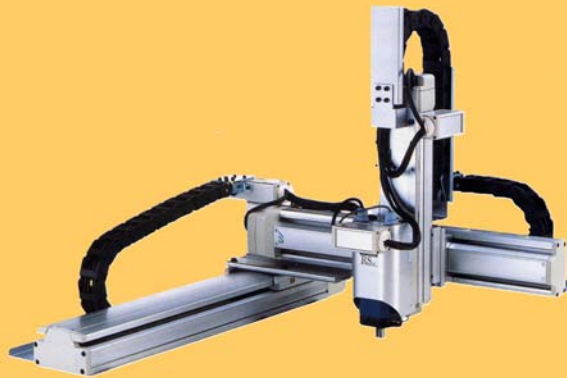
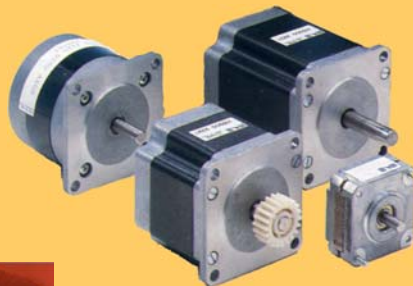


7ème Rencontre nationale des mécaniciens du CNRS

La société ROSIER présente

Les Systèmes de Positionnement



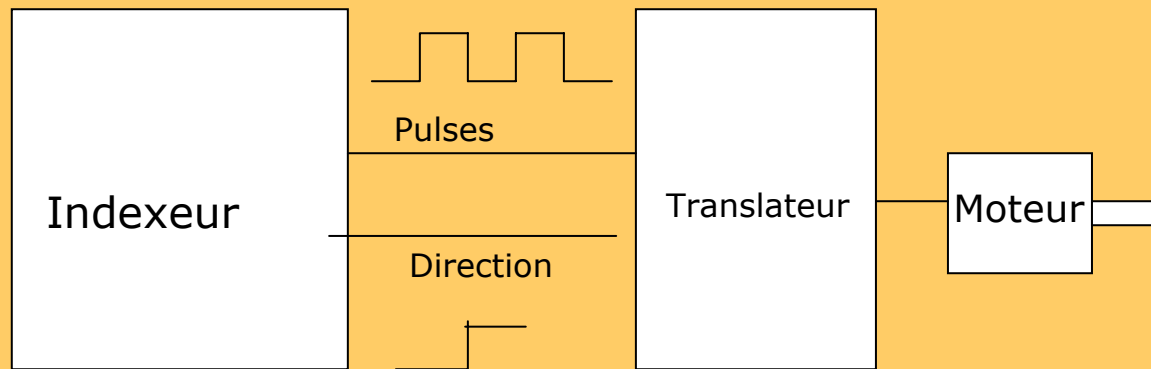
Asservissement & positionnement

- Un système d'asservissement se compose de 3 parties :
 - Le système de contrôle, indiquant la tâche que doit réaliser le moteur. Ce peut être une commande numérique, un ordinateur ou simplement un potentiomètre de consigne.
 - L'unité de puissance ou amplificateur, qui transforme les consignes de bas niveau de l'utilisateur en signaux de puissance, propres à actionner le moteur. En général, cet amplificateur est dédié à un type de moteur et adapté à une puissance donnée. Il comporte au moins une partie des correcteurs (boucle de courant minimum) permettant l'asservissement du moteur.
 - Le moteur, qui peut être un moteur pas à pas, un moteur à courant continu, un moteur brushless ou un moteur moins répandu tel que le moteur couple ou le moteur linéaire.



