

Les avantages d'un moteur pas à pas

Il est intéressant de regarder les caractéristiques principales des pas à pas et d'évaluer les avantages qui en découlent.

Caractéristiques	Avantages
Sans balais	Pas d'usure donc durée de vie importante
Fonctionnement en boucle ouverte	Pas besoin de codeur ou de recopie (réduction de coût)
Plusieurs pas angulaires disponibles	Optimisation des caractéristiques : résolution vitesse couple
Commutation directe d'un signal	Facilité d'intégration dans un système complexe

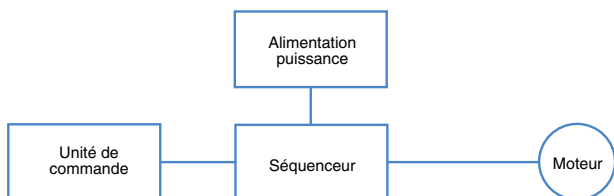
L'avantage essentiel du pas à pas est de fonctionner en boucle ouverte, c'est-à-dire que dans des conditions normales d'utilisation pour un nombre n d'impulsions on obtient un déplacement de n pas.

Les pas à pas sont présents dans de nombreuses applications telles : les photocopieurs, machines à écrire, imprimantes bancaires, périphériques informatiques, tables traçantes, instrumentation, pompes médicales, pousses seringues, distributeurs, machines de jeu, automobiles, climatisation, régulation.

Principe des moteurs pas à pas

Le fonctionnement d'un moteur pas à pas nécessite la présence des éléments suivants :

- Une unité de commande (microprocesseur par exemple) qui fournit des impulsions dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur, elle imposera également le sens de rotation.
- Un séquenceur qui aiguillera les impulsions sur les différentes bobines du moteur.
- Une alimentation de puissance.

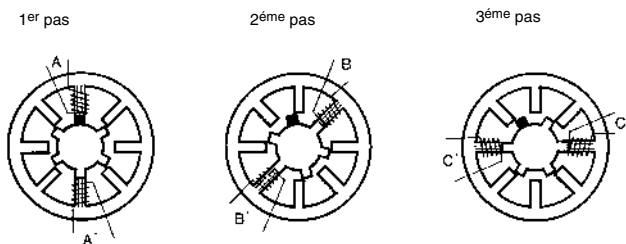


→ Le moteur pas à pas à réluctance variable

Ce type de moteur utilise la loi du flux maximum.

Constitution :

- Un stator denté
- Un rotor denté

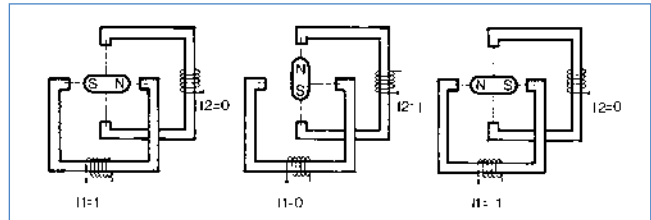


→ Le moteur pas à pas à aimant permanent

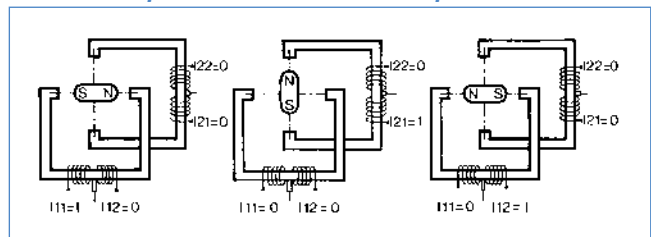
Constitution :

- Un stator denté
- Un rotor aimanté

→ Moteur 2 phases - alimentation bipolaire



→ Moteur 4 phases - alimentation unipolaire



Les différents types d'excitation

→ 2 phases

	I1	I2	°
1 phase on	1	0	0
	0	1	90
	-1	0	180
	0	-1	270
2 phase on	1	1	45
	-1	1	135
	-1	-1	225
	1	-1	315
1/2 pas	1	0	0
	1	1	45
	0	1	90
	-1	1	135
	-1	0	180
	-1	-1	225
	0	-1	270
	1	-1	315

