

3

LES LAITONS

3.1 PRÉSENTATION

Les laitons sont des alliages à base de cuivre et de zinc. Ils contiennent de 5 à 45 % en poids de zinc et, éventuellement, d'autres éléments tels le plomb, l'étain, le manganèse, l'aluminium, le fer, le silicium, le nickel, l'arsenic, qui, ajoutés en faibles proportions, sont destinés à améliorer certaines propriétés.

Suivant leur teneur en zinc et la présence d'éléments d'addition, les laitons peuvent être moulés et corroyés à chaud ou à froid.

Ils sont utilisés sous forme de tôles, bandes, barres, profilés, tubes, fils et pièces moulées.

Ils présentent une excellente aptitude à la mise en œuvre, supérieure à la plupart des autres alliages industriels, par tous les procédés tels que matriçage, emboutissage, usinage, frappe à froid.

3.2 LES LAITONS BINAIRES

On appelle laitons simples ou binaires les alliages qui ne renferment que du cuivre et du zinc. Le diagramme d'équilibre relatif à ces alliages est reproduit en figure 12. L'intervalle de solidification est étroit ce qui est un critère d'obtention d'alliages homogènes.

A la température ordinaire et à l'équilibre les laitons sont constitués d'une seule phase α lorsque la teneur en zinc n'excède pas 33 %.

Au-delà et jusqu'à 46 % on se trouve en présence d'un mélange de phase α et β' . En pratique la concentration de zinc qui délimite, à température ambiante, les laitons mono et biphasés est voisine de 36 %.

Les laitons ayant une teneur en zinc inférieure à 20 % sont généralement appelés laitons demi-rouges. Les laitons dont la teneur en zinc est comprise entre 25 et 36 % possèdent les meilleures propriétés de ductilité et connaissent la gamme d'applications la plus large.

Au-dessus de 454 °C, la phase β' , ordonnée et formée de deux réseaux cubiques simples enchevêtrés, se transforme en phase β désordonnée qui cristallise dans le système cubique centré.

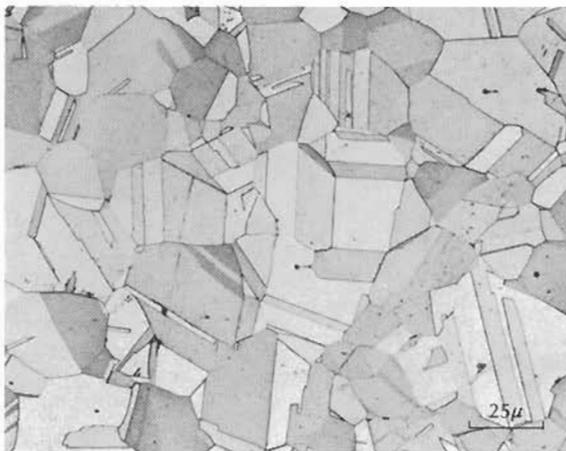
La phase α , de structure cubique à faces centrées, est très malléable à froid, ce qui permet des déformations importantes par laminage, emboutissage, repoussage, sertissage et frappe à froid. Ses propriétés sont influencées par sa teneur en zinc : la résistance à la traction, la limite élastique augmentent avec la teneur en zinc.

La phase β' est dure et fragile. Sa présence est nécessaire lorsque l'on recherche une bonne usinabilité. On utilise généralement dans ce cas des laitons ternaires au plomb.

La phase β issue de la phase β' au-dessus de 454 °C est bien malléable à haute température et est adaptée aux mises en œuvre à chaud.