Motorisation pas à pas

La chaîne de pilotage

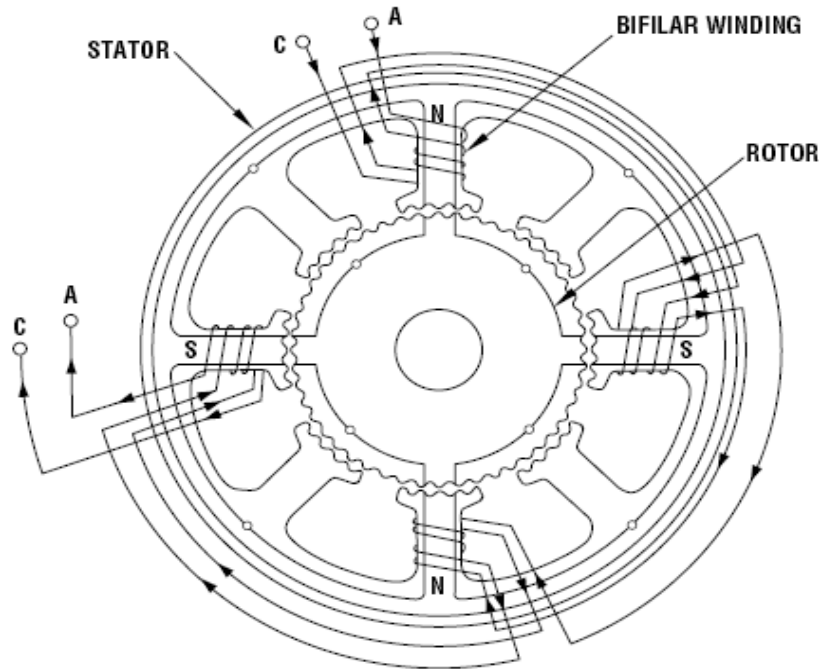


L'indexeur est la partie intelligente du système, qui génère des impulsions bas niveau.
La partie puissance ou translateur transforme ces signaux bas niveau en signaux de puissance (pilotage de transistors)

Motorisation pas à pas



Les moteurs pas à pas hybrides

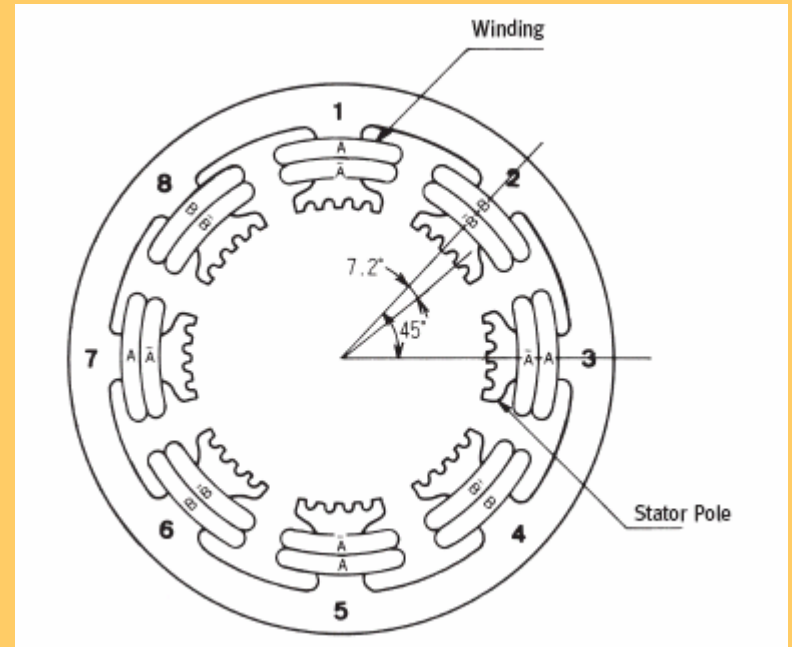
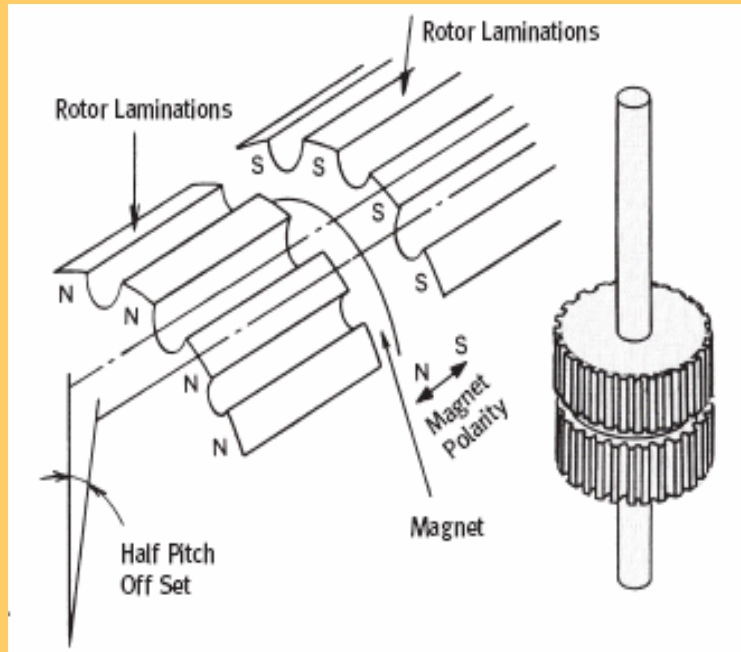


1.8° Hybrid motor.

