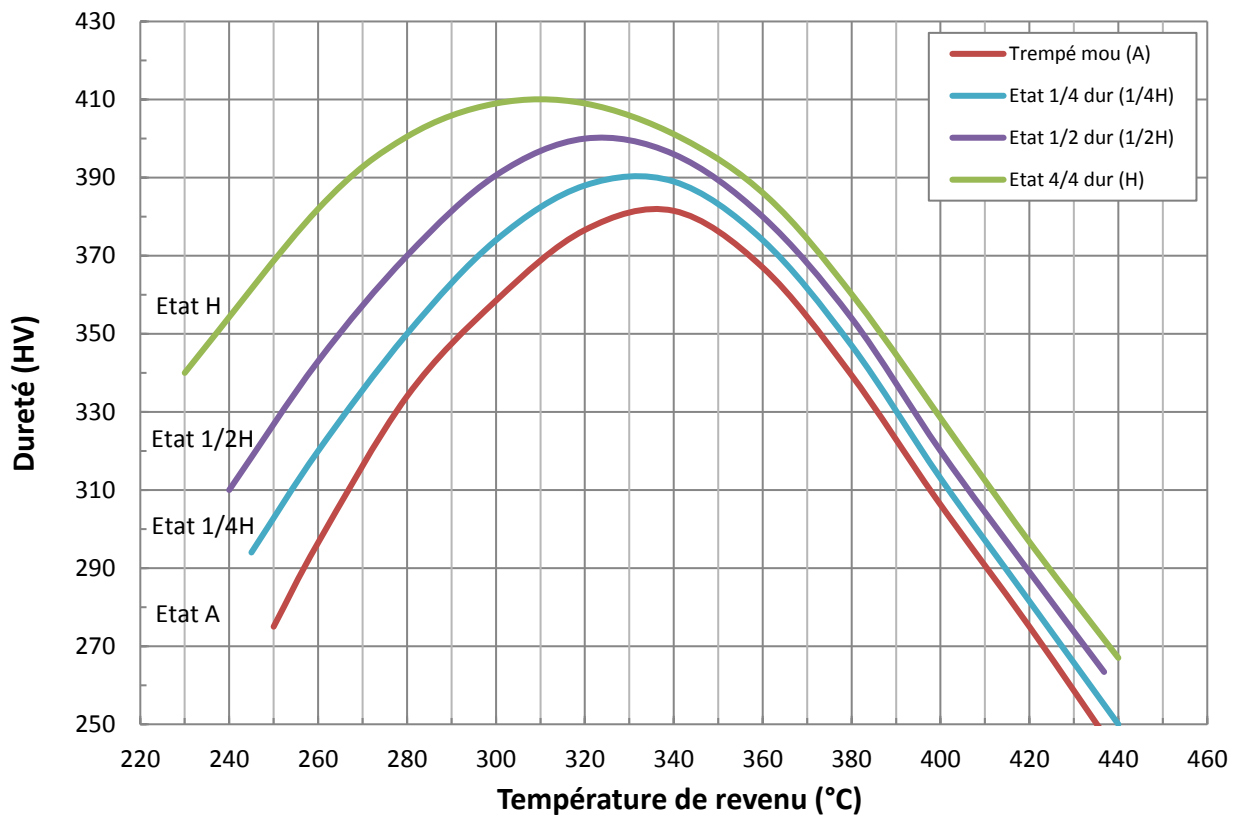


Résistance à la Fatigue aux pliages alternés

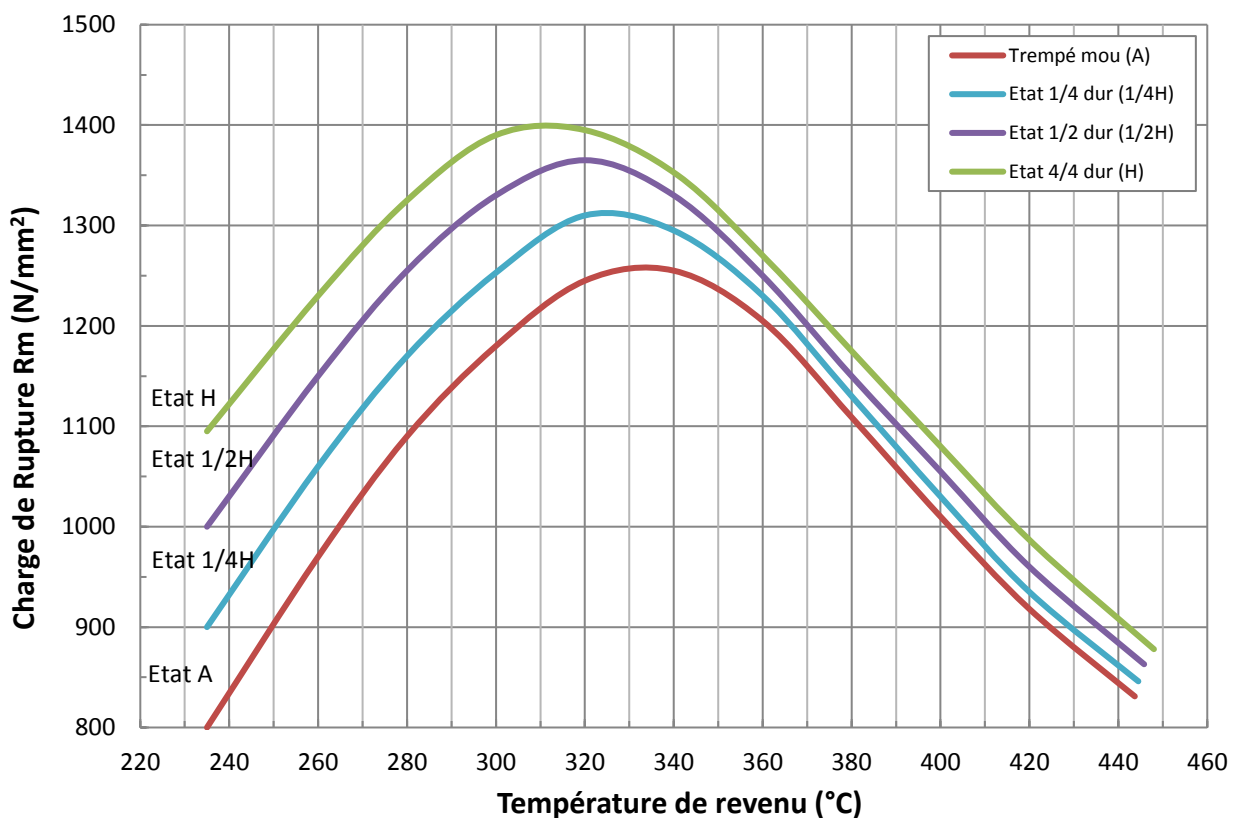


ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Dureté Vickers

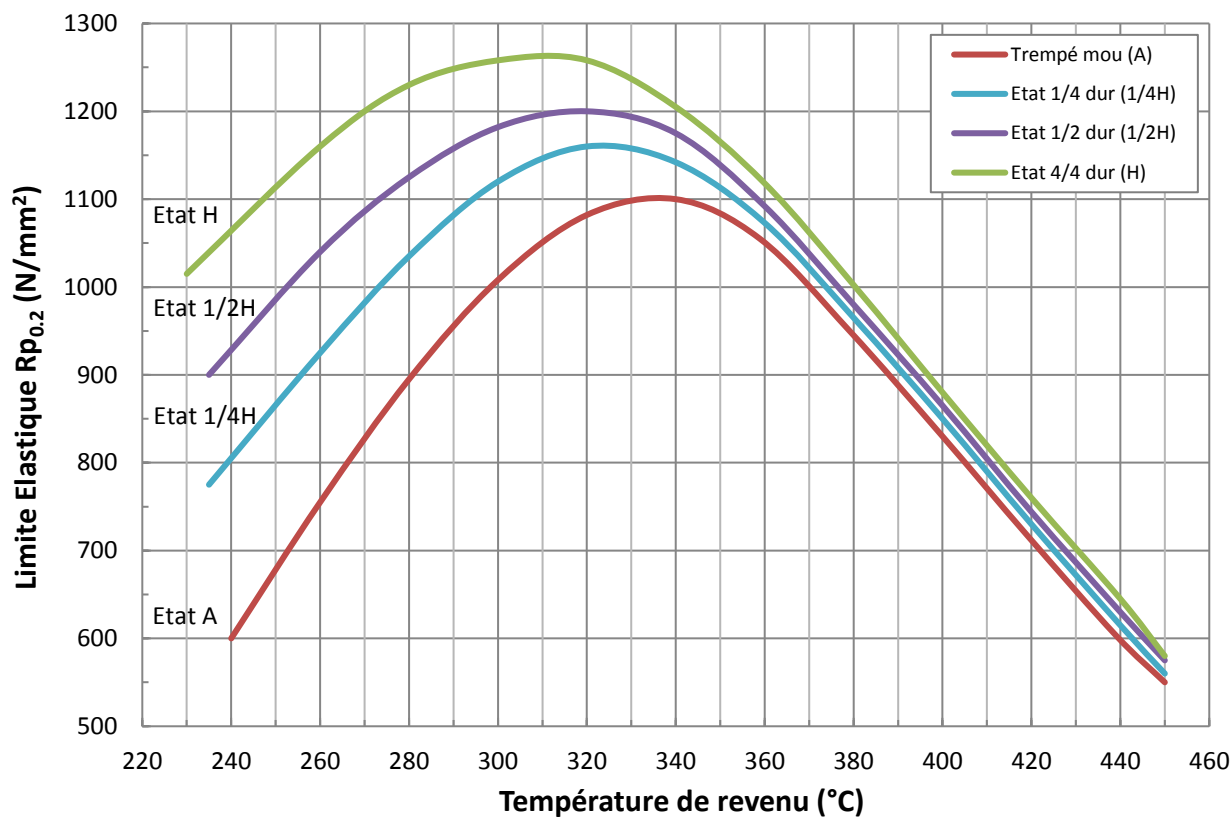


