

Publié par :



Le « Feuillard technique » est publié exclusivement sur le site Internet du CQRDA. Pour télécharger cette publication, rendez-vous au <http://cqrda.ca/feuillard.php> ou au [http://cqrda.ca/ar\\_publications.php](http://cqrda.ca/ar_publications.php). Pour toute demande d'information, n'hésitez pas à nous contacter au 418 545-5520.

---

### Quelques définitions :

- Ductilité :** propriété d'un matériau qui peut subir une déformation permanente sans rupture ni fissure, sous l'effet d'un effort de traction.  
Propriété d'un matériau de se laisser déformer facilement sous certaines conditions de température, de pression et de vitesse des sollicitations ; en particulier d'un métal de se laisser étirer facilement.
- Dureté :** résistance qu'oppose un matériau à la déformation plastique locale et superficielle. On mesure les déformations permanentes produites soit par rayure au moyen d'une pointe en diamant, soit par impression d'une bille en acier, d'un cône ou d'une pyramide en diamant sous une charge statique.
- Écrouissage :** augmentation de dureté et de résistance produites par une déformation plastique effectuée au-dessous de la température de recristallisation. On se sert généralement de la diminution relative des sections initiales et finales pour caractériser la manière dont un corps a été écroui dans tel ou tel procédé d'usinage.
- Laminage :** procédé de transformation rapide des métaux, à chaud ou à froid, par passage entre deux cylindres lisses ou cannelés, tournant en sens inverse. En raison de ce mouvement de rotation et des forces générées entre les cylindres, il se produit un écoulement du métal vers l'avant. Le potentiel d'allongement et de réduction de section qui en résulte est entre autres fonction de la température du métal laminé et du diamètre des cylindres.
- Malléabilité :** désigne spécifiquement la capacité d'un métal à se réduire en feuilles, par forgeage ou laminage (déformation en compression).
- Recuit de restauration:** traitement thermique ayant pour but de modifier la structure d'un métal ou d'un alliage en vue d'atténuer ou de détruire l'effet de traitements mécaniques antérieurs (écrouissage), d'adoucir la matière pour faciliter la déformation à froid.

Le travail à froid, tels le laminage, le filage ou le pliage, augmente la dureté et les propriétés mécaniques des produits. Toutefois, ces opérations diminuent leur ductilité et leur capacité à la déformation. Plus la déformation est importante, plus les propriétés mécaniques sont modifiées, quelque soit la composition de l'alliage. Le durcissement par écrouissage intervient peu importe la technique de déformation à froid utilisée, ce qui signifie qu'il se produira également en atelier.

Bien que tous les métaux et alliages bénéficient d'une augmentation des propriétés mécaniques après un écrouissage, l'appellation « alliages à durcissement par écrouissage » est réservée aux alliages provenant des familles qui ne réagissent pas au durcissement structural (voir Feuillard « Les traitements thermiques des alliages d'aluminium »), soit les familles 1000, 3000 et 5000.

Tableau 1

Familles d'alliages à durcissement par écrouissage		
Familles	Éléments d'alliages principaux	Caractéristiques propres à la famille
1000	Alliages aluminium à plus de 99%	Excellente résistante à la corrosion, grande conductivité thermique et électrique, propriétés mécaniques peu élevées et excellente malléabilité. Une légère hausse des propriétés mécaniques peut être obtenue par le durcissement par écrouissage.
3000	Alliages aluminium-manganèse (Al-Mn)	Le AA3003, un des alliages les plus utilisés, est un compromis entre des propriétés mécaniques acceptables et une bonne aptitude à la mise en forme.
5000	Alliages aluminium-magnésium (Al-Mg)	Le magnésium est un des éléments d'alliage les plus efficaces et les plus utilisés pour l'aluminium. Lorsqu'utilisé comme principal élément d'alliage, il en résulte des propriétés mécaniques de bonnes à excellentes, une bonne aptitude au soudage et une excellente tenue à la corrosion en milieu marin.

Les états métallurgiques des alliages à durcissement par écrouissage sont identifiés par une nomenclature débutant par la lettre H, suivie de chiffres pour subdiviser les états. Le premier chiffre indique la combinaison spécifique d'opérations :

#### H1 Écroui uniquement

S'applique aux produits qui sont uniquement écrouis, sans traitements de recuit subséquents, notamment aux alliages de la famille 1000 qui, même avec un écrouissage maximal, garde une bonne malléabilité.