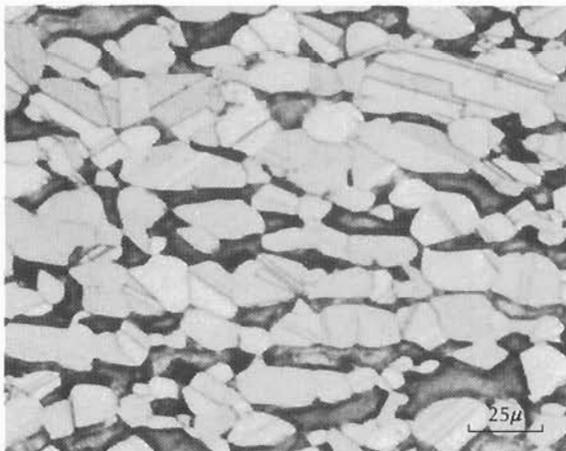
Sa présence permet de travailler aisément à chaud les laitons à plus de 36 % de zinc, par filage et matriçage. Un exemple des deux types de structures α et $\alpha + \beta'$ est illustré sur les photos 13 et 14.

Photo 13



CuZn15 recuit. Structure monophasée α .

Photo 14



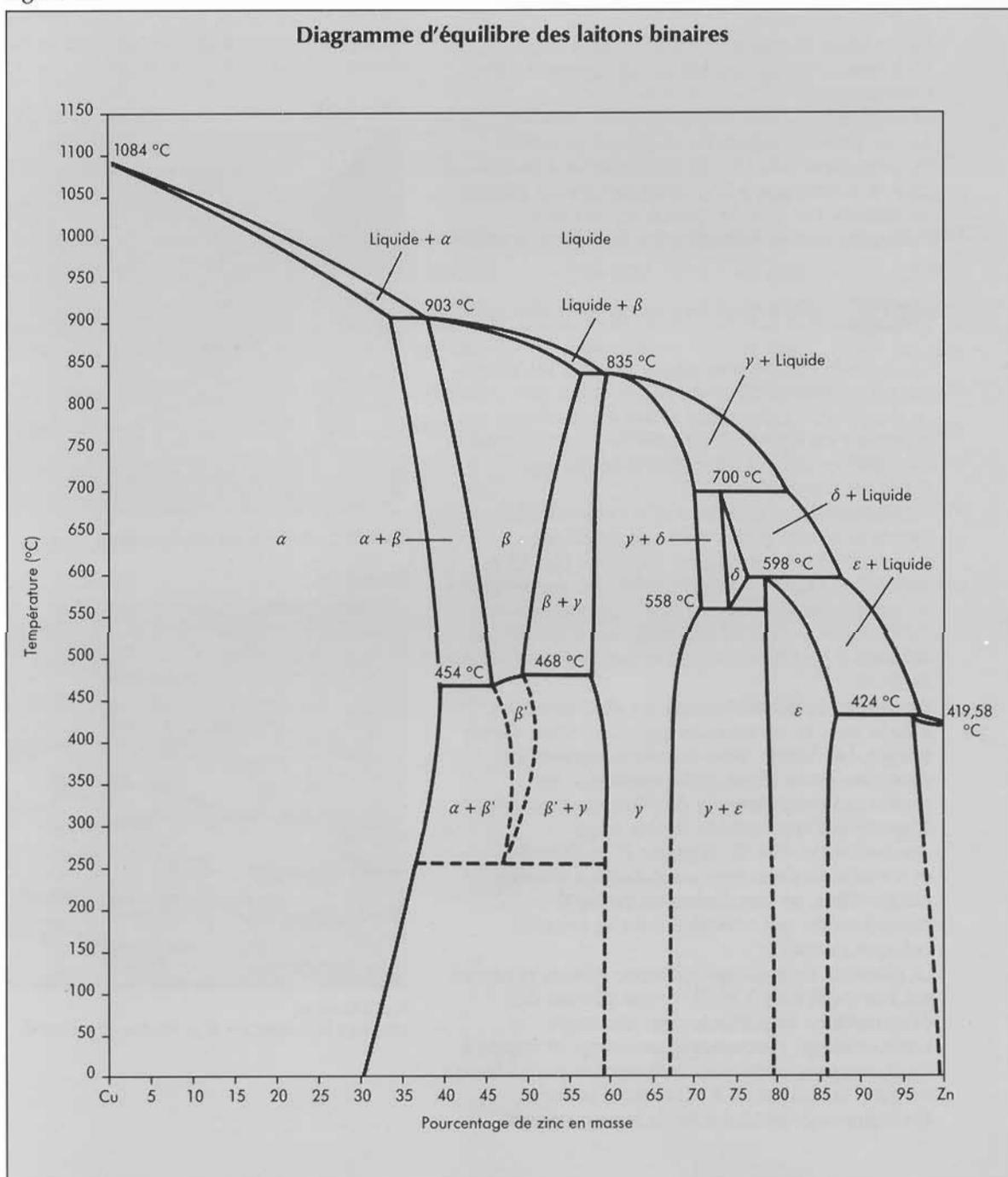
CuZn40 recuit.
Structure biphasée. $\alpha + \beta'$ (α en clair, β' en foncé).