Charge de rupture Rm

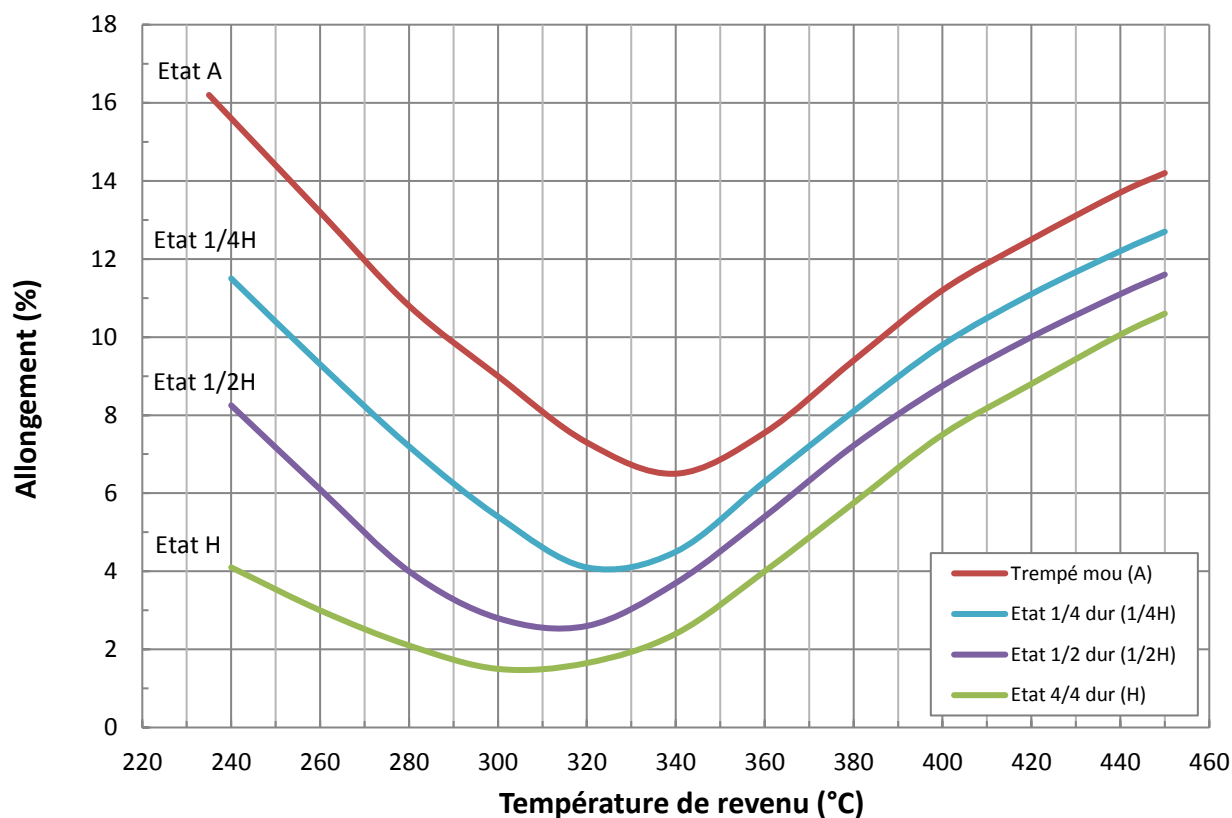


ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Limite élastique $R_{p0.2}$ à 0.2%

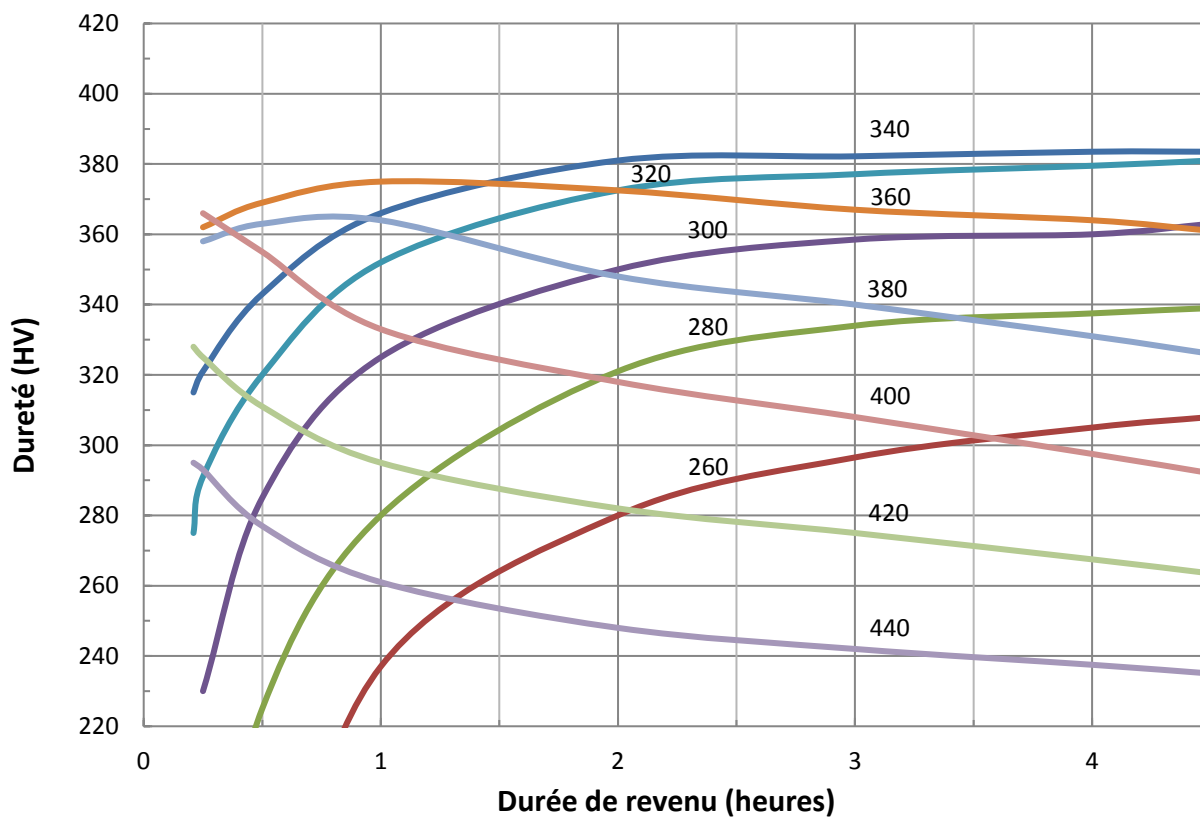


Allongement en % (L_0 50mm)