Il combine les avantages du moteur pas à pas à reluctance variable et du moteur pas à pas à aimants permanents : couple important et grande précision angulaire.

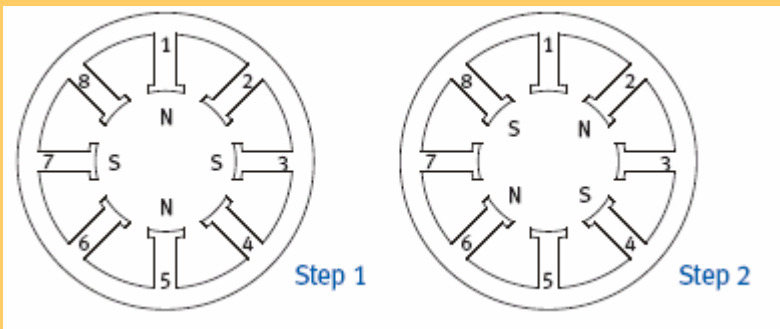
L'angle de pas des moteurs hybride est généralement de 1,8 degrés.

Au centre du rotor, on trouve un aimant bipolaire avec aimantation axiale, qui porte à chaque extrémité une structure dentée en fer, semblable à un gros pignon. Les dents du rotor et celles du stator s'alignent en fonction de l'alimentation des phases.



Le rotor se compose d'aimant(s) avec 50 pôles Nord et 50 pôles Sud décalés d' $1/2$ pas par rapport au pôles Nord.

Le stator se compose de 8 pôles avec un bobinage.
Chaque pôle a 5 dents séparées de 7.2 degrés.



Dans le cas d'1 phase alimentée
 Au pas 1, la phase A est excitée
 Le pôle Sud du rotor est attiré

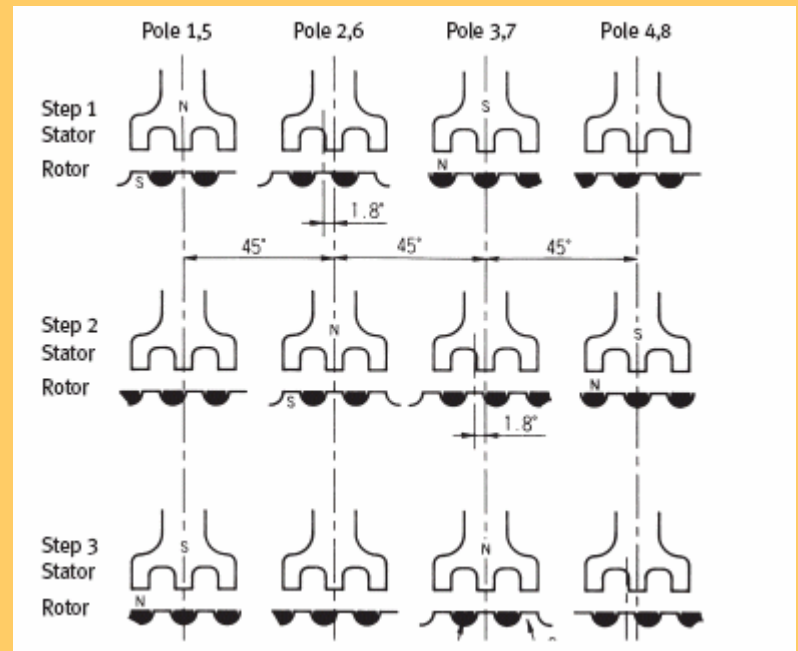
par les pôles 1,5 du stator (N) et le pôle Nord du rotor est attiré
 par les pôles 3,7 du stator (S). Les pôles 2,6 et 4,8
 correspondant à la phase B ne sont pas alimentés et la différence
 d'angle entre les dents du stator et celles du rotor est de 1.8° .

Au pas 2, le rotor bouge de $1,8^\circ$ pour aligner ses pôles sur ceux
 du stator, à savoir 2,6 et 4,8.

