

## Les moteurs pas à pas

### Généralités

Un moteur pas à pas est une machine tournante dont le rotor se déplace d'un angle élémentaire,  $\alpha_p$  appelé **pas**, lors de chaque commutation du circuit de commande.

La commande de moteur peut se faire en **boucle ouverte** car la position du rotor est connue à tous moments.

On peut définir la **résolution** ou le **nombre de pas par tour**  $N_p$  :

$$\text{Résolution} \rightarrow \boxed{N_p = \frac{360}{\alpha_p}} \leftarrow \text{Pas en degré}$$

Les moteurs pas à pas comprennent un stator portant des bobines commutées en courant par une électronique de commande. Par contre, il existe trois technologies pour le rotor ce qui donne trois familles de moteur :

- moteur à aimant permanent;
- moteur à réluctance variable;
- moteur hybride.

L'alimentation des bobines peut se faire soit avec une tension unique soit avec deux tensions symétriques :

- moteur unipolaire (bobines à point milieu, une seule tension);
- moteur bipolaire (pas de point milieu donc deux tensions symétriques).

### ② Le moteur pas à pas à aimant permanent

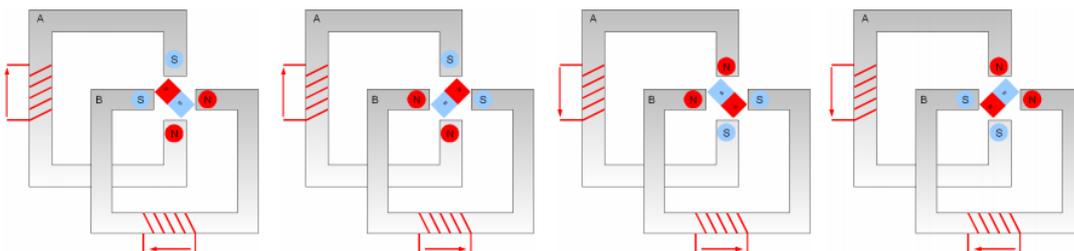
Le rotor est à aimant permanent (ferrite à champ coercitif élevé) et s'aligne sur le champ magnétique créé par les bobines du stator.

#### ■ Fonctionnement en pas complets

Une seule phase est alimentée à chaque pas (schéma ci-dessous) :

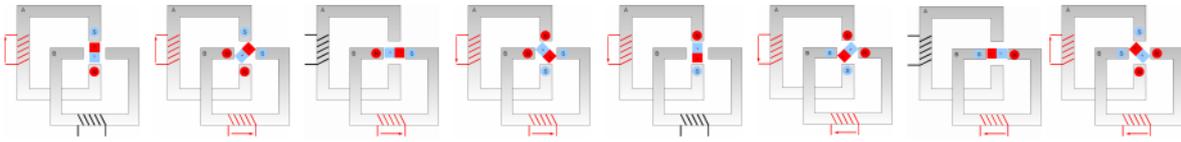
#### ■ Fonctionnement en pas complets avec couple maximal

Les deux phases sont alimentées à chaque pas, le couple est plus important (champ magnétique multiplié par  $\sqrt{2}$ )



■ Fonctionnement en demi-pas

C'est un mélange de pas entiers et de demi-pas, la résolution est doublée mais le couple n'est pas uniforme.



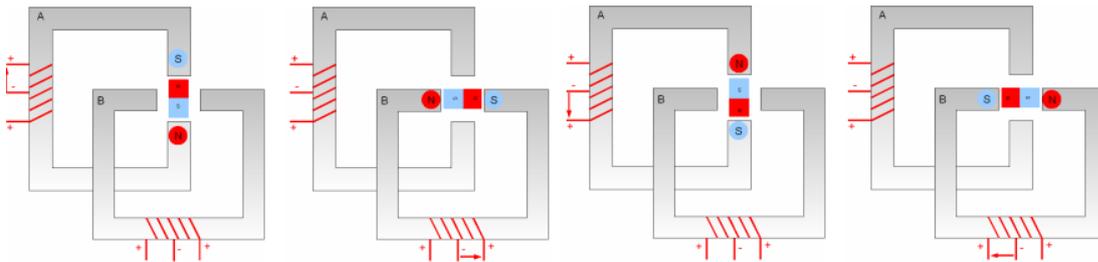
■ Alimentation unipolaire

Dans les exemples précédents, on a vu que l'on doit alimenter les enroulements dans les deux sens de courants, il existe des versions avec des demi-bobines (avec un point milieu).