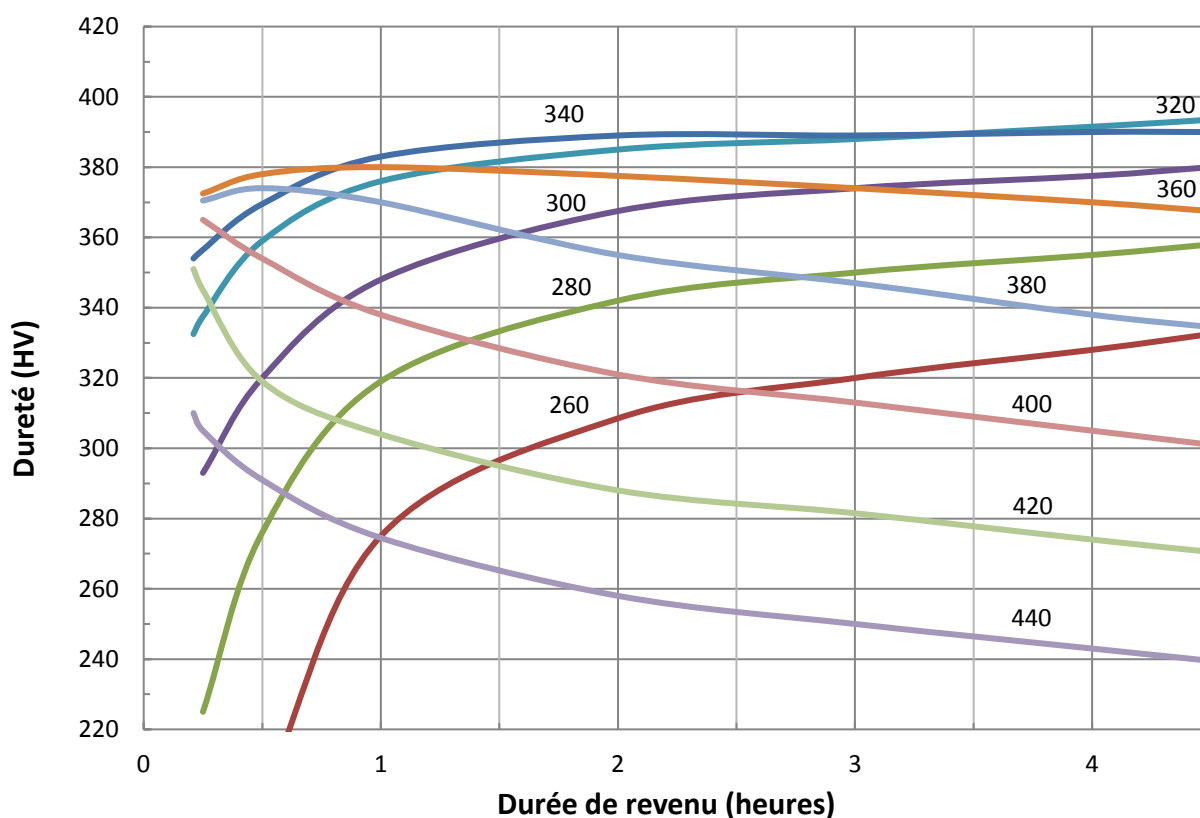


DURETE VICKERS – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat A (Trempe mou) - Revenu

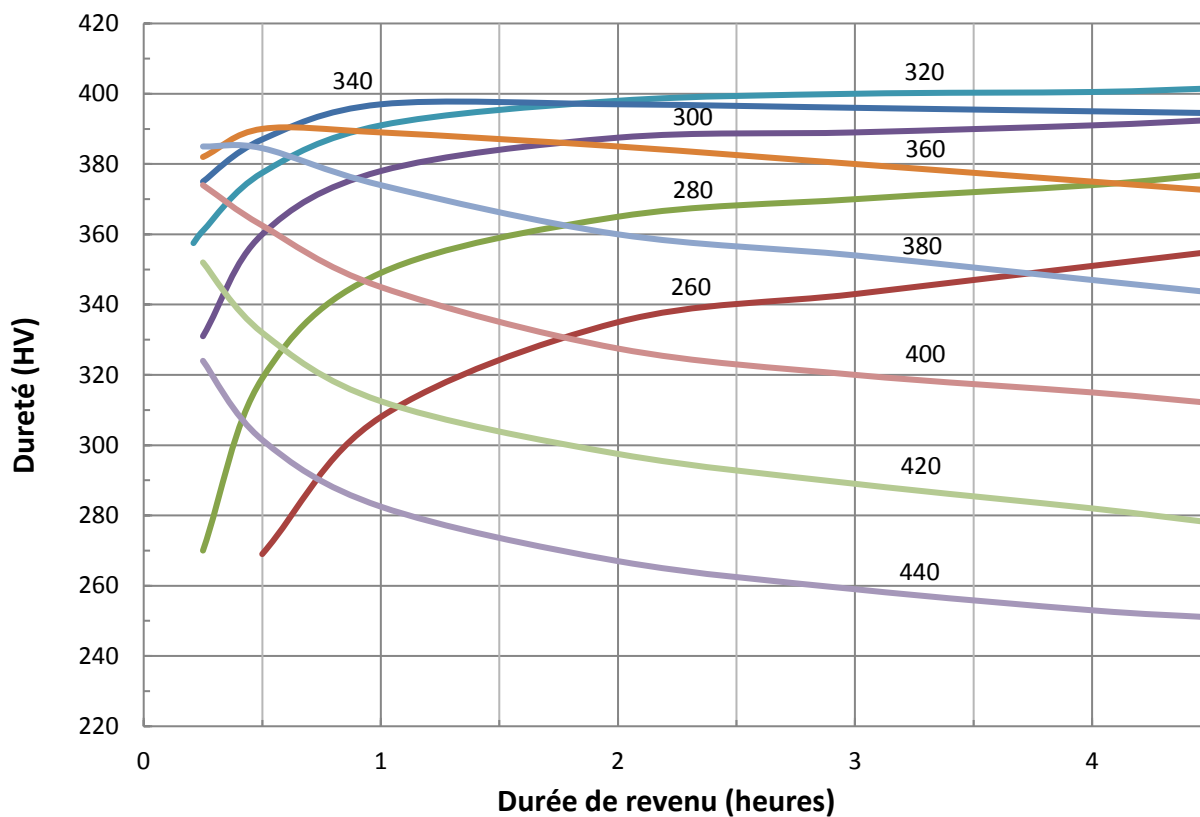


Etat 1/4H (1/4 Dur) - Revenu

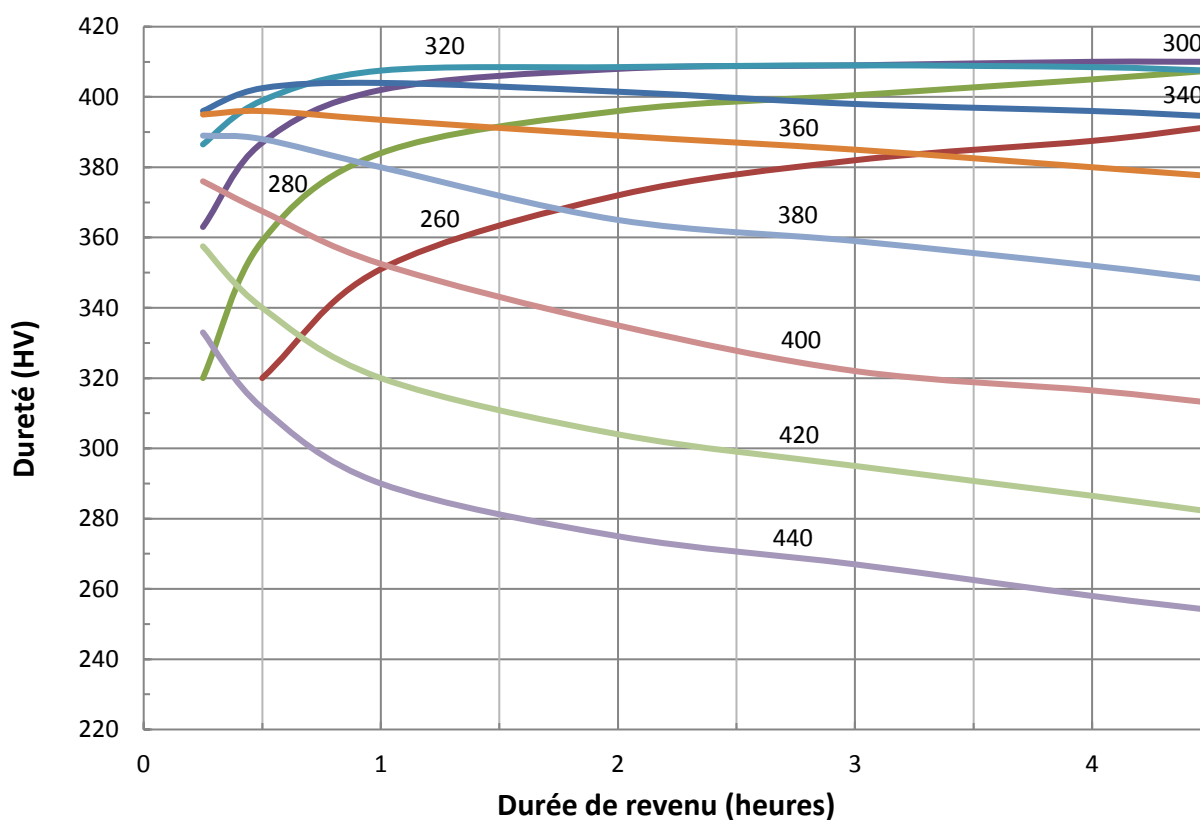


DURETE VICKERS – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat 1/2H (1/2 Dur) - Revenu

