

### C35 - Moteur pas à pas (MPàP)

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

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

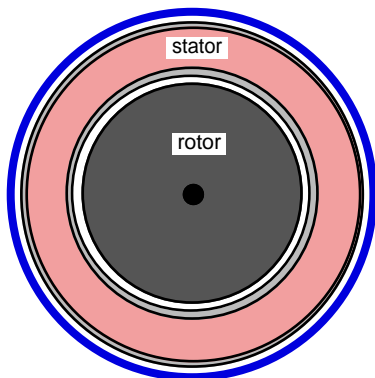
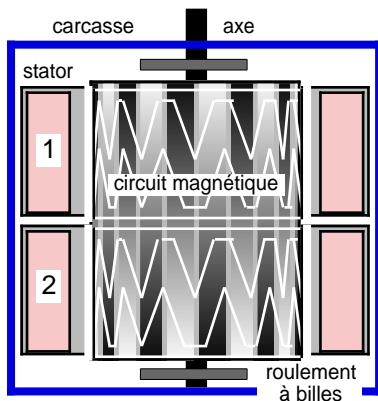
nombre d'enroulements	types de rotor	modes de fonctionnement
2 phases (alimentation bipolaire)	à aimant permanent	par pas
4 phases (alimentation unipolaire)	à réluctance variable hybride	par demi-pas

• **Constitution**

- MPàP à rotor lisse aimanté

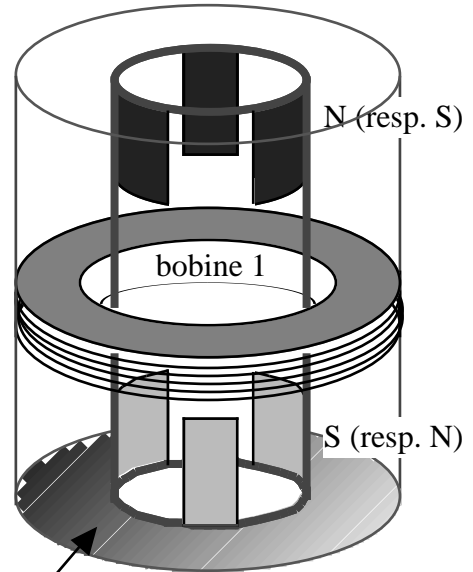
Nombre de pas :  $N_p = 4p$   
 où :  $p$  nb paires de pôles rotor

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

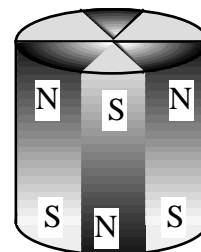


exemple moteur PaP :

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

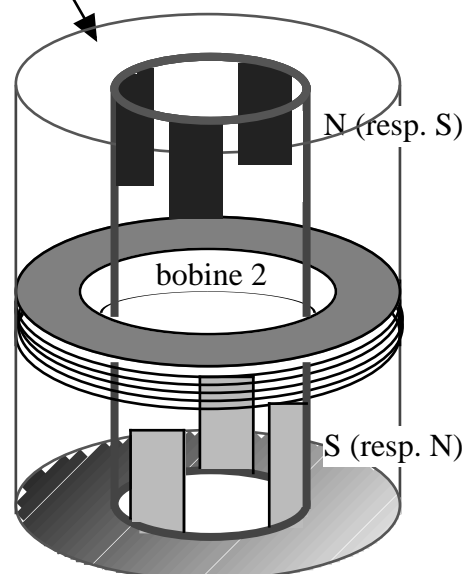


circuits magnétiques en peignes décalés d'un pôle



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"*) :