Les laitons binaires, principalement utilisés pour leur aptitude à la déformation à froid, sont le plus souvent des laitons monophasés à teneur en zinc allant jusqu'à 36%. On utilise couramment en pratique des laitons biphasés à 40% lorsque l'on veut associer aux possibilités de déformation

à froid des possibilités d'usinabilité ou de plasticité à chaud.

Les laitons simples sont définis par les normes NF A 51-101 (laminés), NF A 51-103 (tubes) et NF A 51-104 (barres et fils).

Figure 12



3.3 LES LAITONS AU PLOMB

Le plomb est pratiquement insoluble dans les laitons, mais, disséminé sous forme de fins globules dans l'alliage, il favorise la fragmentation des copeaux lors des usinages. De plus, il intervient en tant que lubrifiant en raison de son bas point de fusion, diminuant les coefficients de frottement entre la pièce et les outils, et, réduisant par conséquent leur usure.

L'aptitude à l'usinage constitue la caractéristique fondamentale des laitons au plomb, à laquelle il est souvent nécessaire d'associer des aptitudes à la déformation à froid ou à chaud.

Les laitons au plomb couvrent ainsi une gamme de composition assez large qui va des alliages monophasés α à forte teneur en cuivre du type CuZn35Pb2 jusqu'aux alliages biphasés riches en phase β' comme le CuZn40Pb3.

Trois compositions de base illustrent l'étendue des caractéristiques des laitons au plomb :

► CuZn35Pb2

Cet alliage à teneur élevée en cuivre autorise des déformations à froid importantes. C'est un alliage de sertissage et de frappe à froid qui accepte facilement les opérations complémentaires d'usinage.

► CuZn39Pb2

La structure $\alpha + \beta$ riche en β à température élevée en fait d'abord un alliage de matriçage. A la température ordinaire la structure $\alpha + \beta'$ est voisine de celle de l'alliage CuZn40Pb3 et permet les opérations d'usinage de finition dans de bonnes conditions.

► CuZn40Pb3

C'est l'alliage de décolletage par excellence. Il permet les usinages de grandes séries à vitesse de coupe élevée. La présence importante de plomb favorise le fractionnement des copeaux.

Les laitons au plomb sont définis par les normes NF A 51-101 (laminés) et NF A 51-105 (barres).

3.4 LES LAITONS COMPLEXES

Un certain nombre d'éléments d'addition peuvent être introduits dans les laitons simples en quantités suffisamment faibles pour qu'ils soient dissous dans les phases α et β' .

La présence des éléments d'addition a une double conséquence :

- La modification des propriétés intrinsèques des phases dans lesquelles ils entrent en solution.
- La modification des quantités relatives des phases qui correspondent à la structure biphasée.

Pour mettre en évidence la modification relative des phases du diagramme d'équilibre des laitons biphasés, sous l'effet d'une addition d'autres éléments, il faut appliquer la théorie du titre fictif établie par Léon Guillet.

Cette théorie consiste à donner à toutes les additions faites dans le laiton binaire cuivre-zinc une équivalence en zinc. On passera ainsi du titre réel en cuivre Cu% au titre fictif en cuivre Cu' % par l'application de la formule :

$$\text{Cu}'\% = \text{Cu}\% \frac{100}{100 + x(k - 1)}$$

Formule dans laquelle :

- x est la teneur de l'élément d'addition considérée.