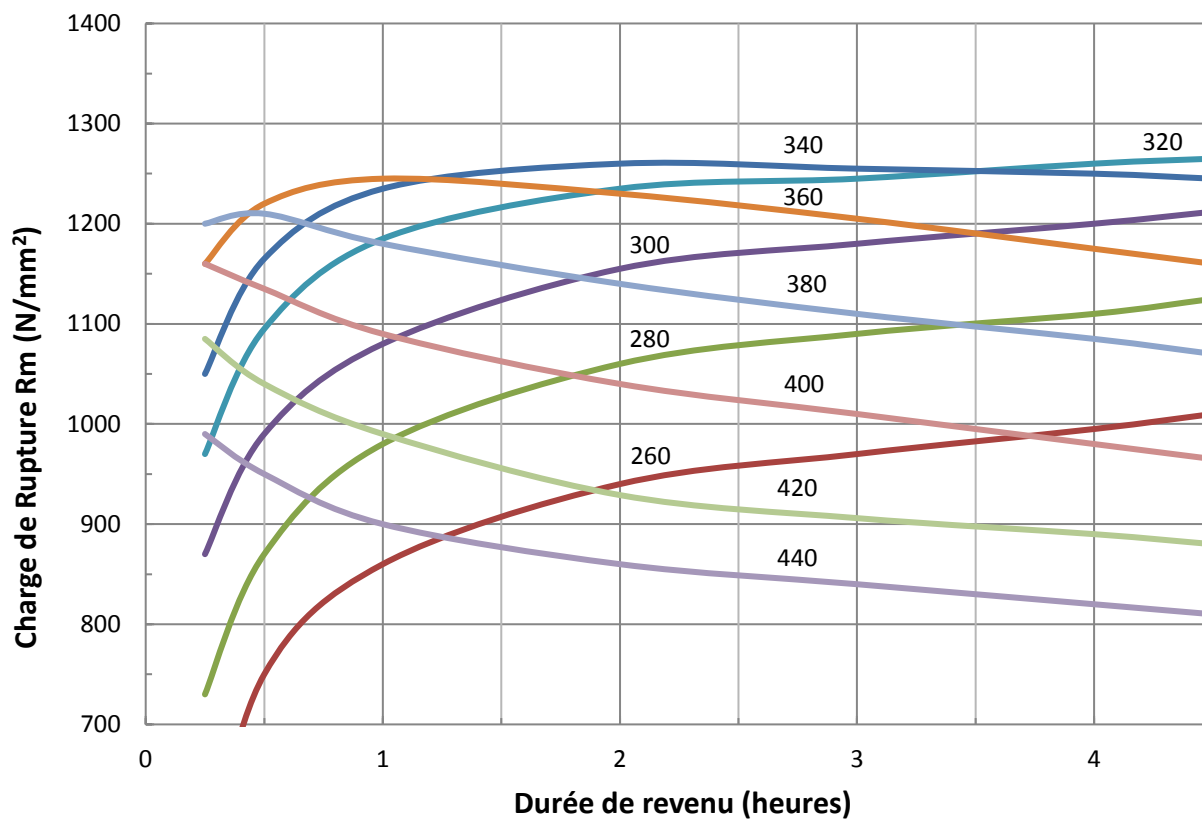


Etat H (4/4 Dur) - Revenu

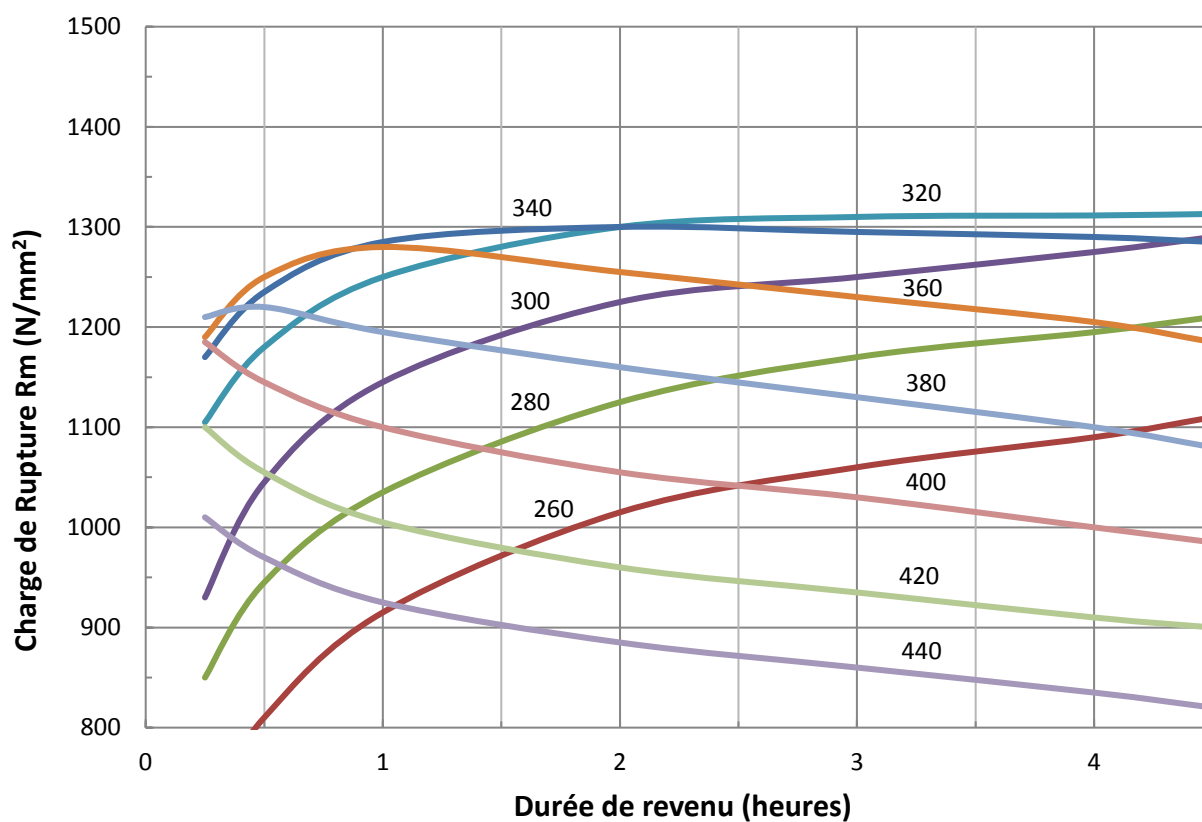


CHARGE DE RUPTURE (Rm) – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat A (Trempe mou) - Revenu