→ 4 phases

	I11	I12	I21	I22	°
1 phase on	1	0	0	0	0
	0	0	1	0	90
	0	1	0	0	180
	0	0	0	1	270
2 phase on	1	0	1	0	45
	0	1	1	0	135
	0	1	0	1	225
	1	0	0	1	315
1/2 pas	1	0	0	0	0
	1	0	1	0	45
	0	0	1	0	90
	0	1	1	0	135
	0	1	0	0	180
	0	1	0	1	225
	0	0	0	1	270
	1	0	0	1	315

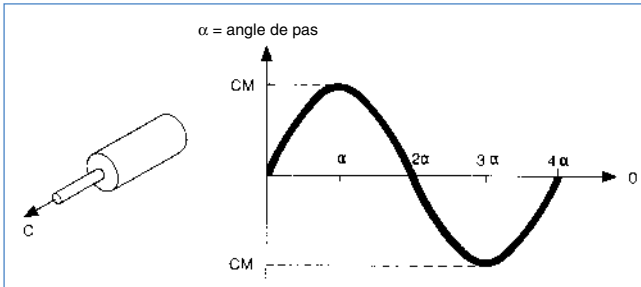
Les caractéristiques statiques

→ Courant par phase

C'est l'intensité par phase à fréquence nulle (moteur à l'arrêt) qui provoque l'échauffement maximum admissible par le moteur. Ce courant est mesuré à froid dans le cas d'une alimentation à tension constante.

→ Couple de maintien statique

Le moteur étant alimenté, le couple de maintien statique est le couple qu'il faut appliquer sur l'axe moteur pour provoquer une rotation continue.



→ Couple de maintien (Cm)

Le couple de maintien est le couple minimum qu'il est nécessaire d'appliquer au rotor pour occasionner sa rotation, la mesure étant faite «moteur alimenté deux phases à la fois» à fréquence nulle.

→ Couple de détente

Ce couple a la même définition que le couple de maintien mais avec le moteur non alimenté.

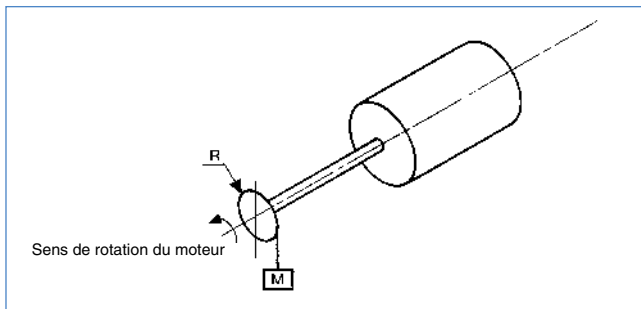
Les caractéristiques dynamiques

→ L'avance élémentaire

Il existe 4 types de contraintes pouvant s'appliquer sur un moteur :

La charge inertielle JL

Son action ne s'exerce que lors des accélérations ou décélération du moteur, elle influe également sur les fréquences de résonance. Si JL est la résultante des inerties de la charge (ramenées sur l'axe du rotor) le couple équivalent dû à cette inertie est fonction du système de transmission (voir annexe rappels de mécanique).



Le couple antagoniste MR

Il s'agit d'un couple qui s'oppose à la rotation générale du rotor. C'est le système poids-poulie qui le schématise le mieux.

Le couple résistant dû aux frottements visqueux

Il est proportionnel à la vitesse. Par définition, ce frottement représente la résultante des actions d'un liquide ou d'un gaz s'appliquant sur un solide qui se déplace dans un milieu liquide ou gazeux. Les exemples de l'automobile ou de l'avion sont très concrets.

Le couple résistant dû aux frottements secs

Il s'oppose toujours au déplacement. Par définition, ce frottement représente la résultante des actions qui s'exercent sur un solide se déplaçant sur un autre solide.

Cas de l'entraînement du papier sur imprimante.

Inerties :

J pignons + J engrenages + J rouleaux. Ces inerties doivent être ramenées à l'axe moteur.