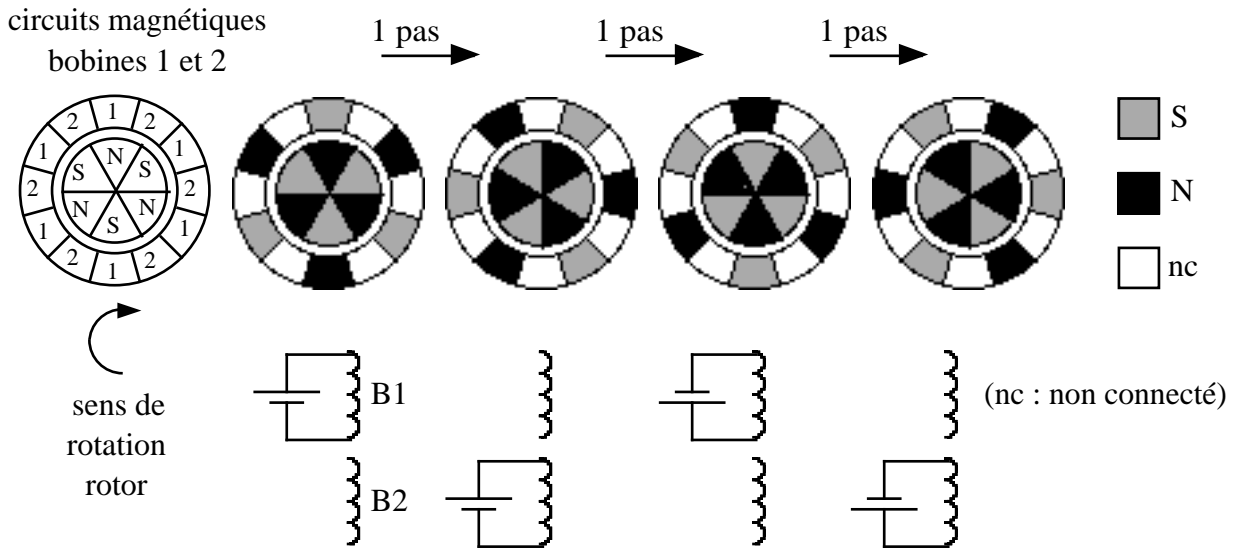
1er pas : les pôles N du rotor sont placés devant les dents aimantées S du circuit magnétique de la bobine 1 alimentée sous une tension  $E$  (la bobine 2 est déconnectée)

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)

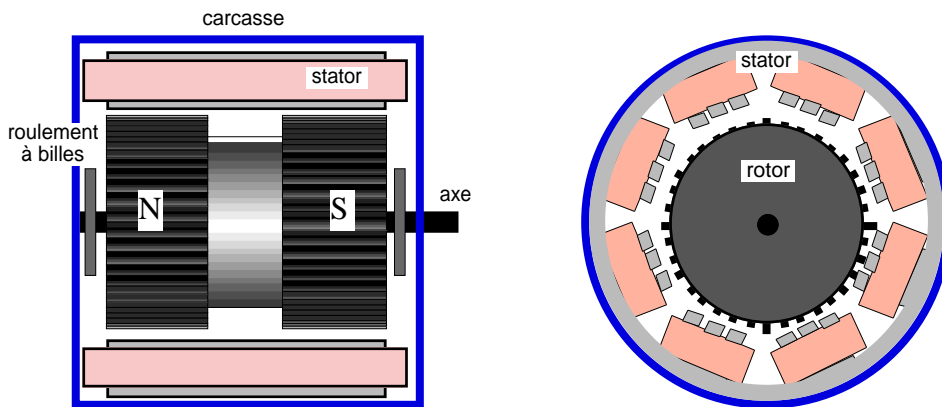
etc...