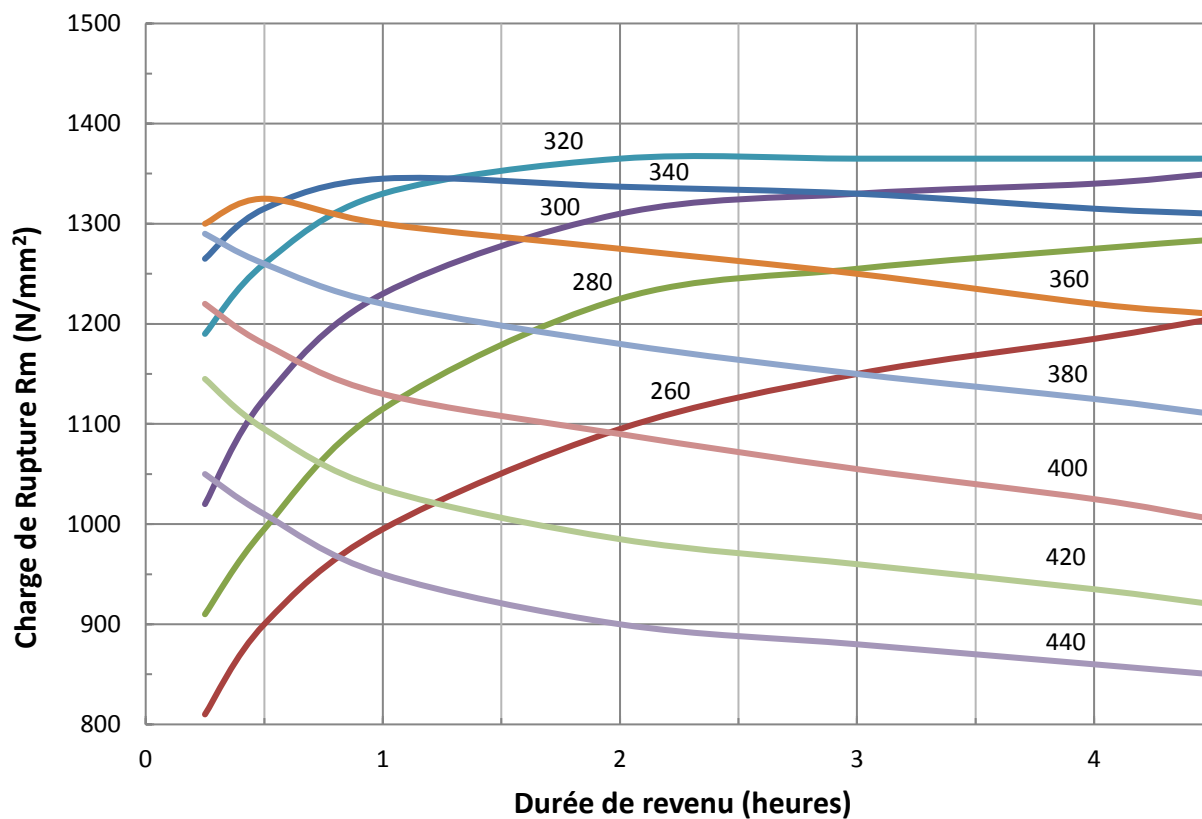


Etat 1/4H (1/4 Dur) - Revenu

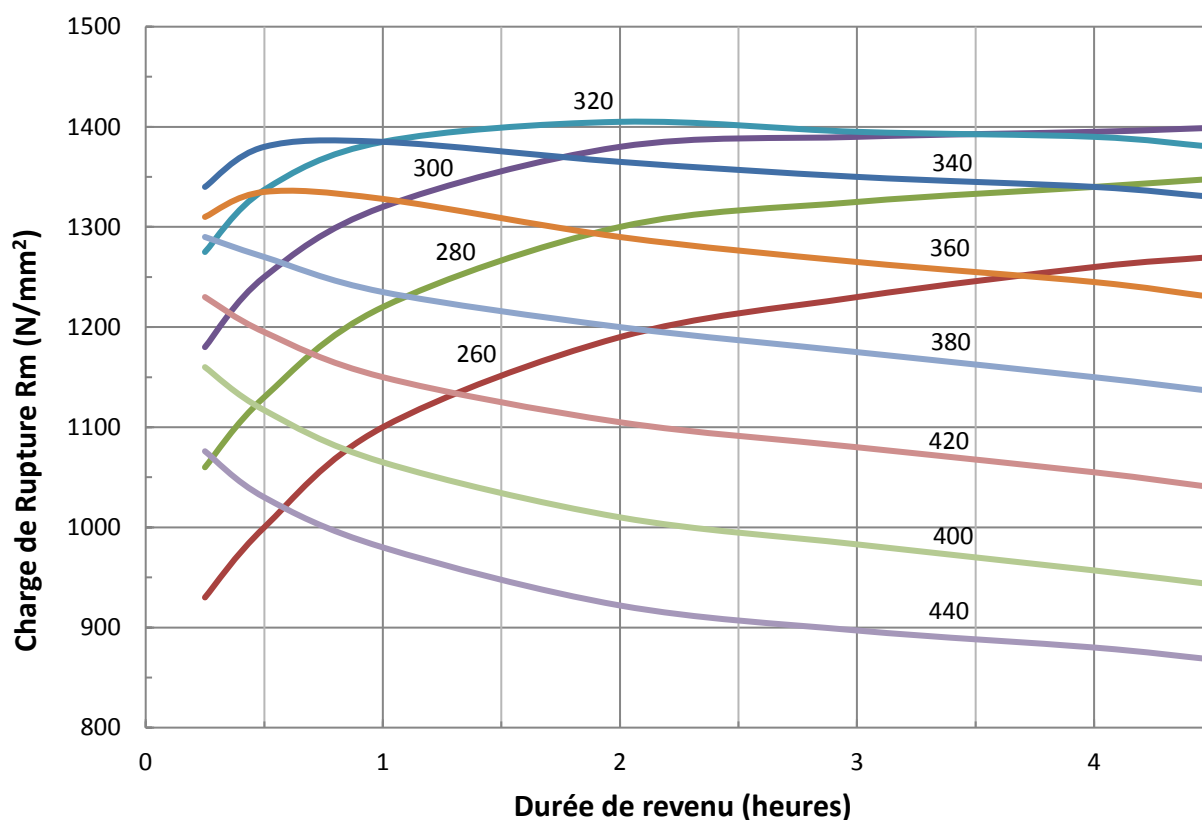


CHARGE DE RUPTURE (Rm) – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat 1/2H (1/2 Dur) - Revenu

