

Moteurs pas-à-pas (synthèse)



Table des matières

1) Les moteurs pas-à-pas - généralités.....	1
1.1) Utilisation (avantages et inconvénients)	1
1.2) Principe de fonctionnement et commande	1
1.3) Sauts de pas, et remise à zéro	2
1.4) Modes demi-pas et micro-pas (microstep)	2
1.5) Nombres de pas (par tour), et pas angulaire	2
2) Les différents types de moteurs pas-à-pas.....	3
2.1) Moteur pas à pas bipolaire à aimants permanents	3
2.2) Moteur pas à pas unipolaire à aimants permanents	3
2.3) Moteur pas à pas (unipolaire) à réluctance variable	4
2.4) Moteur pas à pas hybride.....	4

1) Les moteurs pas-à-pas - généralités

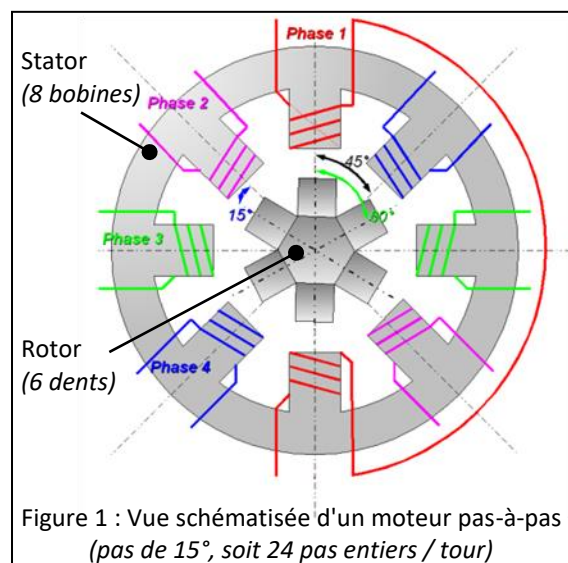
1.1) Utilisation (avantages et inconvénients)

Les moteurs pas à pas ne sont **pas très rapides (environ < 3 000 tr/min)** ni **puissants**. Ils ont en revanche une **durée de vie extrêmement longue**, sans nécessiter d'entretien. Ils permettent de commander des systèmes en **position**, de façon **précise, fiable** et **simple** (pas de capteurs de position ni de boucles d'asservissement à régler). On les trouve dans les imprimantes classiques et 3D, scanners, photocopieurs...

1.2) Principe de fonctionnement et commande

Le stator possède plusieurs bobines, et le rotor de nombreuses dents (ou créneaux), ce qui autorise un contrôle de la position du rotor par rapport au stator, en alimentant tour à tour les bobines du stator, le rotor s'alignant avec le champ magnétique créé.

Comme son nom l'indique, **il tourne étape par étape (pas à pas)** et non de manière continue. Cependant, en répétant les étapes de rotation rapidement et successivement, le moteur donnera l'impression de tourner sans s'arrêter entre chaque étape. Sa position est facilement commandable (sans boucle de retour) : il suffit de demander un nombre de pas désiré. Sa vitesse est aussi assez facilement commandable (sans boucle de retour), en gérant la durée entre deux commandes de pas. Cependant il faudra veiller à ne pas demander une accélération trop rapide car le couple serait alors trop important et le moteur ne tournera pas : une rampe de vitesse est conseillée au démarrage.



1.3) Sauts de pas, et remise à zéro

Si le couple nécessaire est trop important pour faire tourner le moteur (par exemple lors de fortes accélérations ou lorsque la charge à déplacer résiste), il peut arriver que le moteur "saute" un/des pas. Il faudra alors utiliser un système de remise à zéro avant chaque nouvelle tâche, grâce par exemple à un détecteur de position.

1.4) Modes demi-pas et micro-pas (microstep)

En mode **demi-pas**, entre chaque pas, les deux bobines sont alimentées, ce qui permet au rotor de se positionner entre les deux bobines (le couple est alors maximal), cf. figure 2.