#### H2 Écroui et partiellement recuit

S'applique aux produits qui sont durcis par écrouissage, plus que la valeur finale désirée, et dont la résistance mécanique est ramenée, par un recuit partiel, au niveau souhaité. Le nombre suivant cette désignation indique l'effet restant de l'écrouissage après que le produit ait été partiellement recuit.

#### H3 Écroui et stabilisé

S'applique aux produits qui sont écrouis et dont les propriétés mécaniques sont stabilisées par un traitement thermique de basse température ou le sont en raison de la chaleur introduite pendant le procédé de transformation. C'est l'état stabilisé, surtout appliqué aux alliages de la famille 5000, dont certains alliages s'adoucissent (perte de propriétés mécaniques) à température ambiante. La stabilisation améliore habituellement la ductilité. Le nombre suivant cette désignation indique l'effet restant de l'écrouissage après le traitement de stabilisation.

#### H4 Écroui et peint ou laqué

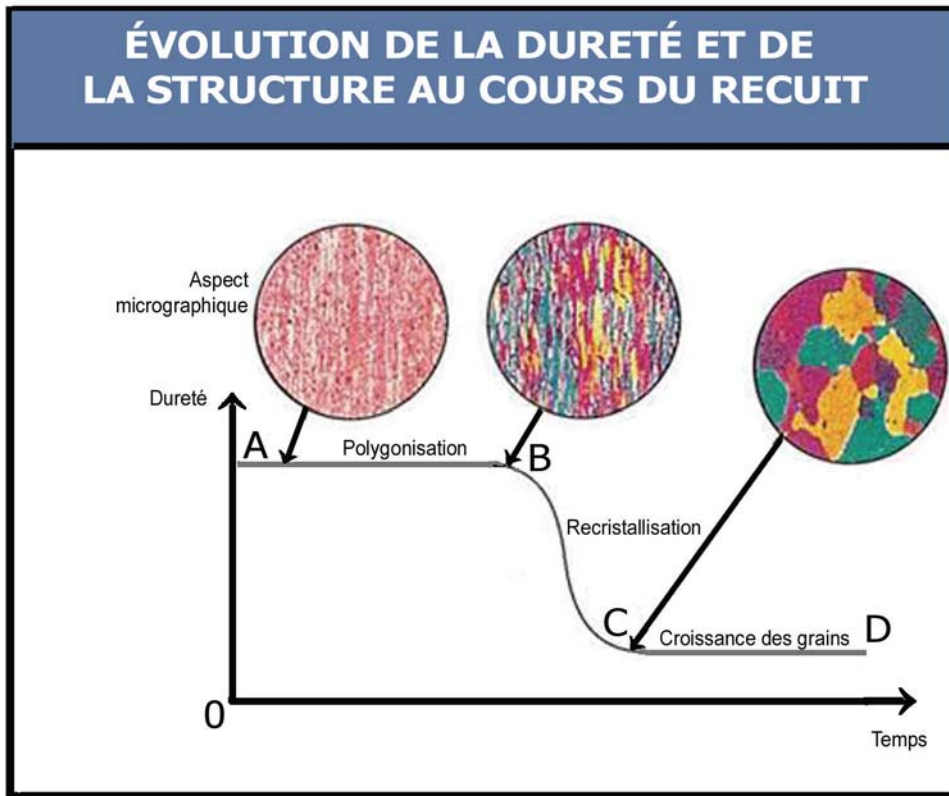
S'applique aux produits qui sont écrouis et qui sont soumis à un certain traitement thermique lors de la cuisson des peintures ou des laques. Le nombre suivant cette désignation indique le degré d'écrouissage restant après que le produit ait subi la cuisson. Les limites des propriétés mécaniques correspondantes, par exemples au HX2 ou HX3, s'appliquent.

Comme l'indique la nomenclature, il est possible de restaurer la capacité de déformation de l'alliage en lui faisant subir un traitement thermique appelé recuit de restauration (voir figure 1.) Le recuit est réalisé à plus de 300 °C. Les phénomènes de restauration s'accompagnent de changement dans la microstructure du métal. À des températures de cet ordre, les propriétés mécaniques des alliages diminuent lentement durant une période initiale de réarrangement des défauts internes produits par l'écrouissage (polygonisation, A-B). Ces mêmes propriétés diminuent plus rapidement durant la phase de recristallisation (formation de nouveaux grains, B-C) pour finalement atteindre leurs valeurs minimales durant la phase de croissance des grains (C-D).