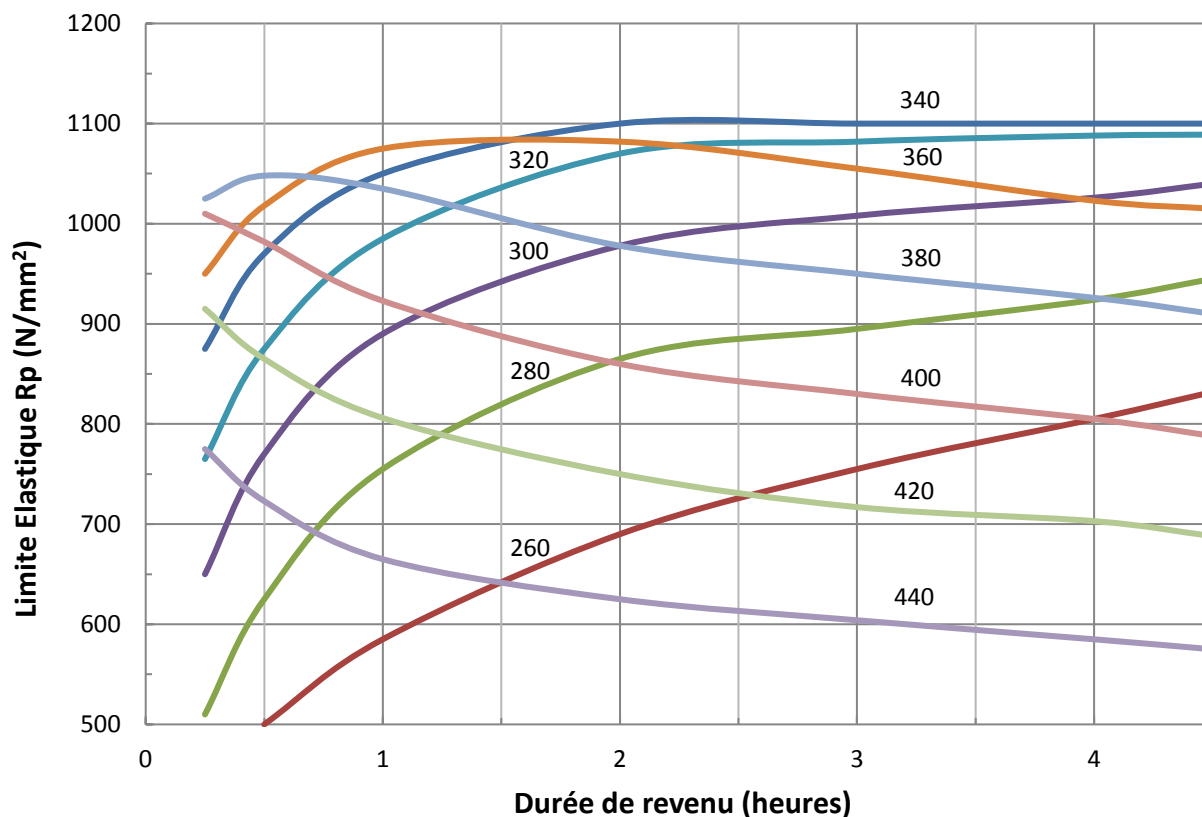


Etat H (4/4 Dur) - Revenu

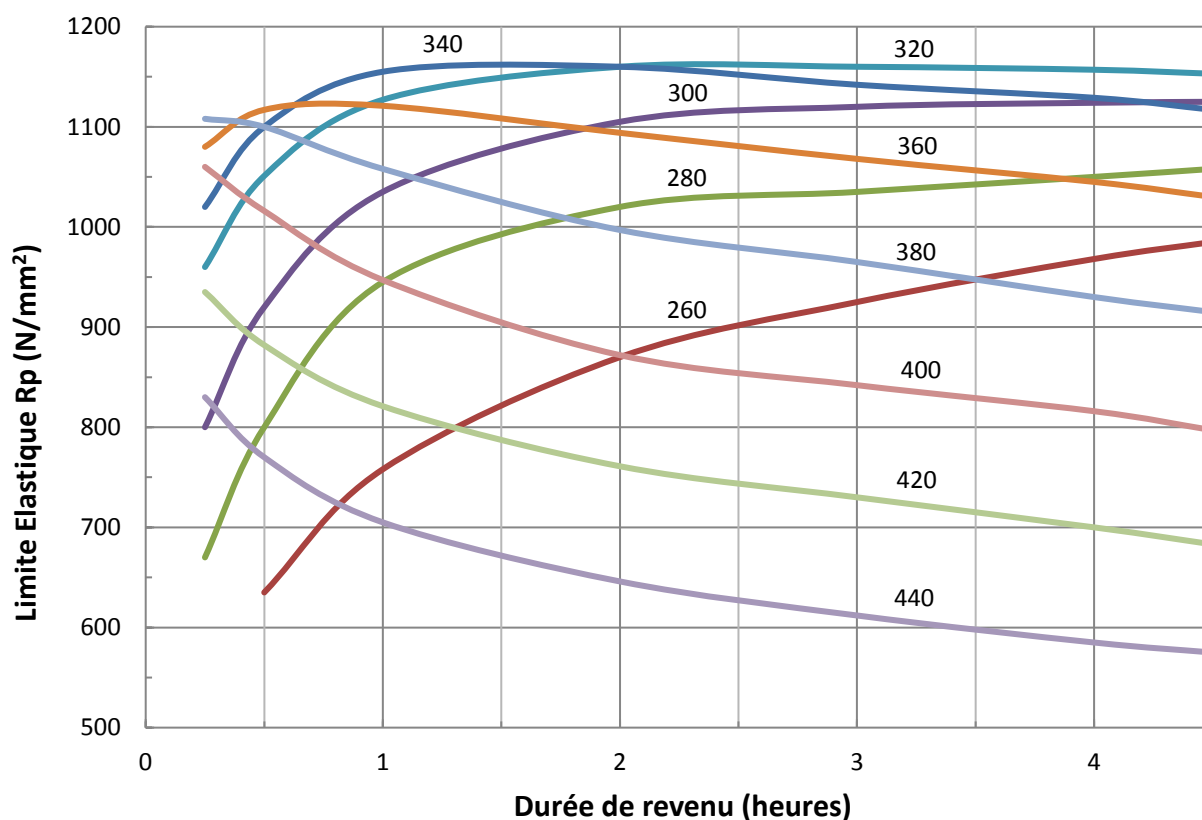


LIMITE ELASTIQUE à 0.2% (Rp) – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat A (Trempe mou) - Revenu

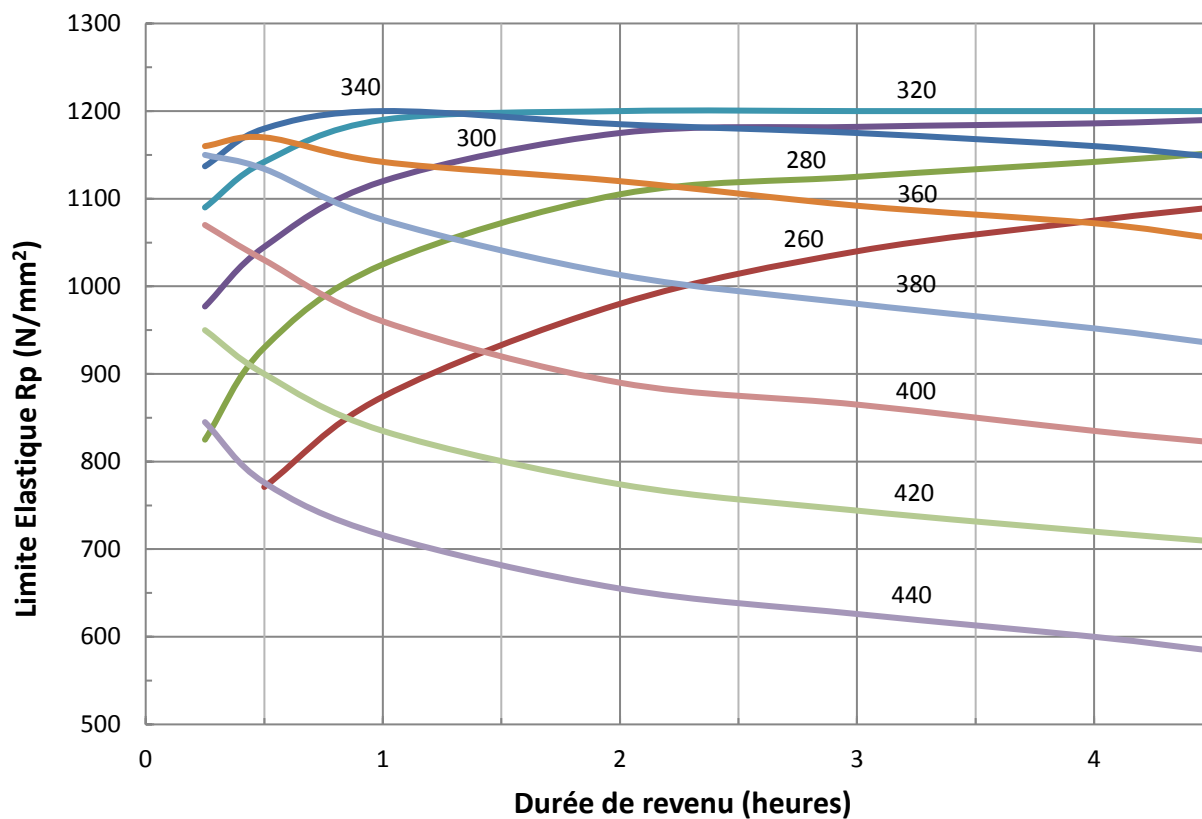


Etat 1/4H (1/4 Dur) - Revenu

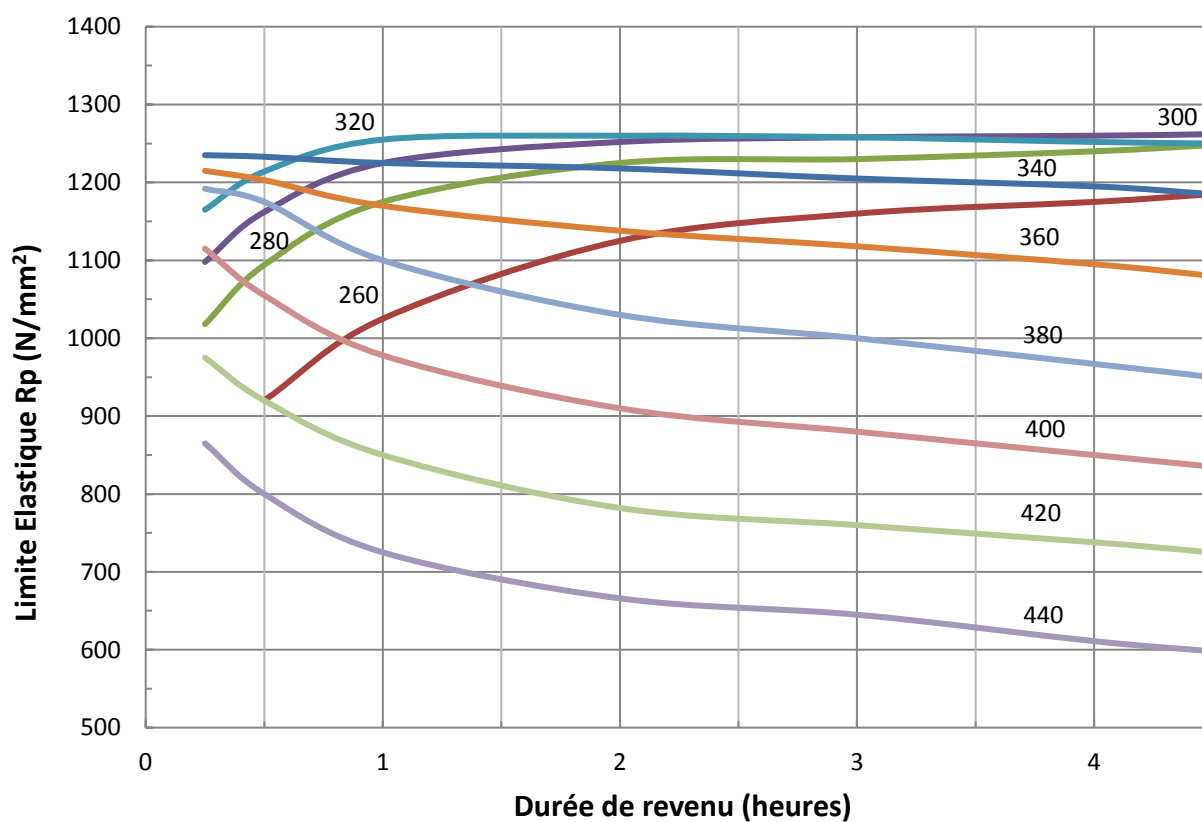


LIMITE ELASTIQUE à 0.2% (Rp) – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat 1/2H (1/2 Dur) - Revenu