- k est le coefficient d'équivalence de l'élément d'addition. Il représente le pourcentage de zinc qui a le même effet que l'addition de 1% de cet élément.

Les coefficients d'équivalence des principaux éléments d'addition sont :

Ni = - 1,2	Mn = 0,5	Sn = 2
Co = - 1	Cd = 0,7	Al = 6
Pb = 0	Fe = 0,9	Si = 10

Il ressort de cette formule que les éléments pour lesquels $k < 1$ (Ni, Co, Pb, Mn, Cd, Fe) augmentent la proportion de phase α et améliorent donc la malléabilité à froid tandis que ceux pour lesquels $k > 1$ (Sn, Al, Si) augmentent la proportion de β' et améliorent donc l'aptitude à l'usinage et aux déformations à chaud.

La théorie du titre fictif n'est plus applicable lorsque les teneurs en élément d'addition atteignent une certaine valeur. Il y a, alors, apparition de nouvelles phases et l'examen des diagrammes d'équilibre ternaires, lorsqu'ils ont été établis, permet de prévoir plus exactement l'influence des additions sur les caractéristiques.

La diversité des laitons complexes est très grande et ces alliages trouvent des applications dans des domaines très étendus.

Ils sont définis par les normes NF A 51-102 (tubes échangeurs), NF A 51-106 (barres), NF A 51-115 (laminés pour échangeurs) et NF A 53-703 (produits moulés).

A l'intérieur de cette large gamme d'alliages, on peut mettre en évidence quelques types d'alliages particuliers utilisés dans l'industrie :

► CuZn30As

Cet alliage possède une bonne résistance à la corrosion en milieu aqueux. La présence d'arsenic est fondamentale pour éviter la dézincification. Il est couramment utilisé dans la fabrication de tubes pour échangeurs en eau douce.

► **CuZn29Sn1 (laiton amirauté)**

L'addition de 1% d'étain au laiton 70/30 arsenié favorise la formation en service d'un film d'oxyde stannique SnO₂ résistant et protecteur. C'est pour cette raison que la principale application de cet alliage concerne la fabrication de tubes d'échangeurs thermiques et d'évaporateurs, en contact avec des eaux acides ou polluées, cependant peu salines.

► **CuZn38Sn1 (naval brass)**

Cet alliage est adapté à la fabrication des laminés épais pour plaques d'échangeurs.

► **CuZn22Al2**

L'addition d'aluminium aboutit à un meilleur résultat que dans les cas précédents avec une tenue particulièrement bonne à la corrosion-érosion. On trouve les mêmes applications dans le domaine des échangeurs thermiques pour utilisation en eau douce ou en eau de mer.

► **CuZn35Pb2,5As**

Cet alliage destiné au décolletage présente l'intérêt d'être non dézincifiable dans les eaux agressives en raison de sa structure monophasée et de la présence d'arsenic. Il est utilisé en robinetterie et notamment pour la réalisation de sièges de robinet.

► **Les laitons haute résistance**

Ce sont des alliages désignés par le symbole

CuZn+. Le signe + indique la présence de nombreux éléments d'addition destinés à accroître leur résistance mécanique. Parmi ces alliages on peut notamment citer les compositions suivantes :

- CuZn37Mn2Al1FePb
- CuZn36Mn3Al2SiPb

Ces alliages de hautes performances se caractérisent par une charge de rupture qui peut dépasser 600 MPa et une limite élastique qui atteint 300 MPa.

► **Les alliages à mémoire de forme**

Des alliages de type CuZnAl et CuZnAlNi entrent dans cette catégorie. Ils sont traités au chapitre 5 concernant les cupro-aluminiums.

► **Le laiton moulé CuZn40 (Y30 et Y40)***

Cet alliage qui contient environ 1% d'aluminium et 2% de plomb est le laiton classique de la fonderie en coquille. Il constitue l'alliage de base pour la fabrication des pièces de robinetterie fondues.