Couple d'antagoniste :

C'est le couple au poids du papier. Il est faible par rapport au couple du frottement sec.

Couple de frottement visqueux :

Ce couple dû au déplacement du rouleau dans l'air est négligeable.

Couple de frottement sec :

Il s'agit du couple dû au frottement des différents axes (engrenages + rouleau) sur leur palier.

Jusqu'à présent, nous avons parlé de contraintes externes, mais on retrouve les contraintes dues à l'inertie, au frottement visqueux et au frottement sec à l'intérieur du moteur.

Inertie :

Inertie du rotor.

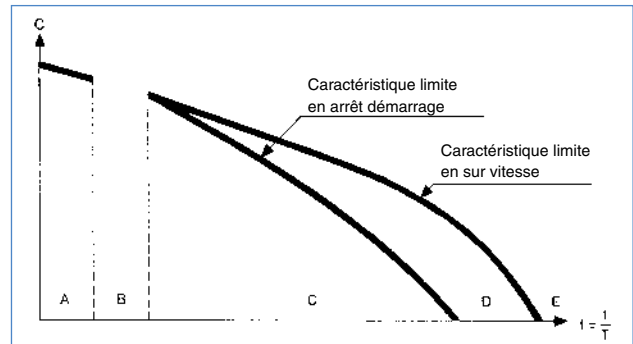
Frottement visqueux :

- Frottement du rotor dans l'air.
- Couple résistant dû aux courants induits et dont l'effet est équivalent à un frottement visqueux.

Frottement sec :

Frottement de l'axe rotor sur les paliers.

Pour étudier le mouvement du rotor on doit tenir compte de toutes les contraintes internes et externes s'appliquant sur le moteur



→ Les couples dynamiques

Pour un système donné, la variation du couple antagoniste et de la fréquence des impulsions déterminent les caractéristiques dynamiques du moteur, pour une alimentation donnée.

Zone A

Fonctionnement possible mais risque de génération trop importante de bruit due aux à-coups du moteur.

Zone B

Risque de perte de synchronisme : résonance basse fréquence.

Zone C

Zone d'arrêt-démarrage. Démarrage et arrêt du moteur dans cette zone sans perte de pas.

Zone D

Zone de survitesse. Fonctionnement possible si arrêt et démarrage dans la zone C.

Zone E

Fonctionnement impossible.

→ **Commentaire sur les caractéristiques présentées**

Pour un type de moteur et un nombre de phases donnés plusieurs bobinages sont proposés. Ils ont été calculés afin d'adapter le moteur à chaque type d'électronique.

Par exemple :

Une faible résistance est nécessaire pour une alimentation à courant constant et une résistance plus élevée sera utile pour une alimentation à tension constante. Cependant, tous les bobinages sont à peu près équivalents d'un point de vue puissance absorbée, ampère tour, et constante de temps L/R (en statique).

Ces moteurs auront à peu près les mêmes performances pour une électronique donnée.

Exemple moteur 82 910 - 2 phases.

		82 910 001	82 910 005	82 910 022
R	Ω	9	12,9	66
L	H	12	15	68
N	tr	320	373	762
I _e	A	0,52	0,44	0,19
NI	A.tr	166,4	164	145
P	W	4,9	5	4,8
Z=L/R	ms	1,3	1,15	1

→ **Précision du pas**

Condition : (en pas entier 2 phases alimentées)

Les charges extérieures sont nulles, le courant est à sa valeur nominale. La mesure est effectuée sur tous les pas et sur un tour.

Definition :

Précision de positionnement

Il s'agit de l'erreur par rapport à la position d'équilibre théorique.

Précision de pas

Il s'agit de l'erreur sur l'écart angulaire (pas)

→ **Influence de l'inertie de la charge**

Fo - Fréquence maximale d'arrêt-démarrage à inertie de charge nulle

JR - Inertie du rotor

JL - Inertie de la charge

Attention :

La formule ci-dessus est déterminée à l'aide d'approximation JL ~ JR.

