

C35 - Moteur pas à pas (MPàP)

• **MPàP = commande d'axe en boucle ouverte**

Nombre de pas / tour	Angle de pas	Fréquence	Vitesse angulaire
N_p	$\theta = \frac{360}{N_p} (^{\circ})$	$f = \text{nb pas / seconde}$	$n = \frac{f}{N_p} \text{ trs/s}$

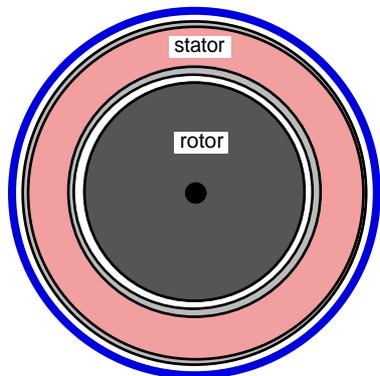
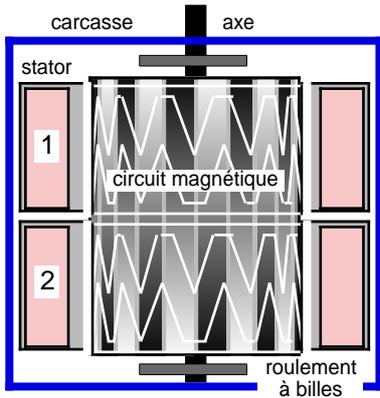
nombre d'enroulements	type de rotor	mode de fonctionnement
2 phases (alimentation bipolaire)	à aimant permanent	par pas
4 phases (alimentation unipolaire)	à réluctance variable hybride	par demi-pas

• **Constitution**

- MPàP à rotor lisse aimanté

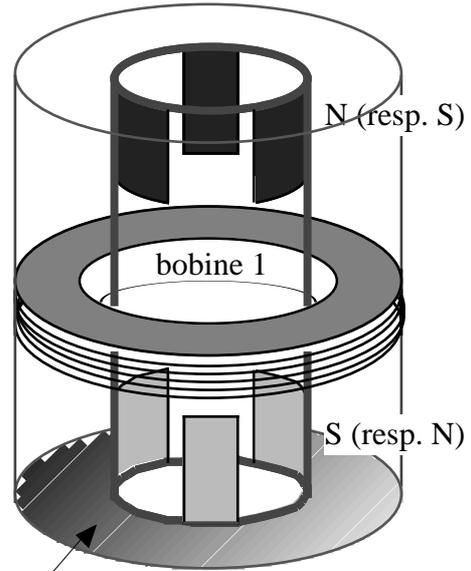
Nombre de pas : $N_p = 4p$
 où : p nb paires de pôles rotor

Valeurs courantes : 24, 48 pas
 (au-delà, rotor très difficile à fabriquer).

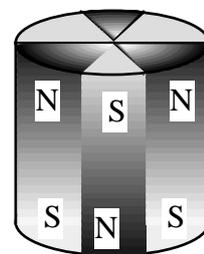


exemple moteur PaP :