► **Le laiton moulé CuZn23Al4 (Y20)***

C'est une composition caractérisant un alliage de fonderie de haute résistance. La teneur modérée en zinc et la présence d'aluminium et de manganèse (3%) en quantité importante favorise l'obtention de pièces moulées à caractéristiques mécaniques élevées.

*Y20 : moulé en sable, sans traitement thermique

Y30 : moulé en coquille, sans traitement thermique

Y40 : moulé sous pression, sans traitement thermique.

3.5 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES LAITONS

La plupart des propriétés physiques des laitons sont influencées par la teneur en zinc. Les additions de plomb, contrairement aux autres

éléments d'addition, ne modifient pratiquement pas ces propriétés. Les propriétés physiques des principaux laitons sont les suivantes :

Propriétés physiques des laitons					
	CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	
Température du liquidus (°C)	1 065	1 045	1 025	1 000	
Température du solidus (°C)	1 050	1 020	990	965	
Intervalle de solidification (°C)	15	25	35	35	
Masse volumique à 20 °C (kg/dm ³)	8,86	8,80	8,75	8,67	
Coefficient de dilatation linéaire (10 ⁻⁶ /°C)	18	18	19	19	
Capacité thermique massique à 20 °C (J/(kg.K))	376	376	376	376	
Conductivité thermique à 20 °C (W/(m.K))	234	188	159	138	
Conductivité électrique à 20 °C (% IACS)	56	44	37	32	
Résistivité électrique à 20 °C (10 ⁻⁸ Ω.m)	3,1	3,9	4,7	5,4	
Coefficient de température de la résistivité de 0 à 100 °C (10 ⁻³ /°C)	2,3	1,9	1,6	1,5	
	CuZn30	CuZn33	CuZn36	CuZn40	
Température du liquidus (°C)	955	935	930	905	
Température du solidus (°C)	915	905	905	900	
Intervalle de solidification (°C)	40	30	25	5	
Masse volumique à 20 °C (kg/dm ³)	8,53	8,50	8,45	8,39	
Coefficient de dilatation linéaire (10 ⁻⁶ /°C)	20	20	21	21	
Capacité thermique massique à 20 °C (J/(kg.K))	376	376	376	376	
Conductivité thermique à 20 °C (W/(m.K))	121	121	121	121	
Conductivité électrique à 20 °C (% IACS)	28	28	28	28	
Résistivité électrique à 20 °C (10 ⁻⁸ Ω.m)	6,2	6,2	6,2	6,2	
Coefficient de température de la résistivité de 0 à 100 °C (10 ⁻³ /°C)	1,5	1,6	1,7	2	
	CuZn35 Pb2	CuZn39 Pb2	CuZn40 Pb3	CuZn29 Sn1	CuZn22 Al2
Température du liquidus (°C)	910	895	890	975	1 000
Température du solidus (°C)	885	880	875	890	935
Intervalle de solidification (°C)	25	15	15	85	65
Masse volumique à 20 °C (kg/dm ³)	8,51	8,45	8,48	8,53	8,33
Coefficient de dilatation linéaire (10 ⁻⁶ /°C)	19	20	21	20	20
Capacité thermique massique à 20 °C (J/(kg.K))	376	376	376	376	376
Conductivité thermique à 20 °C (W/(m.K))	117	117	121	109	100
Conductivité électrique à 20 °C (% IACS)	26	27	28	25	23
Résistivité électrique à 20 °C (10 ⁻⁸ Ω.m)	6,6	6,4	6,2	6,9	7,5
Coefficient de température de la résistivité de 0 à 100 °C (10 ⁻³ /°C)	1,5	1,6	1,8	1,3	1,3

3.6 CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES LAITONS

3.6.1 Caractéristiques de traction et de dureté

La plupart des caractéristiques mécaniques des laitons sont croissantes avec la teneur en zinc, comme illustré en figure 15, puis atteignent leur maximum pour une teneur en zinc d'environ 30 %.