Les alimentations de puissance

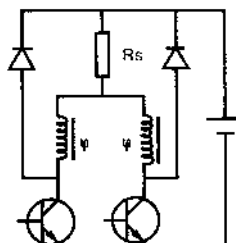
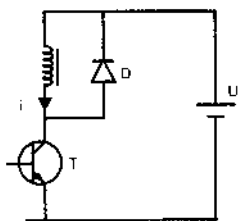
→ **Notation**

Une phase d'un moteur aura une résistance R et une inductance L

→ **Alimentation à tension constante**

sans résistance série

avec résistance série



L'utilisation d'une résistance série impose l'augmentation de la tension d'alimentation de :

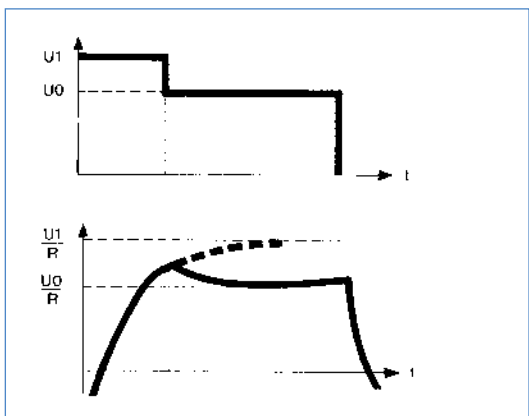
U à $\frac{U + R_0 U}{R}$ afin de conserver la puissance absorbée au niveau du moteur

→ **Alimentation avec deux niveaux de tension**

Toutes les améliorations passent par l'augmentation de la pente à l'origine du courant dans le circuit R-L.

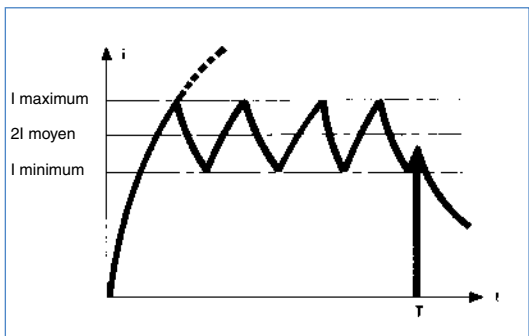
La première méthode consiste à augmenter la résistance totale du circuit (§5.1).

La seconde méthode consiste à augmenter la tension d'alimentation pendant un certain temps, la puissance moyenne dissipée dans le moteur ne produisant pas un échauffement supérieur au maximum admissible.



→ **Alimentation à courant constant**

La tension d'alimentation est très supérieure à RI nominal. Le courant est régulé par un transistor fonctionnant en tout ou rien suivant le principe des alimentations à découpage.



Comparaisons

→ **Excitation «1 phase à la fois» «2 phases à la fois»**

Comparaison à puissance absorbée égale.

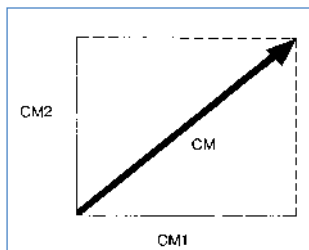
	1 phase à la fois	2 phases à la fois
Puissance	$P = R (\sqrt{2}I)^2$	$P = 2RI^2$
Courant par phase	$\sqrt{2} I$	I
Couple de maintien	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2} C_m$

Le couple de maintien est proportionnel au courant dans le domaine magnétique linéaire du matériau.

Au-delà, le phénomène de saturation rend le couple de maintien presque indépendant du courant.

Cm1 = Couple de maintien dû à la phase 1 alimenté par I.

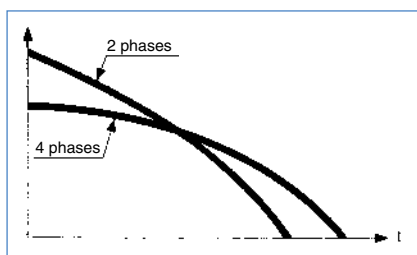
Cm2 = Couple de maintien dû à la phase 2 alimenté par I.



C_m = Couple de maintien moteur alimenté «deux phases à la fois».