Selon le couple temps-température choisi, le recuit sera

- partiel, c'est-à-dire qu'une partie des effets sur la dureté produits par l'écrouissage sera éliminée;
- ou il sera complet, c'est-à-dire que les effets sur la dureté par l'écrouissage seront complètement éliminés et que l'alliage se retrouvera à l'état 0 (complètement recristallisé).

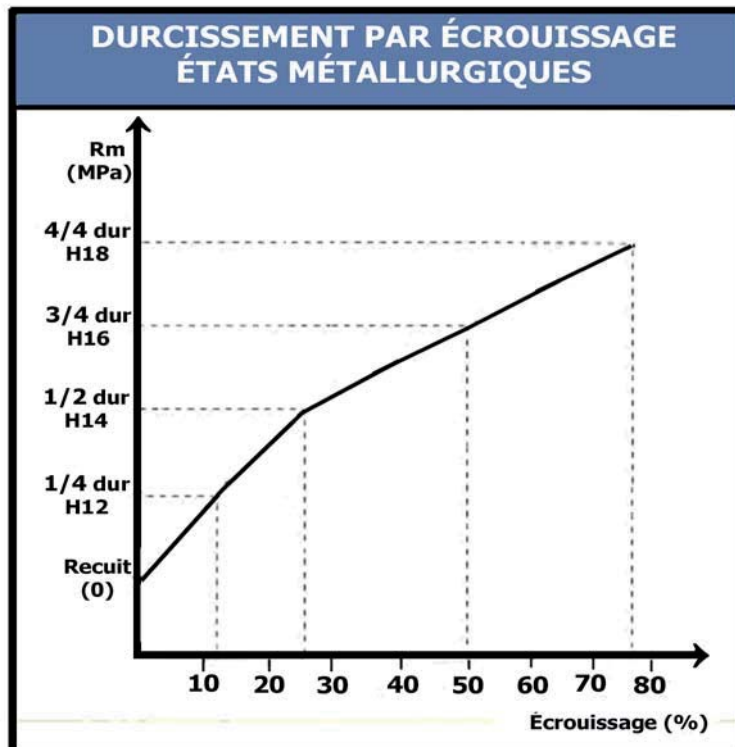
Figure 1  
Évolution de la dureté et de la structure au cours du recuit



**Le chiffre suivant les désignations H1, H2, H3 ou H4**

Le chiffre suivant la désignation H1, H2, H3 ou H4 indique la nuance du produit, ou en d'autres termes, le degré d'écrouissage subi par ce produit. Le deuxième chiffre est compris entre 1 et 9. Plus ce deuxième chiffre est élevé, plus l'écrouissage est important, donc plus le produit est dur par rapport à l'état complètement recuit (état 0).

Figure 2  
États métallurgiques et degré d'écrouissage



0	Recuit
HX1	Nuance écrouie la moins dure
HX2	Nuance ¼ dure. Elle correspond à un écrouissage de l'ordre de 12 %.
HX4	Nuance ½ dure. Elle correspond à un écrouissage de l'ordre de 25 %.
HX6	Nuance ¾ dure. Elle correspond à un écrouissage de l'ordre de 50 %.
HX8	Nuance dure d'un alliage. Elle correspond à un écrouissage de l'ordre de 75 % obtenu par laminage à froid.
HX9	Nuance extradure (qui dépasse les propriétés attribuées à l'état HX8).
Les états 3, 5 et 7 désignent des états intermédiaires à ceux présentés ci-dessus.	

Le tableau 2 présente les différences de propriétés mécaniques entre les différents niveaux d'écrouissage pour trois alliages communs.

Tableau 2

Propriétés mécaniques à différents degrés d'écrouissage							
Alliages	États	Résistance à la traction		Limite élastique		Allongement %	Dureté HB
		MPa	ksi	MPa	ksi		
1100	0	89,6	13	34,5	5	35	23
	H12	110	16	103	15	12	28
	H14	124	18	117	17	9	32
	H16	145	21	138	20	6	38
	H18	165	24	152	22	5	44
3003	0	110	16	41,4	6	30	28
	H12	131	19	124	18	10	35
	H14	152	22	145	21	8	40
	H16	179	26	172	25	5	47
5005	0	124	18	41,4	6	25	28
	H12	138	20	131	19	10	38
	H14	159	23	152	22	6	43
	H16	179	26	172	25	5	49
	H18	200	29	193	28	4	54

Pour atteindre un état HX8, l'écrouissage devra avoir un effet minimal sur la résistance à la traction d'un alliage. Les alliages élaborés après 1992 doivent se conformer aux standards présentés au tableau 3. Ainsi, pour qu'un alliage atteigne l'état dur HX8, l'augmentation de la résistance à la traction devra avoir augmenté d'un seuil minimal par rapport à l'état recuit 0.