L'avantage est que l'on n'inverse jamais le sens du courant, donc la commande est plus simple.

L'inconvénient est que l'on "double" le nombre d'enroulement, donc le moteur est plus coûteux et encombrant, néanmoins il reste très courant pour les petites puissances.

Le schéma ci-dessous illustre le fonctionnement "unipolaire et pas entiers":



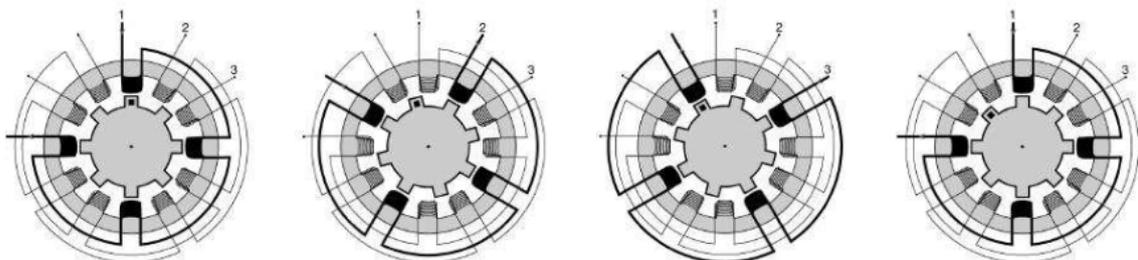
③ Le moteur pas à pas à réluctance variable

Le rotor ne comporte pas d'aimant, mais un noyau en fer doux et denté qui possède la propriété de canaliser les lignes de champ.

La propriété physique utilisée est la force d'attraction entre un aimant et un métal ferreux.

■ Etude d'un exemple

Prenons l'exemple d'un moteur constitué de 12 pôles au stator ( $n_s = 12$  plots) et  $n_r = 8$  dents au rotor (schéma ci-dessous):



Les 3 phases du moteur sont alimentées cycliquement, ce qui provoque la rotation (la dent la plus proche se positionne face à la bobine alimentée).  
La résolution est  $n_p = 24$  pas/tr (angle de pas de  $15^\circ$ ).

■ Cas général

A chaque commutation, l'angle de rotation est  $\alpha_p = \frac{360}{n_s} - \frac{360}{n_r} = 360 \frac{n_r - n_s}{n_r \cdot n_s}$

La relation donnant la résolution  $n_p$  en fonction de  $n_s$  et  $n_r$  est :  $n_p = \frac{360}{\alpha_p} = \frac{n_s \cdot n_r}{n_s - n_r}$ .

■ Propriétés

Le moteur à réluctance variable possède un nombre de pas élevé et sa construction est simplifiée (pas d'aimant au rotor).

Il comporte deux défauts : un couple de travail faible et un couple nul lorsqu'il n'est plus alimenté.