De façon générale, $SPR = N.\phi$ avec

SPR = Steps Per Revolution ; N = nombre total de pôles du rotor

Φ = Nombre de phases du moteur



- Le rotor a généralement 50 dents au pôle Nord et 50 dents au pôle Sud et 2 phases :

$$\text{SPR} = 100 \times 2 = 200 \text{ pas/tr}$$

Que l'on soit en 2 phases alimentées ou une phase alimentée, il y a 4 séquences possibles pour commuter les phases :

Pas	Phase			Pas	Phase	
	A	B			A	B
1	+1	+1		1	+1	-
2	+1	-1		2	-	-1
3	-1	-1		3	-1	-
4	-1	+1		4	-	+1

2 phases ON

1 phase ON

- 4 séquences x 50 dents = 200 pas par tour.

- Notion de couple de maintien : dès que le moteur est alimenté, il prend une position d'équilibre. A cette position, le couple est nul, mais si on cherche à écarter le rotor de cette position, il présente une résistance dont la distribution est approximativement sinusoïdale, jusqu'à une valeur maximale qui est le couple de maintien.
- Si l'on force le rotor à dépasser cette valeur de couple, il va continuer seul jusqu'à la prochaine position stable. Il s'est alors décalé de 4 pas entiers, ou encore d'une dent. On dit qu'il a décroché.

Il est possible de façon électronique de créer des pas intermédiaires. Il faut pour cela alimenter les bobines du moteur simultanément avec un rapport de courant tel que le rotor trouve sa position d'équilibre à mi-chemin des 2 pôles qui l'attirent (dans le cas de demi-pas) ou dans une position intermédiaire choisie.

On peut ainsi atteindre des résolutions de 50000 pas/tour. Plus la résolution est grande, plus le profil de courant envoyé dans les bobinages est proche de la forme sinusoïdale.



La problématique du micropas

Le couple idéal délivré par le moteur en fonction de la position de son rotor est donné par la formule suivante :

$$T = -h.\sin(((\pi/2)/S)\theta)$$

Avec :

T = Couple

h = Couple de maintien du moteur

S = angle d'un pas, en radians

θ = angle du rotor, en radians

La courbe théorique est alors :

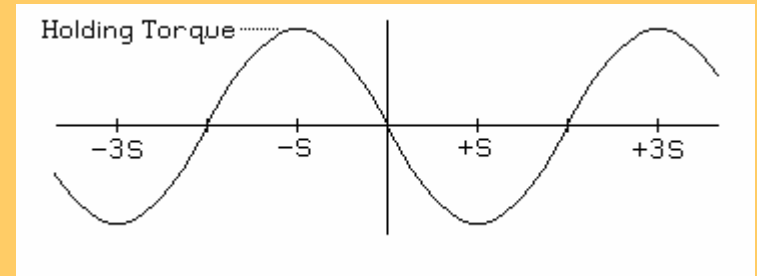


Figure 1

Dans notre cas, S vaut 1,8 degrés.

θ est l'angle mécanique, $50.\theta$ (en degrés) est l'angle électrique.

La figure 1 montre une période de $4.S$ (soit dans notre cas 7.2 degrés).

On parle de pas stable ou position 0 du rotor tous les 7.2 degrés.

Certaines électroniques sont capables, lors d'une prise d'origine de venir chercher le capteur puis la phase 0 du moteur (position de stabilité).

Lorsque aucune alimentation n'est présente dans les bobinages moteur, le couple n'est néanmoins pas nul. En effet, de par sa construction (notamment la magnétisation permanente du rotor), le moteur pas à pas possède un couple résiduel aussi dénommé couple de détente ou couple de cogging.

La figure 1 montre la courbe du couple en fonction de l'angle rotor dans le cas d'une seule phase alimentée à la fois.

Les électroniques actuelles permettent en fait d'alimenter 2 phases à la fois.

La séquence de contrôle du courant dans les phases moteur devient alors pour un fonctionnement en plein pas :

	Seq1	Seq2	Seq3	Seq4
1a	+	+	-	-
1b	-	-	+	+
2a	-	+	+	-
2b	+	-	-	+
				etc...