Les caractéristiques mécaniques des laitons sont les suivantes :

Caractéristiques mécaniques des laitons					
<i>Laitons binaires</i> (valeurs moyennes)					
	Etat	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2 % (MPa)	Allongement (A%)	Dureté Vickers
CuZn10	Recuit	275	100	45	65
	H 11	320	250	25	85
	H 12	370	320	12	105
	H 14	430	380	5	127
CuZn33	Recuit	340	120	60	80
	H 11	375	280	42	105
	H 12	430	360	22	125
	H 14	525	430	8	150
CuZn36	Recuit	350	120	60	80
	H 11	375	280	43	105
	H 12	430	350	23	122
	H 14	520	425	8	150
CuZn40	Recuit	370	160	40	90
	H 11	390	265	30	120
	H 12	440	314	25	135
	H 14	510	440	8	162
<i>Laitons au plomb</i> (valeurs minimales pour un écrouissage moyen)					
	Diamètre ou épaisseur (D ou e) (mm)	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2 % (MPa)	Allongement (A%)	
CuZn35Pb2	3 ≤ D ou e ≤ 7	450	320	7	
	7 < D ou e ≤ 15	410	300	10	
	15 < D ou e ≤ 30	370	250	18	
CuZn39Pb2	3 ≤ D ou e ≤ 7	480	350	5	
	7 < D ou e ≤ 15	430	300	8	
	15 < D ou e ≤ 30	380	250	15	
	30 < D ou e ≤ 50	360	200	20	
CuZn40Pb3	50 < D ou e ≤ 80	350	180	25	
	3 ≤ D ou e ≤ 7	500	370	4	
	7 < D ou e ≤ 15	450	360	6	
CuZn40Pb3	15 < D ou e ≤ 30	400	300	12	
	30 < D ou e ≤ 50	380	250	18	
	50 < D ou e ≤ 80	370	220	22	
<i>Laitons complexes corroyés</i> (valeurs moyennes)					
	Etat	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2 % (MPa)	Allongement (A%)	Dureté Vickers
CuZn29Sn1	recuit	380	180	50	90
	H 34	450	380	20	165
CuZn22Al2	recuit	400	200	45	100
	H 34	550	450	20	165
<i>Laitons complexes moulés</i> (valeurs minimales)					
	Mode* d'obtention	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,02 % (MPa)	Allongement (A%)	Dureté Brinell 10/3000
CuZn40	moulé Y30	340	-	8	-
CuZn23Al4	moulé Y20	500	250	8	160

*Y20: moulé en sable, sans traitement thermique - Y30: moulé en coquille, sans traitement thermique.

3.6.2 Constantes d'élasticité

Le module d'Young E (élasticité de traction) et le module de torsion G (élasticité de cisaillement) diminuent lorsque la teneur en zinc croît, comme cela apparaît dans le tableau suivant :

Constantes d'élasticité des laitons				
	Module d'Young (MPa)		Module de torsion (MPa)	
	État		État	
	Recuit	Ecroui	Recuit	Ecroui
Laitons binaires				
CuZn5	128000	121000	47000	45000
CuZn10	125 000	118 000	46 000	43 000
CuZn15	122 000	112 000	45 000	41 000
CuZn20	119 000	104 000	44 000	38 000
CuZn30	115 000	97 000	42 000	36 000
CuZn33	112 000	95 000	41 000	35 000
CuZn36	109 000	95 000	40 000	35 000
CuZn40	102 000	94 000	37 000	35 000
Laitons au plomb				
CuZn35Pb2	-	99 000	-	37 000
CuZn39Pb2	-	96 000	-	35 000
CuZn40Pb3	-	96 000	-	35 000
Laitons complexes				
CuZn29Sn1	112 000	-	41 000	-
CuZn22Al2	112 000	-	41 000	-

Le coefficient de Poisson pour ces alliages est voisin de 0,35.