→ Comparaison «2 phases» - «4 phases»

Comparaison à tension constante et résistance constante.



Comparaison du moteur «2 phases» et «4 phases» alimenté à tensions constantes.

	2 phases	4 phases
Performances	Elevées en BF Basses en HF	Elevées en BF
Prix du moteur	Faible	Surcoût dû aux 6 fils
Electronique	8 transistors	4 transistors

Homologations

→ Moteurs pas à pas à aimant permanent

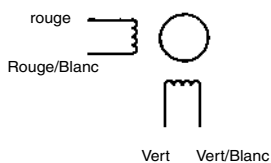
Les fils de sortie standard AWG22 sont homologués UL 80°C, 300 V. (AWG24 sur demande).

→ Moteurs hybrides

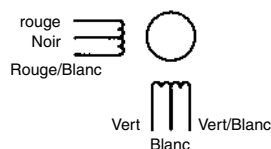
Les fils de sortie standard AWG22 sont homologués UL 125°C, 300 V. (UL325-6CSA).

→ Autres possibilités en moteurs hybrides

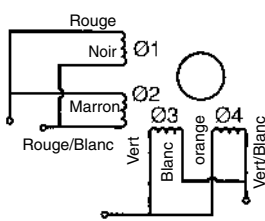
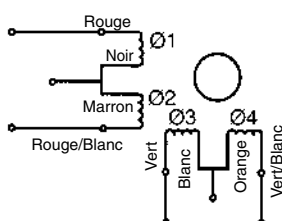
Certains moteurs hybrides peuvent aussi être livrés en 2 phases (4 fils) ou 4 phases (8 fils). Le repérage des moteurs sera le suivant.



A - Branchement en série



B - Branchement en parallèle



Remarques

Dans ce fascicule, chaque moteur présenté est repéré par un code à 8 chiffres, qui le définit entièrement. Pour éviter toute erreur, ce code doit figurer sur les commandes.

Comment définir vos besoins

Le moteur pas à pas peut répondre à de nombreuses applications, afin de répondre à la votre il faut définir certains points :

→ Les caractéristiques mécaniques

Définissez clairement votre système et votre chaîne cinématique afin d'évaluer les frottements et les inerties ramenés à l'axe moteur (voir annexe rappel de mécanique).

Formalisez votre mode de transmission. Déterminez le couple utile, en dynamique et au maintien.

Déterminez le nombre de pas à accomplir et le temps affecté à ce mouvement.

Choisissez une vitesse de fonctionnement.

Choisissez un mode d'alimentation, (tension constante, deux niveaux de tension, courant constant).

Dans la mesure où le moteur sélectionné délivre le couple nécessaire à la fréquence voulue mais dans la zone de survitesse, il ne faut pas oublier de prévoir une rampe d'accélération et de décélération afin d'éviter toute perte de pas.

Détermination des conditions d'utilisation : température, charges axiales ou radiales, cycles de fonctionnement. Dans certains cas l'usage d'un réducteur peut s'avérer utile pour des raisons de couple ou de vitesse, dans tous ces cas, se référer aux courbes du catalogue indiquant la puissance utile disponible en fonction de la vitesse.

→ Besoins spécifiques

Éléments à fournir pour bien déterminer un moteur si vous ne trouvez pas votre produit au catalogue :

Encombrement, pas angulaire, résistance, nombre de phases, longueur des fils, type de connecteur, type d'alimentation, fréquence de travail, couple demandé, cycle de fonctionnement.

Mais si votre problème nécessite un axe spécial ou d'autres adaptations mécaniques ou électriques (pignons, connecteurs...) nos services sont à votre disposition (pour des quantités significatives).

Nous vous signalons en outre que de nombreuses adaptations existent en standard ou semi-standard.

RAPPEL DE MÉCANIQUE

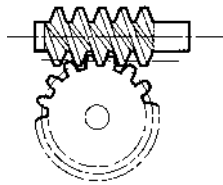
Système roue/vis

$$J = J_v + \frac{1}{R^2} J_r$$

J_v = Inertie de la vis considérée comme un cylindre de diamètre égal au diamètre primitif.