Dans ce cas, la courbe du couple en fonction de la position du rotor sera la somme des courbes de chaque bobinage :

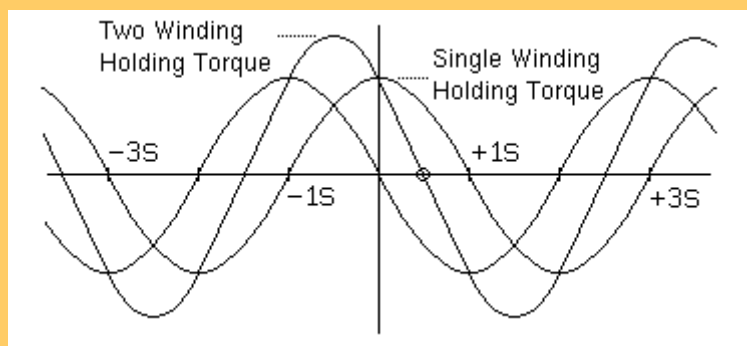


Figure 2

Le couple de maintien pour 2 bobines alimentées devient alors :

$$h2 = 1,414 \cdot h1$$

avec $h1$ = couple de maintien pour 1 bobine alimentée

$h2$ = couple de maintien pour 2 bobines alimentées.

La plupart des constructeurs de moteurs ne donne que la valeur $h2$ (qui est la plus avantageuse).

- En « mixant » le mode 1 phase ON et le mode 2 phases ON, on obtient alors le mode demi-pas. La séquence de contrôle deviendra alors :

	Seq1	Seq2	Seq3	Seq4	Seq5	Seq6	Seq7	Seq8	
1a	+	+	-	-	-	-	-	+	
1b	-	-	-	+	+	+	-	-	
2a	-	+	+	+	-	-	-	-	etc...
2b	-	-	-	-	-	+	+	+	

En contrôlant alors le courant dans chacune des 2 bobines, l'électronique permet alors de subdiviser le pas et d'obtenir ainsi le mode micro-pas.

De façon générale, le mode micro-pas permet d'obtenir la courbe de couple suivante en fonction de la position angulaire du rotor :

- La résultante du couple est alors :

$$h = (a^2 + b^2)^{0.5}$$

$$x = (S / (\pi/2)) \arctan(b/a)$$

avec :

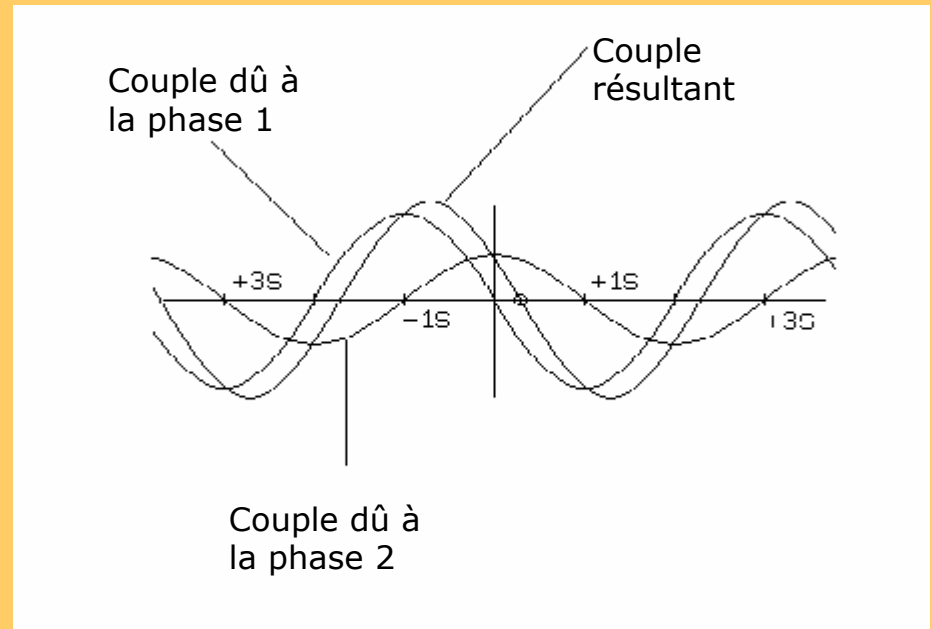
a – couple de maintien dû au courant dans la phase a.

b – couple de maintien dû au courant dans la phase b.

h – résultante du couple de maintien.

x – position de stabilité, en radians.

