

# INVAR®

## ALLIAGES A DILATATION CONTROLEE

(Alliage créé par Imphy en 1896. Nom déposé)

### INTRODUCTION

L'Invar® est un alliage Fe-Ni à 36% de Nickel qui présente la plus faible dilatabilité des métaux et alliages connus depuis les plus basses températures jusqu'à 230°C environ.

Il est utilisé plus particulièrement pour :

- les tiges de thermostats
- les balanciers d'horloges
- les lames de condensateurs de précision
- les cavités résonnantes de radars
- les moules pour composite

- les travaux de métrologie, de surveillance des ouvrages d'art
- les joints, entretoises et supports spéciaux
- la fabrication de bilames thermiques
- les cuves intégrées de navires méthaniers (M93)
- les lignes de transfert pour gaz liquéfié (M93)
- les applications Télévision : Shadow Mask, cadres, suspensions, pièces canon.
- Des applications électroniques : boîtiers électroniques spéciaux.

### ANALYSE TYPE

Les alliages Fe-Ni de la famille des Invars, développés par ArcelorMittal-Stainless & Nickel Alloys, présentent des compositions chimiques optimisées afin d'assurer le meilleur compromis entre la dilatation et les autres propriétés demandées par les applications : Propriétés mécaniques, soudabilité, stabilité structurale à température cryogénique, etc.

La concentration massique des éléments chimiques principaux est donnée dans le tableau ci-dessous.

Nuance	Ni	Co	Fe
Invar® & GSP Invar®	36	< 0,5	reste
Invar®-M93	36	< 0,2	reste
Inovar	36	< 0,1	reste
Microvar	36	0.25	reste
Inovco	33	4.5	reste
Invar® durci	40,5	< 0,4	reste

## NUANCES

Les nuances d'Invar<sup>®</sup> développées par Imphy Alloys peuvent être classées en sept familles :

		<b>Valeurs types</b>
<b>INVAR<sup>®</sup></b> (Invar <sup>®</sup> standard préconisé pour la découpe chimique)	$\alpha_m$ entre 20° et 100°C	$1.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>INVAR<sup>®</sup> GSP<sup>(1)</sup></b> (Invar <sup>®</sup> préconisé pour l'usinage et la découpe mécanique)	$\alpha_m$ entre 20° et 100°C	$1.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>INVAR<sup>®</sup>-M93</b> (Invar <sup>®</sup> cryogénique à soudabilité améliorée)	$\alpha_m$ entre -180° et 100°C <i><math>\alpha_m</math> entre 20° et 100°C</i>	$1.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ $1.3 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>INOVAR</b> (Invar <sup>®</sup> à bas résiduels, à faible coefficient de dilatation)	$\alpha_m$ entre 20° et 100°C	$0.65 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>MICROVAR<sup>®</sup> (2)</b> (Inovar à faible teneur en cobalt et à caractéristiques mécaniques améliorées)	$\alpha_m$ entre 20° et 100°C	$0.65 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>INOVCO<sup>(2)</sup></b> (Invar <sup>®</sup> au cobalt, à très faible coefficient de dilatation, et à caractéristiques mécaniques améliorées)	$\alpha_m$ entre 20° et 100°C	$0.55 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<b>INVAR<sup>®</sup> DURCI<sup>(2)</sup></b> (Invar <sup>®</sup> à hautes caractéristiques mécaniques, durci par précipitation de la phase $\gamma'$ -Ni <sub>3</sub> (Ti, Al))	$\alpha_m$ entre 20° et 100°C	$2.75 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Nb : Les mesures sont réalisées après traitement thermique à 950° - 30 mn suivi d'un refroidissement air. Sur l'Invar<sup>®</sup> durci, les mesures sont réalisées après traitement thermique de durcissement à 750°C.

D'autres types de mesure / traitement sont possibles sur demande

<sup>(1)</sup> Cette nouvelle nuance dédiée à la découpe mécanique est disponible sous forme de feuillards de différents formats avec une taille de grain affinée pour améliorer la mise en forme (Valeur type :  $G_{ASTM} = 10$ ).

<sup>(2)</sup> Ces produits ne sont disponibles que sur la base de projets spécifiques.

## CARACTERISTIQUES PHYSIQUES TYPES

L'Inovco et l'Invar<sup>®</sup> durci présentent des caractéristiques physiques différentes de celles de l'Invar<sup>®</sup>. Cette déviation résulte des ajouts d'éléments chimiques (Co, Ti).