- 12 pas
- aimant permanent,
- 2 phases
- 3 paires de pôles

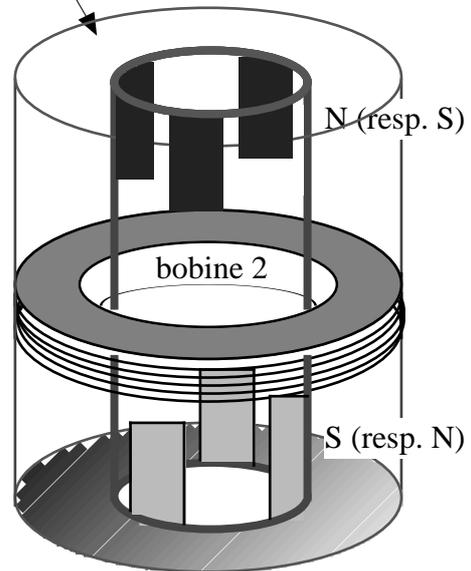


circuits magnétiques en peignes décalés d'un pôle



rotor en matériau magnétique aimanté multipolaire

$N_p = 4 \times 3 = 12 \text{ pas}$
 $\theta = 360 / 12 = 30^{\circ}$



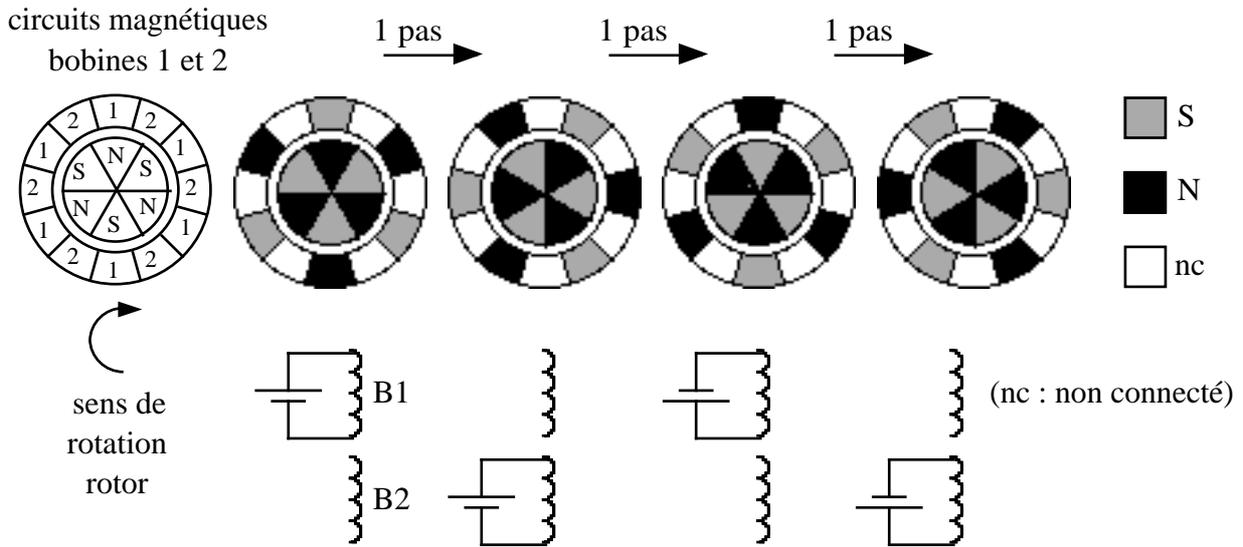
Fonctionnement (*moteur bipolaire en mode "1 phase à la fois"*) :

1er pas : les pôles N du rotor sont placés devant les dents aimantées S du circuit magnétique de la bobine 1 alimentée sous une tension E (la bobine 2 est déconnectée)

2ème pas : les pôles N du rotor viennent se placer devant les dents aimantées S du circuit magnétique de la bobine 2 (la bobine 1 est déconnectée)

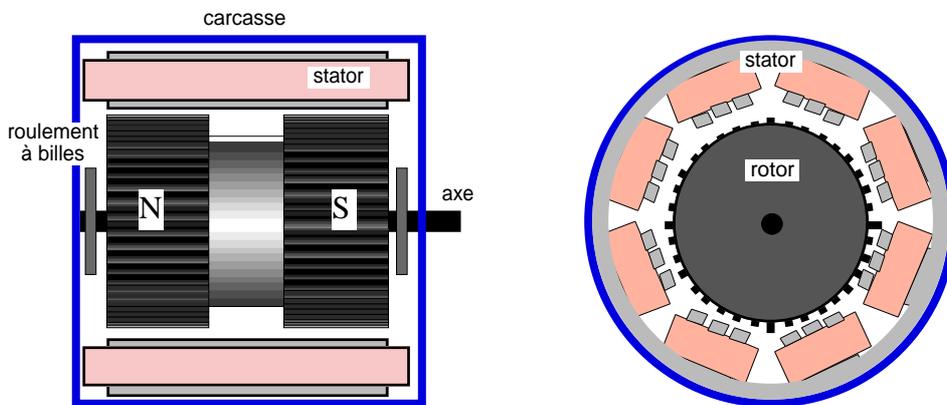
3ème pas : les pôles N du rotor se placent devant les dents aimantées S du circuit magnétique de la bobine 1 alimentée sous une tension $-E$ (lors du 1er pas, ces dents étaient orientées N)

etc... *vue en coupe :*



- MPaP à rotor avec denture, aimanté (*moteur hybride*) ou non (*moteur à réluctance variable*)