*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 :  $N_p = \frac{2pN_d}{|2p - N_d|}$

où :  $N_d$  nb de dents au rotor

$p$  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**

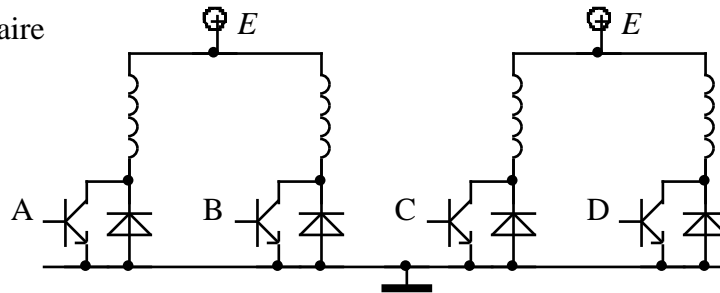
MPàP	à aimant permanent	à réluctance variable	hybride
<b>coût</b>	économique	élevé	élevé
<b>résolution</b>	moyenne	bonne	gd nb de pas/tour
<b>couple</b>	élevé	faible	élevé
<b>puissance</b>	qq 10 W	qq W	jusqu'à 2 kW
<b>inconvenient</b>	nb pas assez faible	la position n'est pas conservée si on coupe l'alimentation	

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

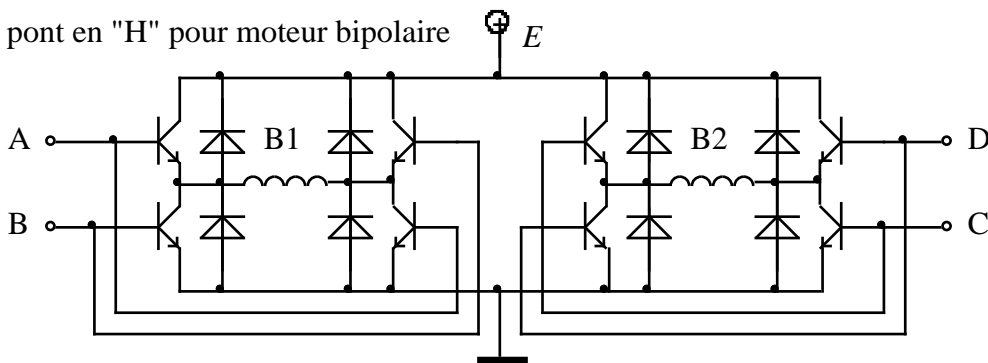
• **Modèle électrique**

- 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

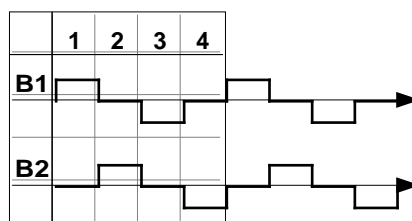
mode "demi-pas"

	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

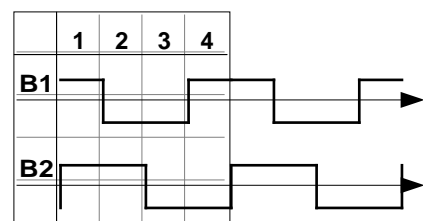
→ axe du temps

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

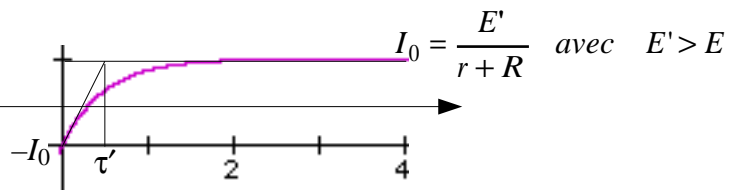
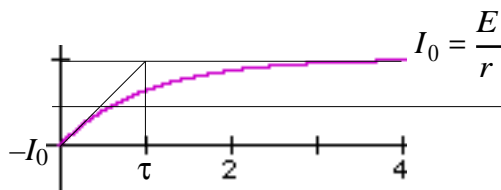
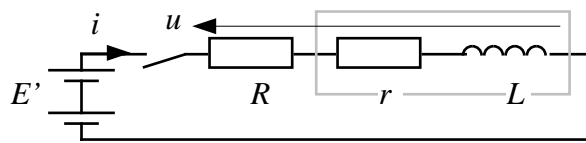
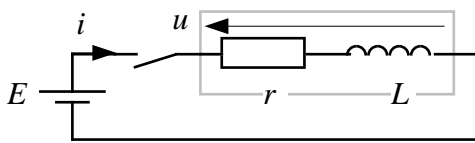
Par son principe de fonctionnement, un MPàP ne connaît que des régimes transitoires, qui sont ceux d'un circuit RL (un enroulement) soumis à des échelon de tensions.