En mode **micro-pas**, la course nominale est divisée en sections encore plus courtes que dans le mode demi-pas. Les positions individuelles du rotor sont obtenues par le flux magnétique résultant des bobines alimentées par l'onde échelonnée. Dans ce mode de fonctionnement la vitesse et le couple doivent être faibles. Les cartes de commande classiques des moteurs bipolaire permettent des $1/16^e$ voire des $1/32^e$ de pas, mais il est possible d'aller bien au-delà.

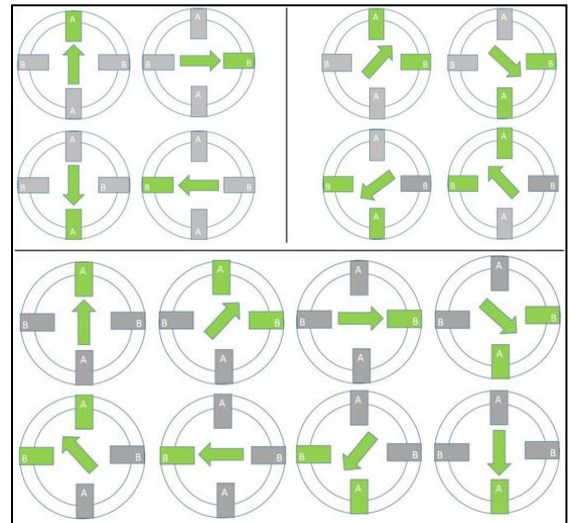


Figure 2 : Exemple de trois modes de commande d'un moteur pas-à-pas. En haut en mode pas entier (à gauche : classique ; à droite : à couple maximal), et en bas en mode demi-pas.

1.5) Nombres de pas (par tour), et pas angulaire

En fonction de la répartition des bobines tout autour du stator et du nombre de dents du rotor, différents pas/tr sont possibles.

Pour les déterminer, le plus simple est de calculer le **pas angulaire entier**, c'est-à-dire de quel angle tourne le rotor lorsqu'on passe de l'alimentation d'une phase (une bobine) à sa voisine.

Plusieurs exemples (non exhaustifs) sont donnés tout au long de cours.

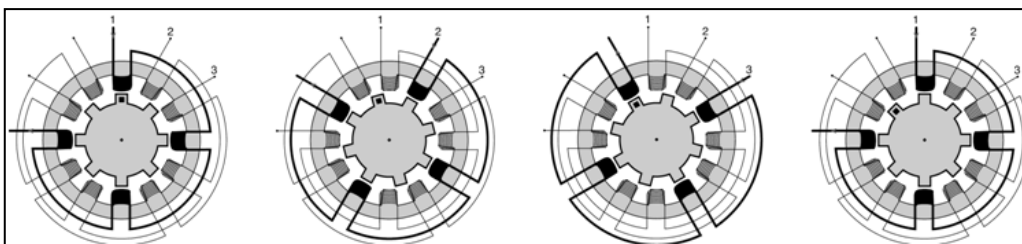


Figure 3 (principe des pas d'un moteur-à-pas) : stator à 3 phases divisées chacune en 4 bobines (donc 12 bobines) et rotor à 8 dents => pas de 15° => 24 pas entiers / tour

La **précision angulaire** d'un moteur pas-à-pas est son pas angulaire divisé par deux. Cela signifie que l'on est capable de positionner ce moteur à un angle quelconque, plus ou moins le pas angulaire / 2.

Le pas angulaire dépend à la fois de son nombre de pas entiers par tour (donc du nombre de bobines et de dents du rotor), et du type de commande (pas entier, demi-pas ou micropas).

2) Les différents types de moteurs pas-à-pas

On trouve trois types de moteurs pas à pas :

- le moteur à aimants permanents : bipolaire (4 fils), ou unipolaire (5 fils), ou unipolaire pouvant se commander en bipolaire (6 fils), ou universel = unipolaire 8 fils (4 bobines indépendantes) ;
- le moteur à réluctance variable (piloté comme un unipolaire, donc souvent 5 fils) ;
- le moteur hybride, qui est une combinaison des deux technologies précédentes (piloté comme un bipolaire, voire comme un unipolaire).