Exemple : moteur hybride



Nombre de pas :

- MPaP hybride : $N_p = 4N_d$

où : N_d nb de dents sur un demi-rotor

- MPaP à réluctance variable : $N_p = \frac{2\hat{p}N_d}{|2\hat{p} - N_d|}$

où : N_d nb de dents au rotor

\hat{p} nb de paires de pôles statoriques

Valeurs courantes : 100, 200, 400 pas

MPaP le + utilisé

Valeurs courantes : 12 à 100 pas

Peu utilisé dans l'industrie

Fonctionnement : le rotor se place de façon à rendre la réluctance (cf §C31) du circuit magnétique minimale, c-à-d à rendre maximal le flux qui y circule.

• **Caractéristiques**

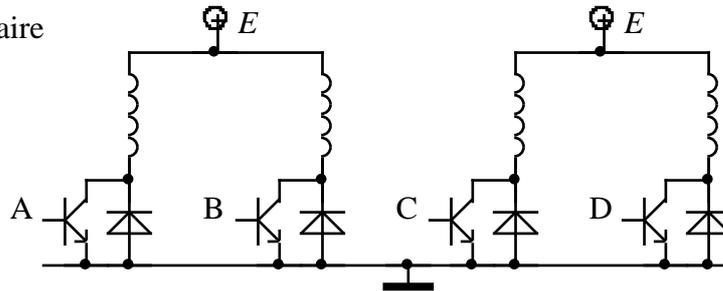
MPàP	à aimant permanent	à réluctance variable	hybride
coût	économique	élevé	élevé
résolution	moyenne	bonne	gd nb de pas/tour
couple	élevé	faible	élevé
puissance	qq 10 W	qq W	jusqu'à 2 kW
inconvenient	nb pas assez faible	la position n'est pas conservée si on coupe l'alimentation	

⚠ Commande d'axe de puissance supérieure → asservissement de position à MCC (cf §C32) !

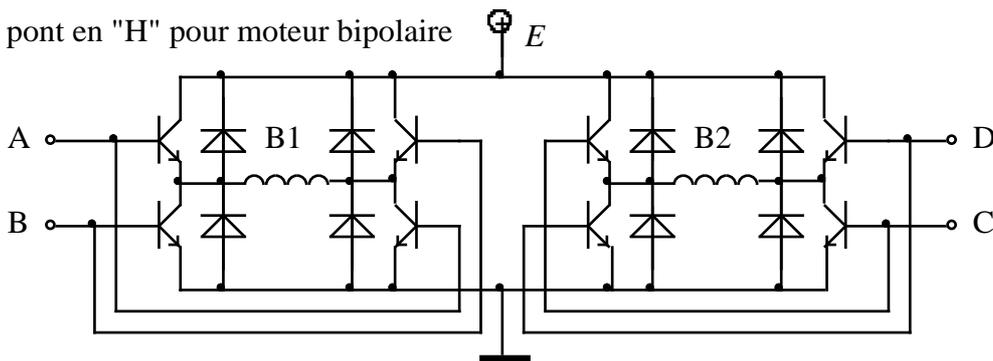
• **Modèle électrique**

- Schéma et circuit de commande :

Moteur unipolaire



Double pont en "H" pour moteur bipolaire



- Tableaux de commande pour moteur bipolaire ("1" = ON ; "0" = OFF)

1 phase à la fois

	1	2	3	4
A	1	0	0	0
B	0	0	1	0
C	0	1	0	0
D	0	0	0	1

2 phases à la fois

	1	2	3	4
A	1	0	0	1
B	0	1	1	0
C	1	1	0	0
D	0	0	1	1

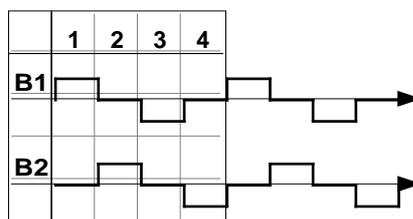
mode "demi-pas"