Tableau 3

Augmentation minimale pour l'état HX8	
Résistance à la traction minimale à l'état recuit	Augmentation nécessaire de la résistance à la traction pour l'état HX8
ksi	ksi
jusqu'à 6	8
7 à 9	9
10 à 12	10
13 à 15	11
16 à 18	12
19 à 24	13
25 à 30	14
31 à 36	15
37 à 42	16
43 et plus	17

### Le troisième chiffre d'une désignation d'un état H

Le troisième chiffre, entre 1 et 9, indique une variation de la désignation à deux chiffres. Il est utilisé lorsque le degré de contrôle du recuit ou les propriétés mécaniques obtenues diffèrent tout en étant relativement proches de ceux obtenus par l'état H à deux chiffres. On le retrouve entre autres dans la désignation des alliages utilisés pour la fabrication de tôles spécialisées.

### Autres désignations

Il existe d'autres désignations des états métallurgiques, soit des normes nationales comme la DIN utilisée en Allemagne ou des normes internationales comme la norme ISO. Le tableau 3 présente les désignations équivalentes.

Tableau 4

Désignations équivalentes					
Europe	Allemagne	Royaume-Uni	États-Unis	ISO	Inde
EN	DIN				
0	0,01n	0	0	0	0
H1	0,20	H	H1	H1	H
H11	0,22	-	H11	-	-
H12	0,24	H2	H12	H1B	H1
H14	0,26	H4	H14	H1D	H2
H16	0,28	H6	H16	H1F	H3
H18	0,30	H8	H18	H1H	H4
H19	0,32	-	H19	H1J	-
H19	0,33	-	H19	H1J	-
H19	0,34	-	H19	H1J	-
H19	0,35	-	H19	H1J	-
H21	0,23	-	H21	-	-
H22	0,25	H2	H22	H2B	H1
H24	0,27	H4	H24	H2D	H2
H26	0,29	H6	H26	H2F	H3
H28	0,31	H8	H28	H2H	H4
H32	-	-	H32	H3B	H1
H34	-	-	H34	H3D	H2
H36	-	-	H36	H3F	H3
H38	-	-	H38	H3H	H4

### Ressources en ligne

Le site <http://aluminium.matter.org.uk/aluselect/> permet de sélectionner un alliage selon l'application, les propriétés ou la forme du produit désiré. On y retrouve les alliages les plus utilisés par l'industrie.

Comme nous l'avons déjà mentionné dans les Feuillards précédents, le site [www.matweb.com](http://www.matweb.com) est une excellente source d'information sur la composition des alliages ainsi que leurs propriétés physiques et mécaniques.

## Bibliographie

ASM INTERNATIONAL, Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Specialty Handbook, 1996, 784 p.

ALUMINUM ASSOCIATION, Aluminum Standards and Data, Washington, DC, Aluminium Association, 2006.

DORLOT, J.-M., BAÏLON, J.-P., MASOUNAVE, J. Des matériaux, 2e éd., Montréal, Éditions de l'École Polytechnique de Montréal, 1986, 467 p.

HESSE, Werner. Aluminium-Schlüssel/Key to Aluminium Alloys, 8e éd., Düsseldorf, Aluminium-Verlag Marketing and Kommunikation GmbH, 2008, 650 p.

PECHINEY RHENALU, Demi-produits aluminium, Paris, 1997, 159 p.

VARGEL, Christian. Corrosion de l'aluminium, Paris, Dunod, 1999, 502 p.

Partenaire financier:



### Le Feuillard technique est publié par :

Centre québécois de recherche et de développement de l'aluminium  
637, boulevard Talbot, bureau 102  
Chicoutimi (Québec) G7H 6A4  
Téléphone : 418 545-5520 | Télécopieur : 418 693-9279  
info@cqrda.ca | www.cqrda.ca

#### Rédaction

Édith Villeneuve

#### Conception

Mireille Clusiau

#### Collaboration

Maurice Duval

#### Révision linguistique

Richard Boivin