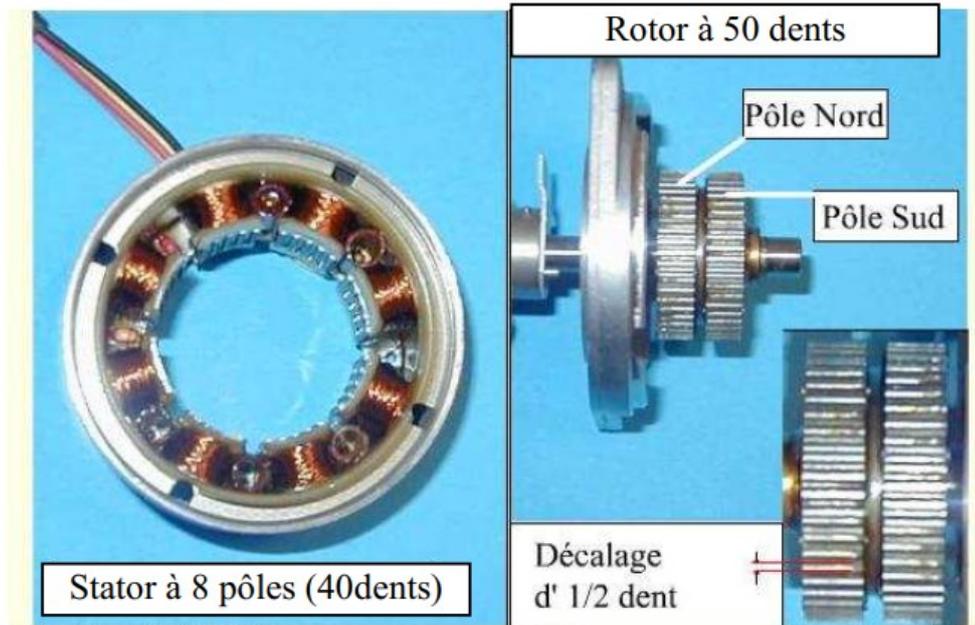
④ Le moteur pas à pas à hybride

Le moteur hybride est une combinaison des deux types de moteurs précédents.

Le rotor est constitué d'aimants dentés ce qui donne un fort couple et un nombre de pas par tour élevé.

■ Etude d'un exemple

Prenons l'exemple d'un moteur constitué de 8 pôles au stator ( $n_s = 48$  dents) et  $n_r = 50$  dents au rotor (photo ci-dessous):



Le nombre de pas par tour est :  $n_p = \frac{40 \times 50}{50 - 40} = 200$  pas/tour.

⑤ Comparaison des trois types de moteur

Type de moteur	Aimant permanent	Réductance variable	Hybride
Coût	Faible	Elevé	Elevé
Résolution	Moyenne (48 maximum)	Bonne (de 200 à 400)	Elevée (200, 400 et plus)
Couple et Puissance	Elevé	Faible	Elevé
Puissance	≈10W	≈1W	jusqu'à 2kW
Défauts	Nombre de pas faible	Pas de couple de blocage à l'arrêt	Coût élevé

⑥ Comportement mécanique des moteurs pas à pas

■ Caractéristiques statiques

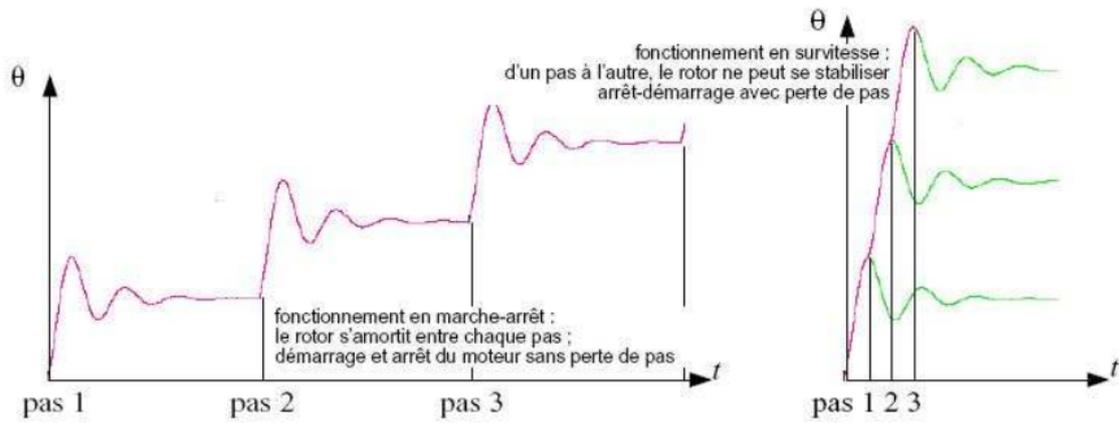
Couple de maintien : couple minimum à appliquer au **moteur alimenté** pour occasionner sa rotation.