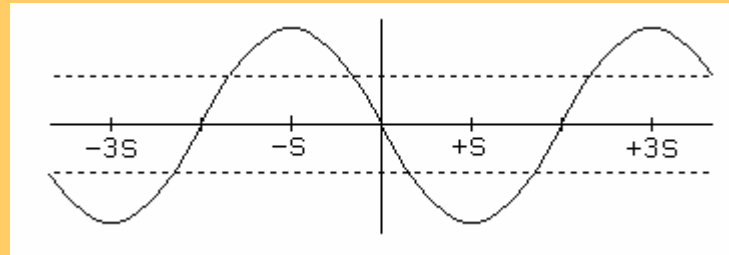
S – pas angulaire, en radians.



Les 3 courbes de couple en fonction de la position angulaire du rotor ne tiennent pas compte du couple que le moteur doit fournir pour vaincre la friction. On distingue en fait 2 types de couples de friction :

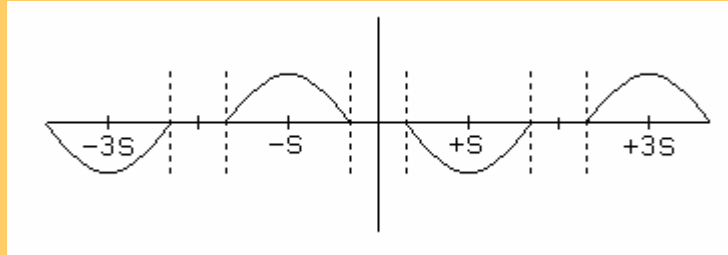
- la friction statique (indépendante de la vitesse),
- la friction dynamique (ou visqueuse) dont la valeur dépend de la vitesse de rotation du moteur.

Supposons (cas extrême pour l'exemple) que le couple nécessaire pour vaincre la friction soit égal à la moitié du couple crête du moteur.



Seule la partie du couple au-delà des pointillés est alors disponible pour réellement faire bouger le rotor.

La courbe de couple disponible est donc :



On voit donc qu'il existe une zone dite zone morte autour de la position d'équilibre.

Si le rotor moteur est positionné dans cette zone morte, le couple de friction sera alors supérieur au couple induit par le courant dans le bobinage moteur, et le rotor ne tournera pas.

La valeur théorique de la zone morte est donnée par :

$$d = 2(S/(\pi/2))\arcsin(f/h) = (S/(\pi/4))\arcsin(f/h)$$

avec :

d – largeur de la zone morte, en radians

S -- pas angulaire, en radians

f – couple nécessaire pour vaincre la friction statique

h – couple de maintien

La zone morte limite donc la précision.

Pour 1 moteur pas à pas de 1,8 degré par pas, dans le cas où le couple de friction vaut la moitié du couple de maintien du moteur, la largeur de la zone morte vaudra : $d = (1.8/45) \arcsin(0.5) = 1.2$ degré

Cela voudrait dire que les pas pourraient être au maximum de $(1.8 + 1.2 =) 3$ degrés et au minimum de $(1.8 - 1.2 =) 0.6$ degrés suivant la position du rotor dans la zone morte !!!

De plus, c'est cette notion de zone morte qui a une influence sur le comportement en mode micro-pas.

Soit x la largeur de la zone morte : 1 micro-pas avec un pas inférieur à x ne fera absolument pas bouger le moteur.

Le couple généré par 1 micro-pas vaut : $h \sin(90/SDR)$ avec :

- h = couple de maintien du moteur
- SDR = Step Divisor Rate (nbre de micro-pas par pas)

Ex : 2000 pas /tr donne un SDR de 10

En 50000 pas/tr, le SDR vaut 250.

Pour un moteur ayant un couple de maintien de 1.25 Nm accouplé à une vis à billes de couple à vide de 0.25 Nm, chaque micro-pas produirait 0.0078 Nm

Il faudrait donc au maximum : $0.25/0.0078 = 32$ micro-pas avant que le rotor moteur ne bouge réellement si ce dernier est dans la zone morte.

En conclusion, si le micro-pas offre des avantages tels que :

- le positionnement du rotor entre 2 demi-pas,
- un fonctionnement moins saccadé à basse vitesse,
- moins de bruit à des vitesses moyennes,
- une réduction des problèmes de résonance

Il permet néanmoins rarement d'améliorer la précision du positionnement.

7ème Rencontre nationale des mécaniciens du CNRS

*La société ROSIER vous remercie de
votre attention*