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	1	0	0	0	0	0	1
B	0	0	0	1	1	1	0	0
C	0	1	1	1	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	1	1	1

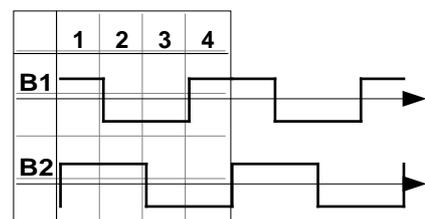
→ axe du temps

Les ordres de commande sont générés par un système numérique. Après le 4ème pas (resp. 8ème pas), on recommence la lecture du tableau à la 1ère colonne.

⇒ Tensions de commande : 1 phase à la fois



2 phases à la fois



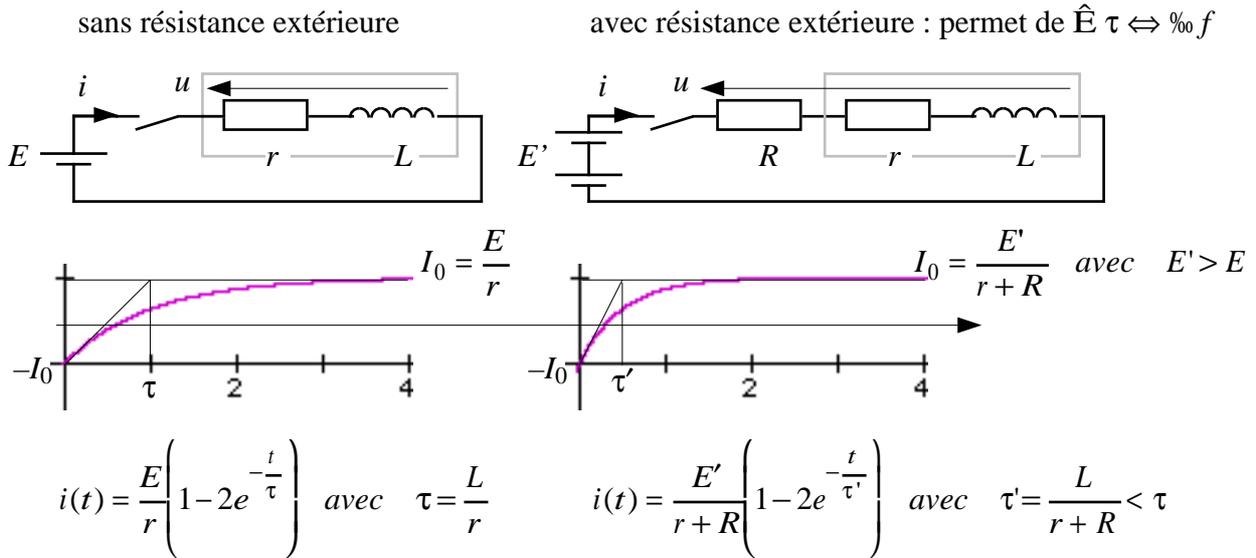
Pour inverser le sens de rotation, il suffit de changer le sens de lecture des tableaux.

- Etablissement du courant

Par son principe de fonctionnement, un MPàP ne connaît que des régimes transitoires, qui sont ceux d'un circuit RL (un enroulement) soumis à des échelon de tensions.

Pour diminuer la constante de temps L/r , on peut ajouter une résistance externe en série. Dans ce cas, il faut augmenter la tension d'alimentation pour obtenir le même courant.

Exemple : on se place dans le cas d'un MPàP relié à une alimentation bipolaire par un pont en H et fonctionnant en mode "2 phases à la fois". L'impulsion de tension délivrée vaut $\pm E$. On suppose que le circuit se charge (resp se décharge) complètement pendant la durée de cette impulsion. La condition initiale est : $I(0) = -E/r$.