J_r = Inertie de la roue considérée comme un cylindre plein de diamètre égal à un diamètre primitif

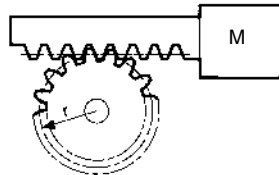
R = Rapport de réduction



Crémaillère

$$J = MR^2 + \frac{mr^2}{2}$$

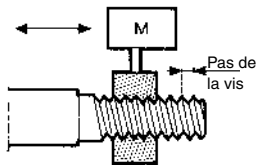
M = Masse en translation
 m = Masse pignon



Dispositif vis/écrou

$$J = \frac{MP^2}{4\pi^2} + \frac{mr^2}{2}$$

M = Masse en translation
 m = Masse de la vis
 r = Rayon moyen de la vis

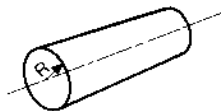


Inertie

Calcul des inerties ramenées au moteur

→ Cylindre

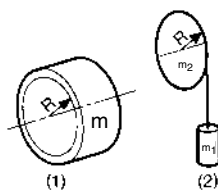
$$J = \frac{mR^2}{2}$$



→ Jante - Poids/poulie

$$J = mR^2$$

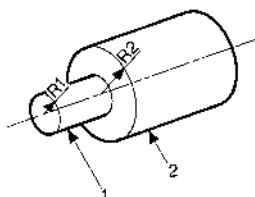
$$J = mR^2 + \frac{mR^2}{2}$$



→ Cylindres coaxiaux (arbres épaulés)

$$J = \frac{M_1 R_1^2}{2} + \frac{M_2 R_2^2}{2}$$

M_1 = Masse du cylindre 1
 M_2 = Masse du cylindre 2



Transmission pour courroie (ou chaîne)

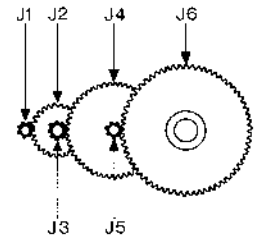
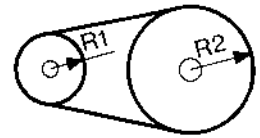
$$J = \frac{M_1 + 2m + M_2}{2} R_1^2$$

M_1 = Masse poulie moteur
 M_2 = Masse poulie menée

m = Masse courroie

Si la poulie menée reçoit aussi le moment d'inertie J_c d'une charge on a alors :

$$J = \frac{M_1 + 2m + M_2}{2} R_1^2 + J_c \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2$$



Cas d'un réducteur

$$J = \frac{1}{R^2} J_c + J_r$$

J_c = Inertie de la charge entraînée en sortie du réducteur

J_r = Inertie du réducteur

R = Rapport de réducteur

→ Nota :

L'inertie du réducteur se calcule étage par étage, chaque roue étant considérée comme un cylindre.

$$J_r = J_1 + \left(\frac{1}{R_1} \right)^2 (J_2 + J_3) + \left(\frac{1}{R_1} \right)^2 (J_4 + J_5) + \dots$$

En pratique le calcul de l'inertie des 2 premiers trains, voire très souvent du premier donne une valeur approchée suffisante.

Conversion des couples

	Nm	cm kg	cm N	m Nm	cm gr	in.oz	lb.Ft
1b.Ft	1,383	=13,83	=138,3	=1383	=13830	=192	=1
in.oz	0,00072	=0,0723	=0,723	=7,23	=72,3	=1	=0,0052
cm gr	0,0001	=0,001	=0,01	=0,1	=1	=0,0,139	=0,0000723
m Nm	0,001	=0,01	=0,1	=1	=10	=0,139	=0,000723
cm N	0,01	=0,1	=1	=10	=100	=1,39	=0,00723
cm kg	0,1	=1	=10	=100	=1000	=13,9	=0,0723
Nm	1	=10<					