3.7 MISE EN ŒUVRE DES LAITONS

3.7.1 Le décapage

Le décapage des laitons s'effectue généralement en bain d'acide sulfurique dilué (10 à 15 % en volume d' H_2SO_4 pur dans l'eau) à des températures ne dépassant pas 40 °C. Plus le titre en zinc est élevé, et plus le risque d'apparition de taches rouges (dépôts locaux de cuivre) est probable. Ces taches peuvent être éliminées en bain sulfochromique (30 cm³ d' H_2SO_4 et 130 g de CrO_3 dans 1 litre d'eau).

3.7.2 Les traitements thermiques

Les traitements dits "de détente" consistent à chauffer le laiton entre 250 et 325 °C pendant 1/2 à 2 heures. Cette opération a pour but d'éliminer les gradients de contraintes internes qui ont pour origine les déformations subies lors de l'élaboration du laiton corroyé. Cela permet d'éviter les risques de corrosion fissurante, dite "crique saisonnière" qui en

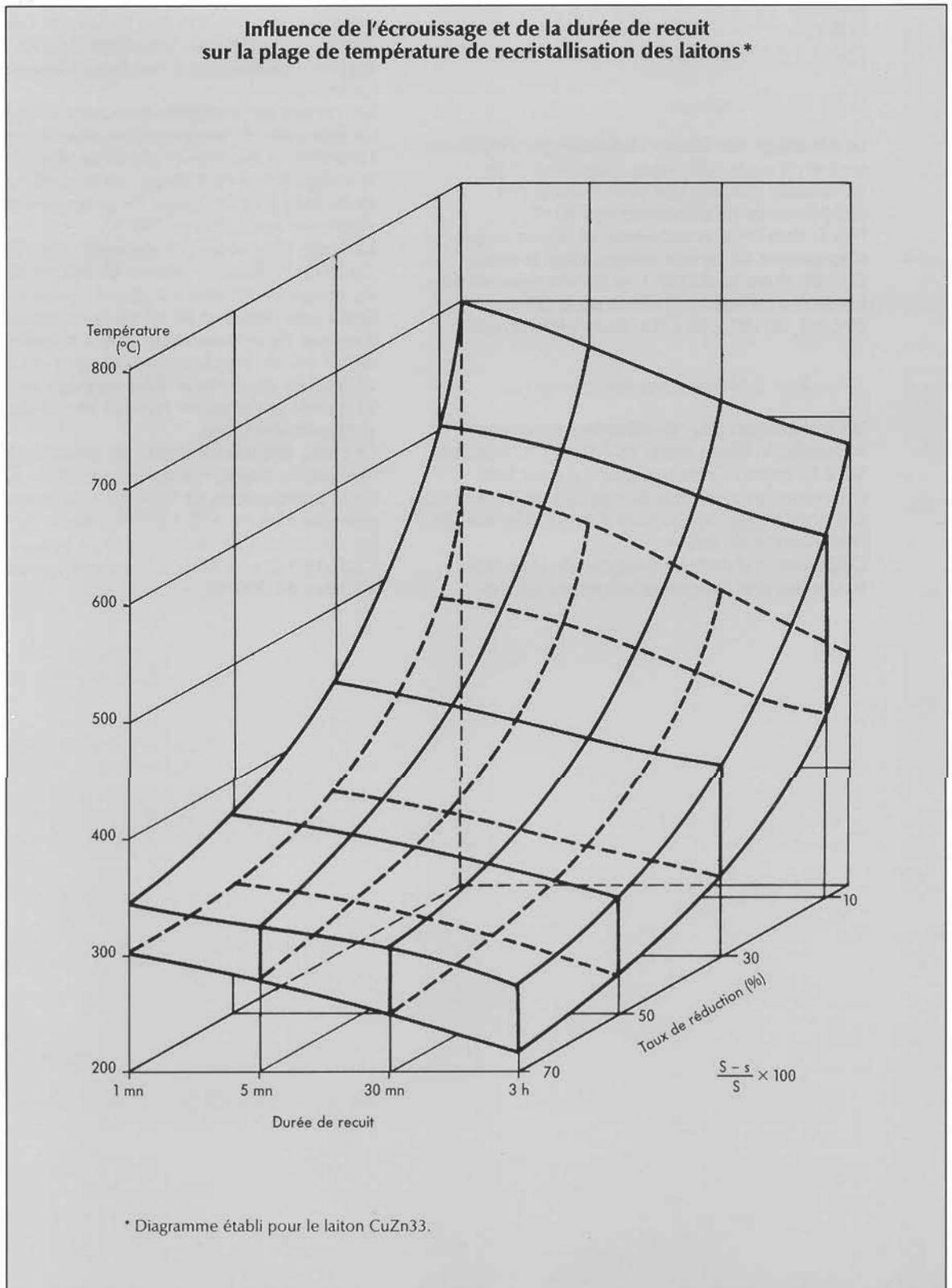
pratique ne concerne que les laitons contenant plus de 15 % de zinc, travaillant dans un milieu agressif spécifique comme l'ammoniacque par exemple.