2.1) Moteur pas à pas bipolaire à aimants permanents

Le stator ne possède que **deux phases** puisque les bobines sont reliées deux à deux, et il n'y a donc que **4 fils** pour commander le moteur (A1, A2, B1 et B2). Leur placement de part et d'autre de l'aimant permanent du rotor permet de piloter ce dernier, en nécessitant toutefois une **inversion du sens de l'intensité** entre deux alimentations du même enroulement.

Ce changement de sens peut se faire par un pont en H (le même qui permet de piloter les moteurs à courant continu dans les deux sens), mais cela va s'avérer très compliqué de gérer l'intensité et les micropas, c'est pour cela qu'il existe des modules de commandes dédiés (A4988 ou DRV8825 par exemple), gérant directement les micropas grâce notamment à des transistors intégrés.

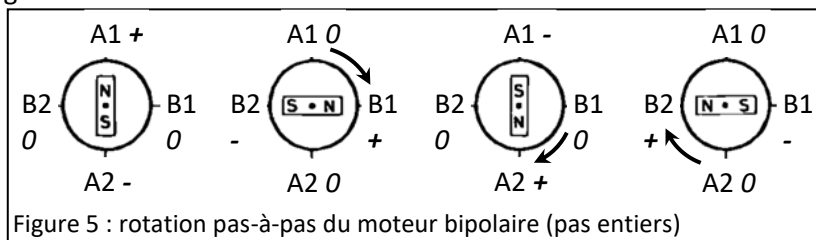


Figure 5 : rotation pas-à-pas du moteur bipolaire (pas entiers)

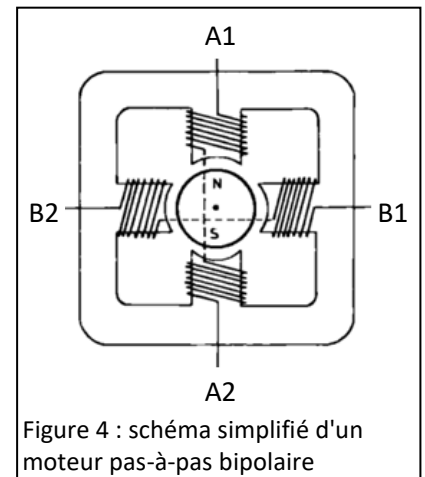


Figure 4 : schéma simplifié d'un moteur pas-à-pas bipolaire

2.2) Moteur pas à pas unipolaire à aimants permanents

Le moteur unipolaire n'a **pas besoin d'inversion d'intensité** dans les enroulements car chaque bobinage est commandé séparément et ne requiert qu'une alimentation présente ou absente. La commande sera donc plus simple à mettre en place qu'avec le moteur bipolaire. Cependant, le nombre de phases, donc de bobines étant plus important, le prix s'en ressent.

Il y a quatre fils A, B, C et D ainsi qu'un fil de masse commun, soit **5 fils au minimum**. Les unipolaires à 6 fils ont leur fil de masse des enroulements A et B commun, mais non relié à celui des bobines C et D, ce qui permet de le commander comme un bipolaire.

Pour le faire tourner dans le sens horaire, on alimente alternativement les bobines A, C, B, puis D. Il suffit d'avoir quatre transistors (un par enroulement) mais il est nettement préférable de passer via un module (par exemple ULN2003) pour gérer les intensités et parfois les micro-pas.