Nuance d'Invar <sup>®</sup>	Température de Curie (°C)	Température de fusion (°C)	Résistivité à 20°C (μW.cm)	Conductivité thermique à 20°C (W.m <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )	Chaleur spécifique à 20°C (J.kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )	Densité (g.cm <sup>-3</sup> )
Invar <sup>®</sup> & Invar <sup>®</sup> GSP	230	1450	75	10,5	510	8,1
Invar <sup>®</sup> -M93						
Inovar						
Microvar						
Inovco	220	1470	80	10,5	510	
Invar <sup>®</sup> durci	220	1410	80	14,1	490	

Les alliages Fe-Ni de la famille des Invar<sup>®</sup> sont caractérisés par un coefficient moyen de dilatation, proche de la température ambiante, inférieur à  $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . La faible dilatation de ces alliages n'est observée qu'au-dessous de la température de Curie.

Coefficient moyen de dilatation  $\alpha_m \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

	-180 °C	20°C à 100°C	20°C à 200°C	20°C à 300°C	20°C à 400°C	20°C à 500°C
Invar <sup>®</sup> & Invar <sup>®</sup> GSP	1.8	1.2	2.3	4.8	7.5	8.9
Invar <sup>®</sup> -M93	1.5	1.3	2.4	4.9	7.6	9
Inovar	1.4	0.65	1.9	4.8	7.6	9.6
Microvar	1.4	0.65	1.7	4.6	7.5	9.5
Inovco		0.55	1.5	4.4	7.3	9.3
Invar <sup>®</sup> durci <sup>(1)</sup>	4.5	2.8	4	6.5	9	10.5

<sup>(1)</sup> : Durci, à 750°C pendant 30mn, sur un état de livraison recuit.

## CARACTERISTIQUES MECANIQUES TYPES POUR PRODUITS LAMINES A FROID

Les alliages Fe-Ni de la famille des Invars présentent des caractéristiques mécaniques dans la gamme 250 MPa – 1000 MPa. Le contrôle des éléments chimiques résiduels et la structure austénitique à grains fins de ces nuances leur confèrent une excellente ductilité (allongement à rupture et résilience).

Nuance	Etat recuit - 850°C - 15 mn					Etat écroui 25%		
	Rp <sub>0,2%</sub> (MPa)	Rm (MPa)	E (MPa)	A <sub>t</sub> (%)	Grain size (ASTM)	Rp <sub>0,2%</sub> (MPa)	Rm (MPa)	A <sub>t</sub> (%)
Invar® & Invar® GSP	260	455	130 000	> 30	8	560	575	> 5
Invar®-M93	270	465			8	570	580	
Inovar	260	455			8	560	570	
Microvar	290	470			9	600	630	
Inovco	300	480	125 000		8	610	650	
Invar® durci	(1) 300 (2) 775	(1) 580 (2) 1100	155 000	(1) 33 (2) 15	8	(3) 750 (4) 950	(3) 775 (4) 990	(3) 7 (4) 6

(1) : Etat de livraison recuit.

(2) : Durci, à 750°C pendant 30mn, sur un état de livraison recuit.

(3) : Etat de livraison écroui.

(4) : Etat de livraison durci.

Température (°C)	Invar® / Inovar Etat recuit - 850°C - 15 mn				Invar® / Inovar Etat écroui 25%			Invar® durci (1)			
	Rp <sub>0,2%</sub> (MPa)	Rm (MPa)	E (MPa)	A <sub>t</sub> (%)	Rp <sub>0,2%</sub> (MPa)	Rm (MPa)	A <sub>t</sub> (%)	Rp <sub>0,2%</sub> (MPa)	Rm (MPa)	E (MPa)	A <sub>t</sub> (%)
20	260	455	130 000	30	560	575	7	775	1100	155 000	15
100	210	410	135 000	32	550	565	5.5	750	1050	159 000	15
200	130	350	142 000	33	510	550	3.5	660	1000	165 000	18
300	100	325	146 000	33	480	485	3	630	950	170 000	20
400	90	290	143 000	35	410	430	3.5	620	900	165 000	20
500	85	260	140 000	35	310	340	9	600	860	160 000	20
600	75	210	137 000	35	240	275	18	580	730	150 000	15
700	73	130	134 000	30	90	130	30	520	560	145 000	10

(1) Durci, à 750°C pendant 30mn, sur un état de livraison recuit.