Les recuits de recristallisation sont réalisés dans un intervalle de températures plus élevées dont l'étendue et les valeurs extrêmes dépendent de la composition de l'alliage, de la durée du recuit et du taux d'écroissage. En pratique les recuits s'opèrent entre 300 et 700 °C.

La figure 16 montre par exemple, pour le laiton CuZn33, l'influence relative de l'écroissage et du temps de maintien à chaud sur les températures de début et de fin de recristallisation. Il ressort de ce graphique que la température de début (ou de fin) de recristallisation est d'autant plus faible que le taux d'écroissage est plus élevé et qu'elle est abaissée par des temps de recuit suffisamment longs.

Le choix des températures de travail à chaud des laitons (filage, matriçage) se fait en fonction de la composition de l'alliage. Ces températures peuvent aller de 650 à 850 °C. Ainsi, par exemple, les opérations de matriçage d'un laiton CuZn39Pb2 sont effectuées à des températures voisines de 700 °C.

Figure 16



3.7.3 L'usinage

Les laitons au plomb ont une très grande aptitude à l'usinage et on a l'habitude de les prendre comme référence pour évaluer l'usinabilité des autres métaux ou alliages.

Le tableau suivant fournit une comparaison, pour

des conditions de coupe identiques, des vitesses d'usinage à taux constant d'usure d'outil au carbure, pour quelques métaux ou alliages industriels courants.

Les vitesses d'usinage peuvent aller en perçage jusqu'à 15 000 t/mn et en décolletage jusqu'à 200 m/mn avec une avance de 0,1 mm/tour.

Aptitude à l'usinage des laitons			
Alliage	Désignation	Vitesse de coupe (m/mn)	Indice (%) d'usinabilité
Laiton de décolletage	CuZn40Pb3	610	100
Laiton de décolletage	CuZn39Pb2	520	85
Laiton sans plomb	CuZn28	310	51
Bronze sans plomb	CuSn8	225	37
Acier de décolletage	S300	195	32
Acier non allié	XC38	125	20
Acier allié	35CD4	117	19
Fonte ferritique	Fonte GS	105	17
Acier trempé	HRC55	27	4

3.7.4 Les méthodes d'assemblage

Le brasage tendre à l'étain convient quelle que soit la nuance du laiton. Il en est de même pour le brasage fort ($t > 600$ °C) à condition que le laiton soit exempt d'impuretés indésirables, notamment celles qui sont trop oxydables.

Tous les laitons binaires se prêtent assez bien aux opérations de soudage par les procédés classiques.

En revanche les laitons au plomb se prêtent assez mal au soudage qui met en jeu des températures

élevées qui modifient la répartition des particules de plomb avec comme conséquence une fragilisation du métal.

Les soudages à l'arc et oxyacétylénique des laitons binaires doivent être conduits avec souplesse afin d'éviter l'évaporation du zinc.

Les soudages par point ou par résistance des laitons binaires sont d'autant plus aisés à mettre en œuvre que la teneur en zinc est plus élevée puisque la résistivité des laitons croît avec cette teneur.