Moment d'inertie

A \ B	kg-cm ²	g-cm ²	kg-cm-s ²	g-cm-s ²	lb-in ²	oz-in ²	lb-in-s ²	oz-in-s ²	lb-ft ²	lb ft -s ²
kg-cm ²	1	10 ³	1.01972 x10 ⁻³	1.01972	0.341716	5.46745	8.85073 x10 ⁻⁴	1.41612 x10 ²	2.37303 x10 ⁻³	7.37561 x10 ³
g-cm ²	10 ⁻³	1	1.01972 x10 ⁻⁶	1.01972 x10 ⁻³	3.41716 x10 ⁻⁴	5.46745 x10 ⁻³	8.85073 x10 ⁻⁷	1.41612 x10 ⁻⁵	2.37303 x10 ⁻⁶	7.37561 x10 ⁻⁶
kg-cm-s ²	980.665	980.665 x10 ³	1	10 ³	335.109	5.36174 x10 ³	0.867960	13.8874	2.32714	7.23300 x10 ⁻²
g-cm-s ²	0.980665	980.665	10 ⁻³	1	0.335109	5.36174 x10 ⁻⁴	8.67960 x10 ⁻⁴	1.38874 x10 ⁻²	2.32714 x10 ⁻³	7.23300 x10 ⁻⁵
lb-in ²	2.92641	2.98411 x10 ³	2.98411 x10 ⁻³	2.98411	1	16	2.59009 x10 ⁻³	4.14414 x10 ⁻²	6.94444 x10 ⁻³	2.15840 x10 ⁻⁴
oz-in ²	0.182901	182.901	1.96507 x10 ⁻⁴	0.186507	0.0625	1	1.61880 x10 ⁻⁴	2.59009 x10 ⁻³	4.34028 x10 ⁻⁴	1.34900 x10 ²
lb-in-s ²	1.12985 x10 ³	1.12985 x10 ⁶	1.15213	1.15213 x10 ³	386.088	6.17740 x10 ⁻³	1	16	2.68117	8.33333 x10 ²
oz-in-s ²	70.6157	70.6157 x10 ³	72.0079 x10 ⁻³	72.0079	24.1305	386.088	6.25 x10 ⁻²	1	0.107573	52.0833 x10
lb-ft ²	421.403	421.403 x10 ³	0.429711	429.711	144	2304	0.372972	5.96756	1	3.10810 x10 ²
lb ft -s ²	1.35582 x10 ⁴	1.35582 x10 ⁷	13.8255	1.38255 x10 ⁴	4.63305 x10 ³	7.41289 x10 ⁴	12	192	32.1740	1

Table de conversion

g			kg			cmkg			cmg		
ounces			lbs			in/ lbs			in/oz		
7.1	1/4	0.008	0.23	1/2	1.10	1.152	1	0.870	72	1	0.013
14.2	1/2	0.017	0.45	1	2.20	2.304	2	1.739	144	2	0.026
21.3	3/4	0.025	0.91	2	4.41	3.456	3	2.609	216	3	0.039
28.3	1	0.035	1.36	3	6.61	4.608	4	3.478	288	4	0.053
42.5	1 1/2	0.053	1.81	4	8.82	5.760	5	4.348	360	5	0.069
56.7	2	0.070	2.27	5	11.0	6.912	6	5.218	432	6	0.078
70.9	2 1/2	0.087	2.72	6	13.2	8.064	7	6.087	504	7	0.091
85.0	3	0.106	3.18	7	15.4	9.216	8	6.957	574	8	0.106
113.0	4	0.141	3.63	8	17.6	10.368	9	7.826	648	9	0.120
142.0	5	0.176	4.08	9	19.8	11.520	10	8.696	720	10	0.139
170.0	6	0.212	4.54	10	22.0				1152	12	0.212
198.0	7	0.247	4.99	11	24.2				1440	20	0.278
227.0	8	0.282	5.44	12	26.4				2160	30	0.416
255.0	9	0.318	5.90	13	28.6				2880	40	0.555
283.0	10	0.353	6.35	14	30.8				3600	50	0.694
312.0	11	0.388	6.80	15	33.1						
340.0	12	0.424	7.26	16	35.2						
368.0	13	0.459									
397.0	14	0.494									
425.0	15	0.53									
454.0	16	0.564									