## CARACTERISTIQUES MECANIQUES TYPES POUR PRODUITS FINIS A CHAUD EN INVAR®

Les propriétés physiques sont mesurées sur état recristallisé

	Taille de grain	Dureté Vickers HV30	Rm (MPa)	Rp0.2% (MPa)	A% (50mm)
	ASTM E-112	NF EN ISO 6507	NF EN ISO 10002-15	NF EN ISO 10002-15	NF EN ISO 10002-15
<b>Rond-Disque</b>					
20 < $\phi$ < 500mm	3 à 10	130 – 220	400 – 550	200 – 350	> 20
Etat Naturel					
<b>Tige</b>					
$\phi$ < 20mm		150 – 250	650 – 850		> 5
Etat Etiré					
<b>Toile</b>					
3 < Ep. < 100mm		100 – 150			
Etat Recuit					
<b>Plat-Carré</b>					
3 < Ep. < 30mm		100 – 150			
Etat recuit ou Etiré					
<b>Couronne</b>					
Etat Naturel		> 110			
<b>Billette</b>					
<b>Bloc</b>					
<b>Brame</b>					

Nota : Autres essais réalisables sur demande

## PROPRIETES MAGNETIQUES TYPES

			B <sub>10</sub> (G)	H <sub>c</sub> (A/m)	M <sub>max</sub>	M <sub>anh</sub> à 0,4 Oe
<b>Nuance</b>	Invar®	Etat recuit 850°C - 15 mn	12 500	27	9 500	18 000
	Inovar			25	12 000	19 000
	Microvar			45	6 000	13 500
	Inovco			43	6 300	14 000
	Invar® durci	Durci sur état de livraison recuit (750°C - 30 mn)	11 750	38	4 900	9 000

$\mu_{anh}$  : Perméabilité anhystérétique

## FORMES DE LIVRAISON

Produits laminés à froid

Bande  
Plaque

Produits finis à chaud

Rond - Disque  
Tige  
Toile Plat – Carré  
Couronne  
Billette- Bloc-Brame

## **CONDITIONS TECHNOLOGIQUES D'EMPLOI**

- Nous consulter pour le Microvar et l'Invar<sup>®</sup> Durci.
- Pour l'Invar<sup>®</sup>, l'Inovar et l'Inovco :

### **Usinage**

	<b>Tournage</b>	<b>Fraisage</b>	<b>Perçage</b>
<b>Outil</b>	Carbure S3 ou 34	Acier rapide supérieur	Acier rapide
<b>Arrosage</b>	Huile soluble	Huile soluble	Huile soluble
<b>Angle de coupe</b>	12 – 17°	15°	
<b>Angle de dépouille</b>	5 – 8°	3 – 7°	9 – 13°
<b>Vitesse de coupe (m/mn)</b>	50 – 75	10 – 15	10
<b>Avance mm/</b>	0,2 – 0,5 /tour	0,05 – 0,10 /dent	0,10 /tour

### **Brasage :**

Pour éviter tout risque de corrosion fissurante sous tension lors du brasage, les pièces à assembler doivent être exemptes de contraintes résiduelles. Cet état est obtenu par un recuit de détensionnement à 700-800°C. Sur de l'Invar<sup>®</sup> détensionné le brasage au cuivre, à l'argent-cuivre avec ou sans palladium, conduit à de très bons résultats. L'emploi d'une brasure tendre à l'étain ou à l'étain blanc peut aussi être adopté.

### **Soudage :**

Le soudage doit se faire de préférence à l'état recuit. Les soudures : oxy-acétylénique, TIG et par résistance, peuvent être effectuées en prenant le même type de précautions que pour les alliages inoxydables.

Pour les assemblages chaudronnés complexes (soudures croisées) et pour les épaisseurs supérieures à 2mm il est possible d'utiliser selon les exigences de l'application soit le fil Invar<sup>®</sup>-M93, soit le fil Invar<sup>®</sup>-M93T, soit le fil Invar<sup>®</sup>-Ti.Mn (nous consulter).

Consulter les fiches spécifiques soudage Invar<sup>®</sup>M93 et M93T

### **Etuvage pour l'Invar<sup>®</sup> :**

- Pour la relaxation des contraintes :  
Les produits obtenus par laminage, étirage, forgeage, usinage, etc, présentent le plus souvent des contraintes résiduelles. Dans le cas d'usinage de haute précision avec enlèvement important de matières, il est recommandé d'intercaler entre l'ébauchage et la finition un traitement de relaxation des contraintes de 3h à 315°C suivi d'un refroidissement lent.
- Pour un vieillissement accéléré :  
Par ailleurs l'Invar<sup>®</sup> est sujet à une certaine instabilité dimensionnelle en raison de phénomènes physico-chimiques. Il est donc nécessaire de faire un vieillissement accéléré du métal avant utilisation, en procédant à l'étuvage suivant : 24h à 100°C refroidissement lent jusqu'à l'ambiante (25°C/24h).

### **Inoxydabilité :**

Malgré sa teneur élevée en Nickel qui lui confère une certaine résistance à l'oxydation, l'alliage Invar<sup>®</sup> ne saurait être comparé, au point de vue inoxydabilité, aux alliages dits inoxydables comme les alliages du type 18/8 par exemple. Un polissage soigné améliore notablement sa résistance à l'oxydation. On peut évidemment utiliser les moyens classiques de protection (vernissage, dépôt électrolytique).