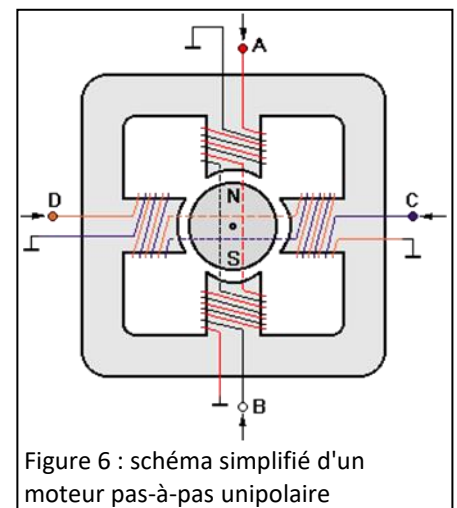


Figure 6 : schéma simplifié d'un moteur pas-à-pas unipolaire

2.3) Moteur pàp (unipolaire) à réluctance variable

Ce moteur ne possède pas d'aimants permanents. En son centre on trouve un morceau de **fer doux (rotor)** qui conduit très bien les champs magnétiques. Du coup, si un champ magnétique le traverse, il voudra s'aligner dans son sens.

Il possède généralement 4 phases (formant 4 paires de bobines, ou plus) et le morceau de fer doux au milieu à une forme d'étoile à 6 branches (ou beaucoup plus).

En alimentant respectivement les bobines A, C, B puis D..., le rotor tournera dans le sens horaire. Peu importe les pôles Nord ou Sud des enroulements, puisque le rotor est en fer doux, il s'alignera. On alimente donc toujours les enroulements dans le même sens (comme un unipolaire).

Il est **moins cher** que les autres car sans aimants permanents, mais ne possède **pas de couple résiduel**, c'est-à-dire que hors tension, le rotor est libre, ce qui peut être problématique.

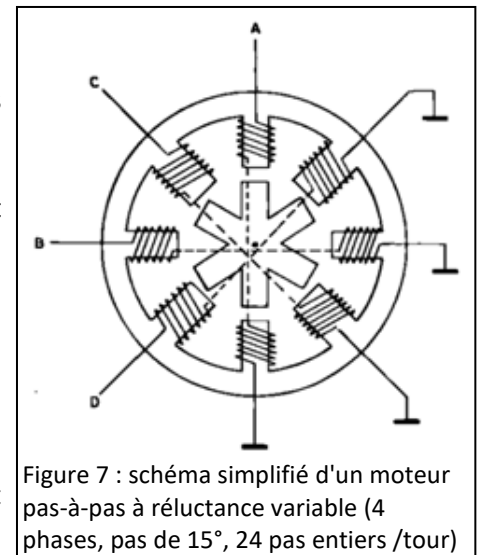


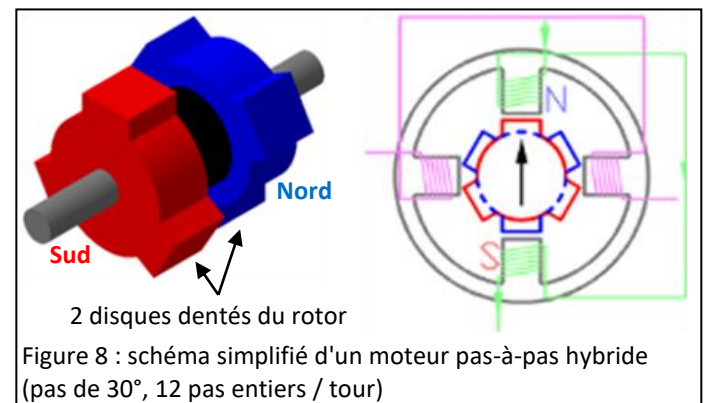
Figure 7 : schéma simplifié d'un moteur pas-à-pas à réluctance variable (4 phases, pas de 15°, 24 pas entiers /tour)

2.4) Moteur pas à pas hybride

Le rotor du moteur hybride est constitué de deux disques dentés décalés angulairement et d'un **aimant permanent axial** (contrairement aux bipolaires ou unipolaires, aimantés radialement).

L'avantage est un **nombre de pas très élevé**, ainsi qu'un **couple assez important** et un couple résiduel. C'est le plus utilisé industriellement.

Il se pilote de la même façon qu'un bipolaire ou qu'un unipolaire, selon le câblage.