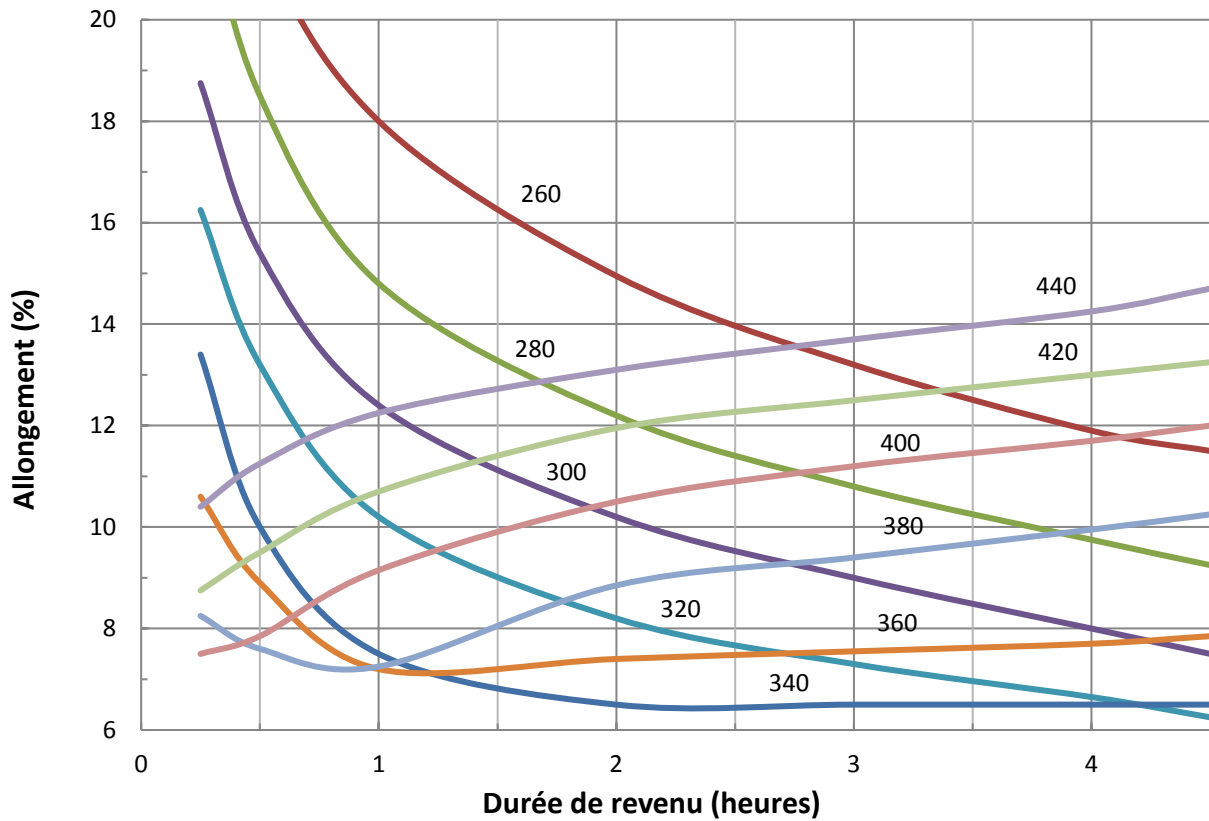


Etat H (4/4 Dur) - Revenu

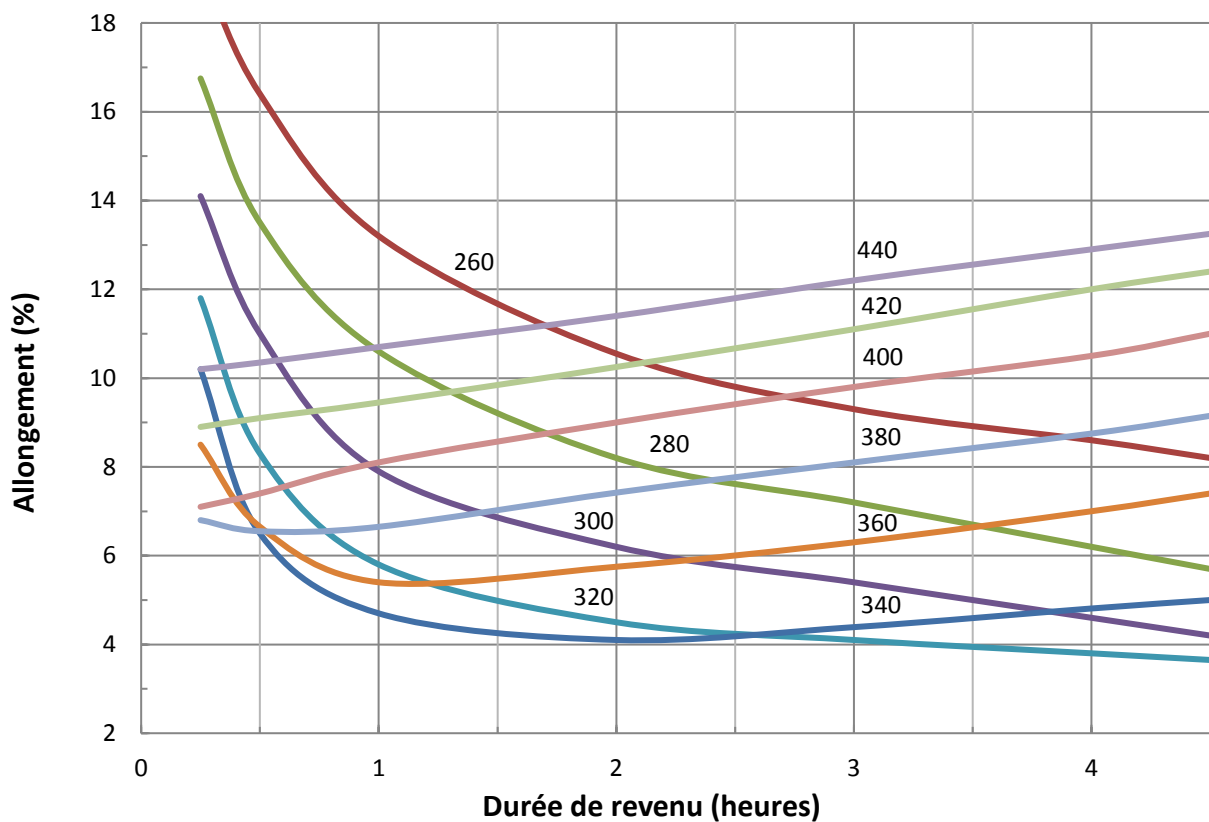


ALLONGEMENT – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat A (Trempe mou) - Revenu