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 :  $I(0) = -E/r$ .

sans résistance extérieure

avec résistance extérieure : permet de  $\Delta \tau \Leftrightarrow \nabla f$



$$i(t) = \frac{E}{r} \left( 1 - 2e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \text{ avec } \tau = \frac{L}{r}$$

$$i(t) = \frac{E'}{r+R} \left( 1 - 2e^{-\frac{t}{\tau'}} \right) \text{ avec } \tau' = \frac{L}{r+R} < \tau$$

• Conversion électromécanique

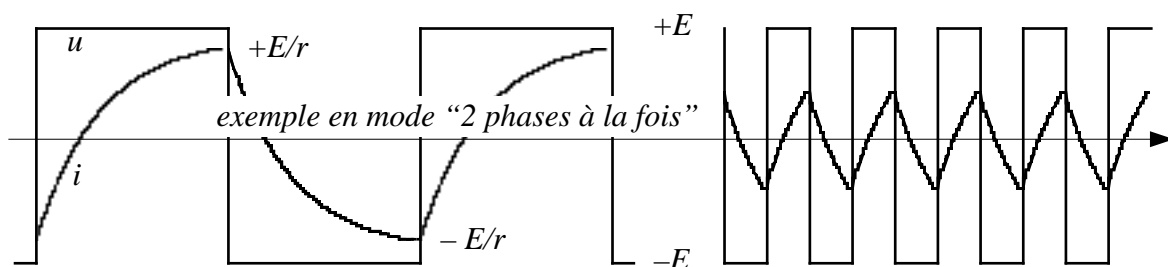
- A l'arrêt : les bobines étant alimentées, le couple est maximal. Sa valeur  $C_{\max}$  est appelée *couple de maintien*. Le courant vaut :  $I_0 = E/r$ .

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 !

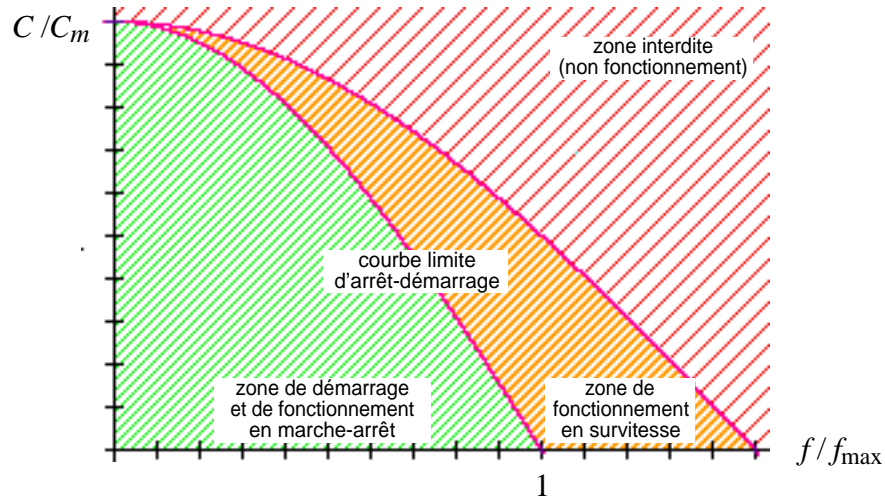
- En marche : à haute fréquence le circuit RL n'a plus le temps de se charger et de se décharger complètement. Donc quand la fréquence  $f$  augmente, la valeur efficace du courant diminue, ainsi que le couple :



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**