2 disques dentés du rotor

Figure 8 : schéma simplifié d'un moteur pas-à-pas hybride (pas de 30°, 12 pas entiers / tour)

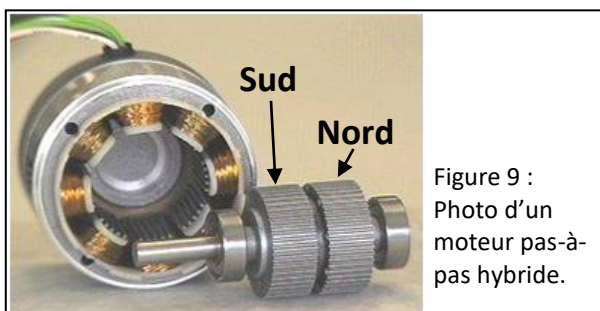
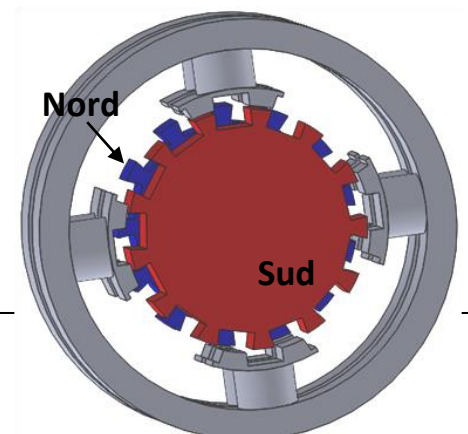


Figure 9 : Photo d'un moteur pas-à-pas hybride.



Il faut 4 pas pour qu'une dent se décale jusqu'à la suivante (donc pour faire $1/13^e$ tr). Ce qui correspond à 52 pas entiers /tr (4×13), donc un pas de $360^\circ / 52 \sim 6,92^\circ$.

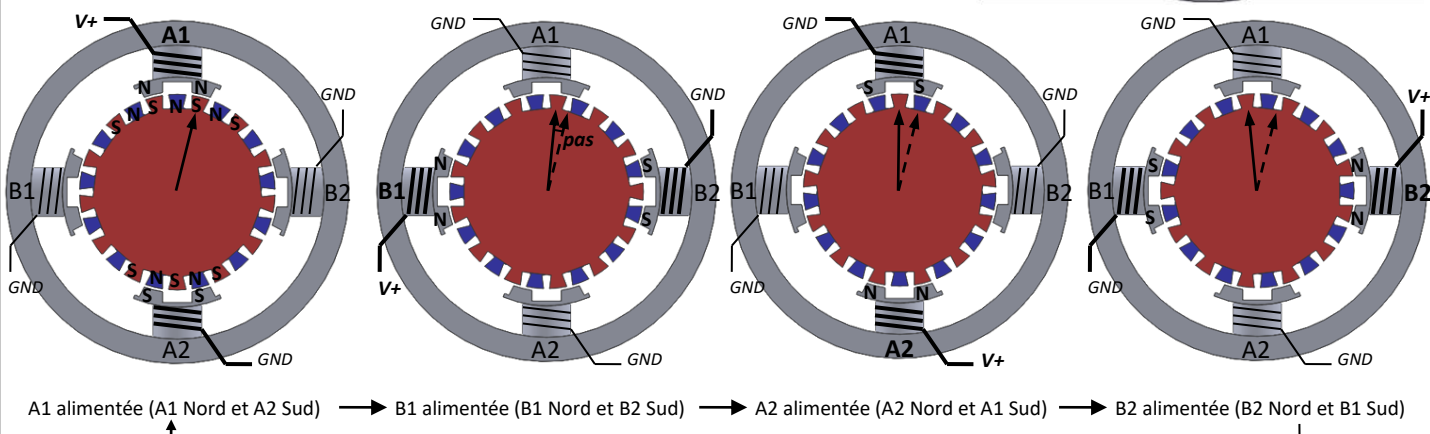


Figure 10 : Principe de fonctionnement d'un moteur pas-à-pas hybride piloté en Bipolaire 4 fils, stator à 2 phases ($x2 = 4$ bobines par pôle du rotor) et double rotor à 13 dents.