Couple de détente : même définition mais avec le **moteur non alimenté** (nul pour le moteur à réductance variable).

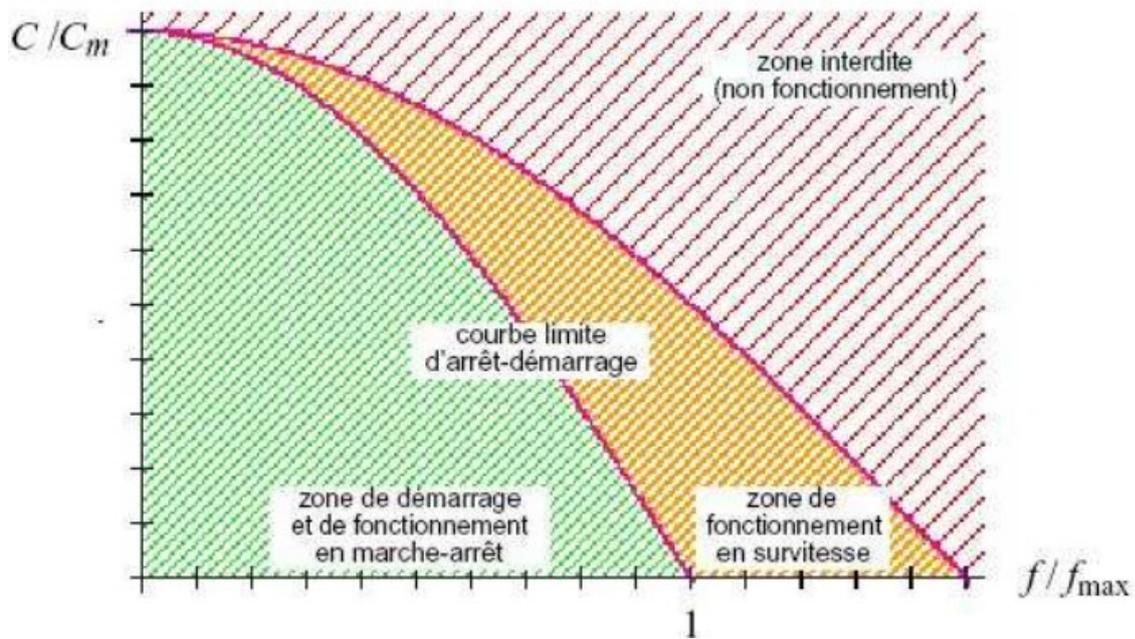
■ Caractéristiques dynamiques

A chaque commutation, le moteur se comporte comme un système du 2° ordre (oscillations amorties de l'angle  $\theta$  de rotation).

Il existe une fréquence limite de commande du moteur (schéma ci-dessous) :



Le schéma ci-dessous montre les différents modes de fonctionnement avec  $C$  couple résistant et  $f$  fréquence d'alimentation ( $C_m$  couple maximum et  $f_{max}$  fréquence maximale):



## Propriétés importantes à retenir

- La **résolution** ou le **nombre de pas par tour**  $N_p$  est donné par:

$$\text{Résolution} \rightarrow \boxed{N_p = \frac{360}{\alpha_p}} \leftarrow \text{Pas en degré}$$

- Les trois familles principales sont:
  - moteur à aimant permanent (fort couple mais faible résolution);
  - moteur à réluctance variable (couple faible mais bonne résolution);
  - moteur hybride (fort couple et bonne résolution).
- L'alimentation des moteurs se fait de deux façons:
  - moteur unipolaire (bobines à point milieu, une seule tension);
  - moteur bipolaire (pas de point milieu donc deux tensions symétriques).