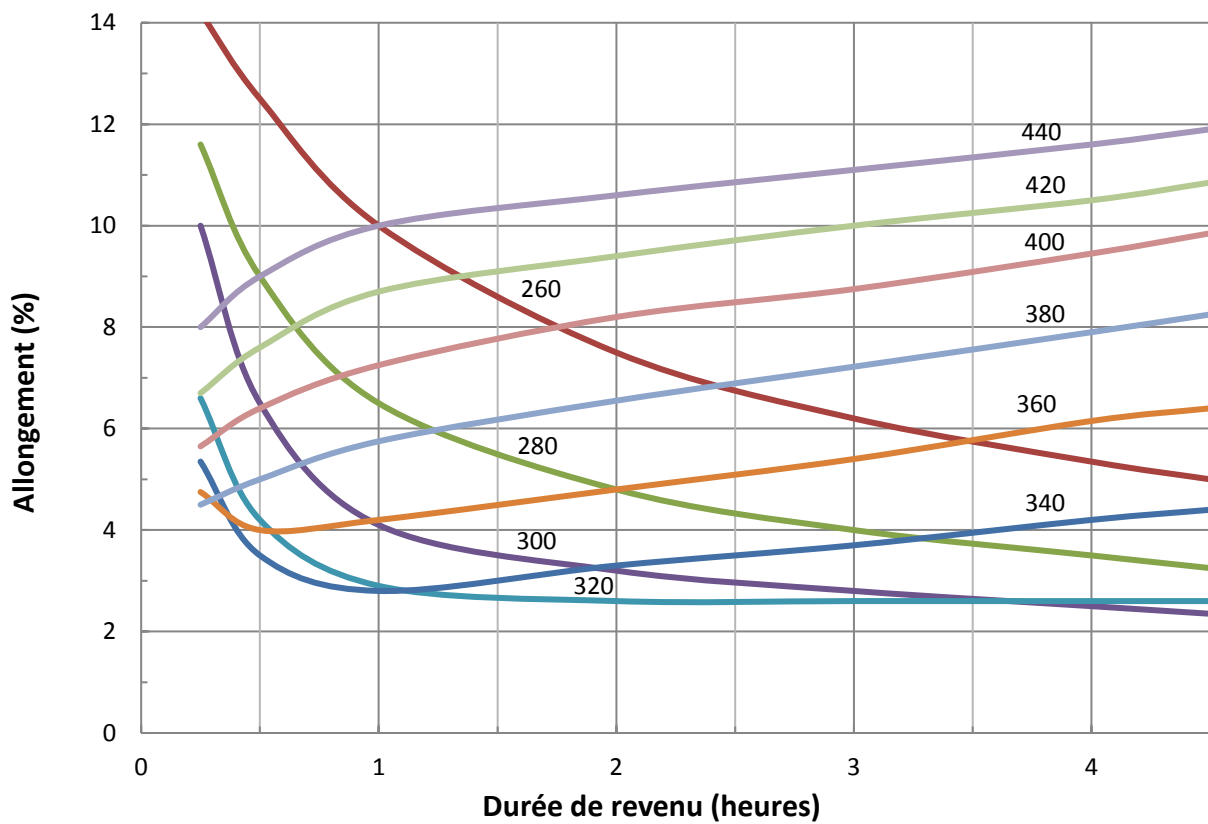


Etat 1/4H (1/4 Dur) - Revenu

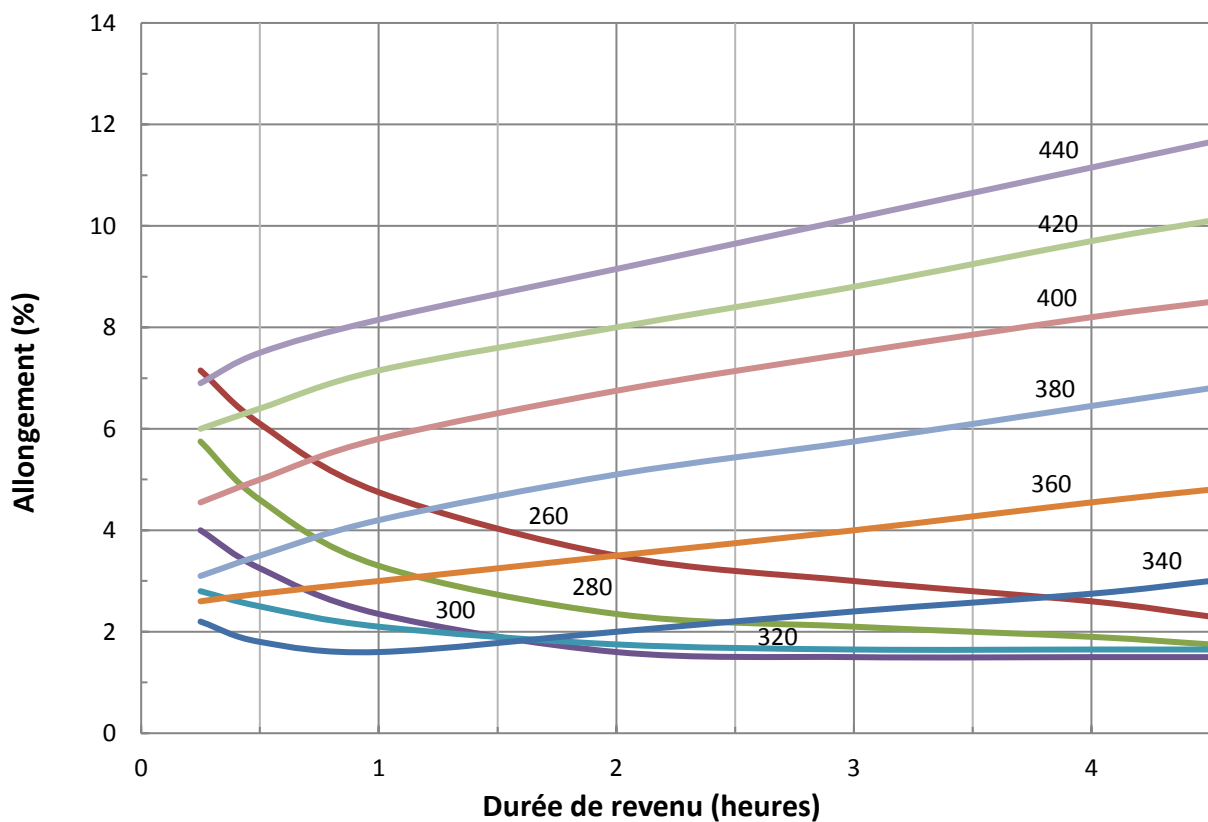


ALLONGEMENT – ALLIAGES B25 et B33/25
effets de la température et de la durée du revenu

Etat 1/2H (1/2 Dur) - Revenu

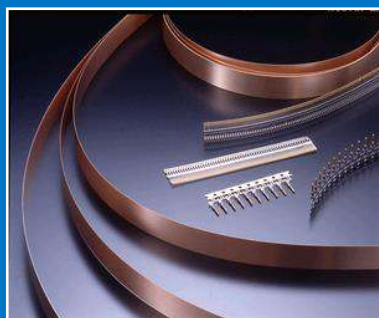


Etat H (4/4 Dur) - Revenu





NGK BERYLCO



EUROPE

FRANCE

NGK BERYLCO France
103 Quai Jean Pierre Fougerat, CS20017,
44220 Couëron, France
Tel : +33 (0)2 40 38 67 50
Fax: +33 (0)2 40 38 09 95

GRANDE BRETAGNE

NGK BERYLCO UK Ltd
Houston Park, Montford Street,
Salford, M50 2RP, U.K.
Tel: +44 (0)161-745-7162
Fax: +44 (0)161-745-7520

ALLEMAGNE

NGK Deutsche BERYLCO GmbH
Westerbachstraße 32
61476 Kronberg Im Taunus, Germany
Tel: +49 (0) 6173 993 400
Fax: +49 (0) 6173 993 401

ESPAGNE

Massague Rep. Ind. SA
Calle la Ginesta, 6, Apt de Correos 47
08 830 Sant Boi de Llobregat, España
Tel: +34 93 640 0573
Fax: +34 93 630 2865
www.massaguesa.com

ITALIE

Tecnicom
Via G. Passeroni, 6
20135 MILANO, Italia
Tel: +39 (0)2 45506240
Fax: +39 (0)2 39304926
Email: tecni_com@tin.it

TURQUIE

Promak Pres Otomasyon San.
Perpa Ticaret merkezi B Block K11
No:1987
Okmeydani-34384 Istanbul -TURKIYE
Tel: +90 212 320 85 10
Fax: +90 212 320 85 44
Email : makgol@promakmakina.com
www.promakmakina.com

ASIA

JAPAN

NGK INSULATORS Ltd
New Metal Division,
Marunouchi Bldg.25F, 2-4-1, Marunouchi,
Chiyoda-ku, Tokyo, 100-6235, Japan
Tel: +81 (0)3-6213-8913
Fax: +81 (0)3-6213-8973
www.ngk-insulators.com
www.ngk-global.com

CHINA

NGK INSULATORS Ltd
Shanghai Office,
Dawning Centre Tower A Room 1902,
No.500 Hongbaoshi Road,
Shanghai 201103, China
Tel: +86-021-3209-8870
Fax: +86-021-3209-8871
www.ngk-insulators.com

CHINA

NGK INSULATORS Investment Co Ltd
Shenzhen Branch
Room.8, Level.15, Tower 2,
Kerry Plaza, No.1 Zhong Xin Si Road,
Futian District
Shenzhen 518048, China
Tel : +86-755-3304 -3178
www.ngk-insulators.com

AMERICA

USA

NGK METALS Corporation
917 U.S. Highway 11 South,
Sweetwater, TN 37874, USA
Tel: +1 (800) 523-8268
Fax: +1 (877) 645-2328
www.ngkmetals.com

INDIA

INDIA

NGK INSULATORS Ltd
New Delhi Liaison Office,
601, 6th floor, DLF Place, A-4,
District Centre, Saket
New Delhi 110 017, India
Tel: +91-11-4170-4020
www.ngk-insulators.com

Pour plus d' informations, merci de visiter notre site internet

www.ngk-alloys.com

Distribué par :



EN 9100 • ISO 14001