• Conversion électromécanique

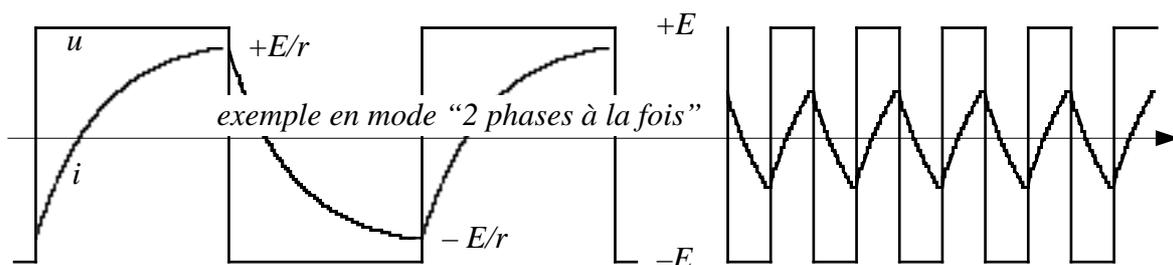
- A l'arrêt : les bobines étant alimentées, le couple est maximal. Sa valeur C_{max} est appelée *couple de maintien*. Le courant vaut : $I_0 = E/r$.

NB : le couple est $\sqrt{2}$ fois plus grand en mode "2 phases à la fois" qu'en mode "une seule phase alimentée à la fois".

⚠ Ne pas confondre avec le *couple de détente*, qui est le couple mesuré à l'arrêt quand les bobines ne sont pas alimentées (non nul seulement si MPàP à aimant permanent).

⚠ A l'arrêt, le courant est maximal. Traversant la résistance r d'un enroulement, il entraîne des pertes Joule ($P_j = rI_0^2$ par enroulement) : contrairement aux autres types de moteur, c'est à l'arrêt que ce moteur chauffe le plus !

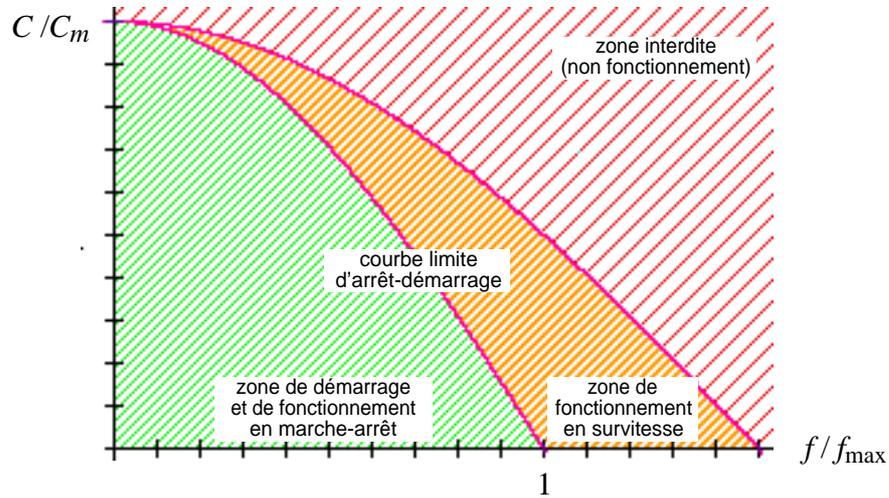
- En marche : à haute fréquence le circuit RL n'a plus le temps de se charger et de se décharger complètement. Donc quand la fréquence f augmente, la valeur efficace du courant diminue, ainsi que le couple :



Le couple finit par s'annuler au-delà d'une fréquence maximale de fonctionnement.

• **Fonctionnement statique**

L'allure de la caractéristique de couple (donnée en fonction de f) se déduit des considérations qui précèdent. Elle a grossièrement la forme d'une cosinusoïde $C = C_m \cos \frac{\pi f}{2f_{\max}}$, où f_{\max} est la fréquence maximale de démarrage à vide.



⚠ Ces courbes ne sont que théoriques, car les caractéristiques couple-vitesse dépendent étroitement du système de commande utilisé et de l'inertie de la charge, et non pas du moteur seul.

• **Fonctionnement dynamique**

