



# Chapitre 2 - Cours

## Contrôle des systèmes

Les moteurs pas à pas sont utilisés pour contrôler des positionnements angulaires et linéaires précis. On les retrouve par exemple dans les imprimantes, imprimantes 3D, scanners, disques durs ...). Ces moteurs exploitent les propriétés des champs magnétiques pour fonctionner.

### 1. Le champ magnétique

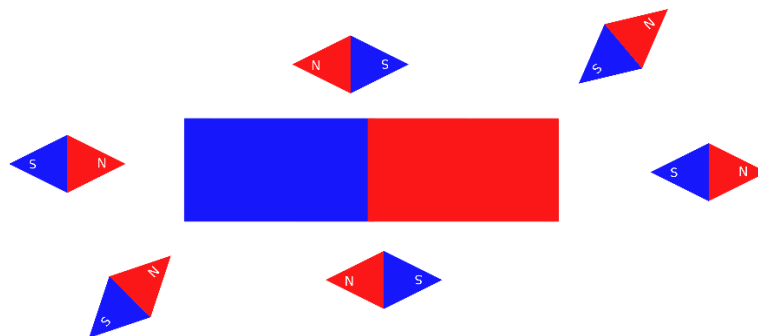
Certains corps produisent naturellement des champs magnétiques. C'est le cas des aimants. En effet certaines pierres ont la propriété d'attirer le fer. Si on les plonge dans de la limaille de fer, cette dernière y reste fixée en certains endroits. Ces pierres constituent les aimants naturels.

Il est possible de créer artificiellement des aimants en communiquant, par un traitement spécial, cette propriété à de l'acier. Si on plonge un aimant artificiel dans de la limaille de fer, on constate que celle-ci adhère essentiellement aux extrémités. Ces extrémités, où l'attraction est plus forte, sont les pôles de l'aimant.

Le magnétisme est un phénomène fondamental dans le fonctionnement des moteurs électriques. Dans ce cours, après avoir présenté les propriétés du champ magnétique, le principe de fonctionnement des moteurs pas à pas sera étudié. Il existe d'autres moyens de créer des champs magnétiques en faisant circuler un courant électrique dans un fil.

#### 1.1. Propriétés du champ magnétique

Un champ magnétique est mis en évidence à l'aide d'une boussole. L'aiguille aimantée de la boussole est caractérisée par ses deux pôles.



*Champ magnétique créé par un aimant droit*

Lorsque l'on déplace une boussole autour d'un aimant droit, l'aiguille aimantée change de direction.

Aux deux extrémités de l'aimant, l'aiguille aimantée présente des pôles différents. Autrement dit, tout corps magnétique présente des pôles magnétiques différents Nord et Sud.

Le champ magnétique est caractérisé par :

- Une **direction**, c'est celle de l'aiguille aimantée
- Un **sens**, du pôle Sud au pôle Nord,
- Une **intensité** dont l'unité est en Tesla.



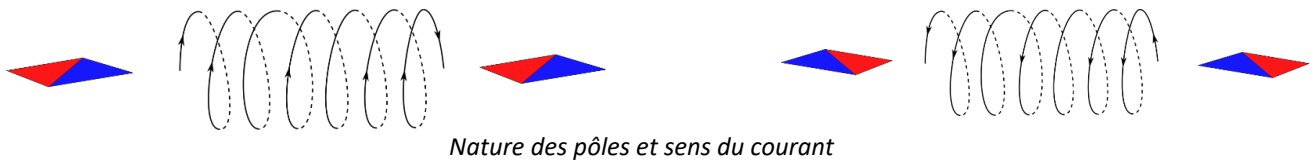
### 1.2. Les sources de champ magnétique

Les aimants et les fils parcourus par un courant électrique sont des sources de champ magnétique.

Comme on l'a vu les aimants sont des sources de champ magnétiques. Ces aimants sont en constitués de matériaux ferromagnétiques.

Mais un fil électrique parcouru par un fil électrique, produit un champ magnétique dont le sens dépend de celui du courant.

Dans le cas de la bobine la nature des pôles différents change en fonction du sens du courant électrique.



Les deux extrémités de la bobine présentent des pôles magnétiques différents dont la nature peut être déterminée en fonction du sens du courant.

<p>Pôle 1 <span style="margin-left: 200px;">Pôle 2</span></p>	
<p>Pôle 1 <span style="margin-left: 200px;">Pôle 2</span></p>	
Le pôle 1 présente un pôle Nord	Le pôle 2 présente un pôle Sud

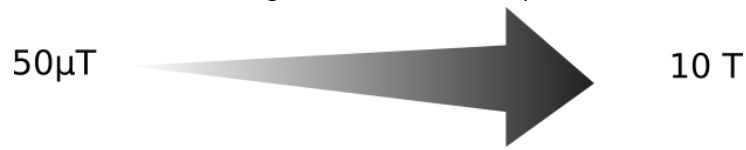
### 1.3. Quelques ordres de grandeur du champ magnétique

L'intensité du champ magnétique terrestre est de l'ordre de 50  $\mu$ T. L'aiguille aimantée est sensible au champ magnétique de cette intensité.

Le champ magnétique créé par un aimant droit est bien plus important, il vaut en environ 20 mT.



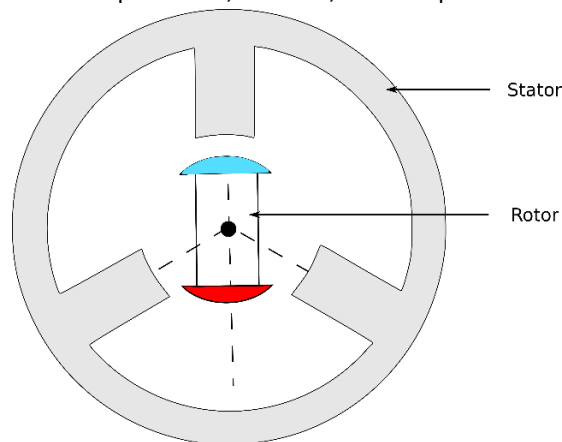
Les électroaimants génèrent des champs de l'ordre de 1 à 10 Tesla. Pour générer des champs intenses il est nécessaire d'utiliser des fils électriques en matériaux supraconducteurs qui ont la propriété d'avoir une résistance électrique très faible et permettent ainsi de faire circuler de très grands courants électriques.



## 2. Les moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas sont utilisés pour les positionnements angulaires et linéaires précis. On les retrouve par exemple dans les imprimantes, imprimantes 3D, scanners, disques durs ...).

Ce sont des moteurs électriques constitués d'une partie fixe, le stator, et d'une partie mobile en rotation, le rotor.



Rotor et stator d'un moteur pas à pas

Le **rotor** d'un moteur pas à pas est la partie **mobile** du moteur relié à l'axe de rotation. Le **stator** est la partie **fixe** du moteur.

Leur structure particulière permet, à l'aide d'une commande électronique appropriée, d'obtenir une rotation précise du rotor.

En effet, à chaque impulsion du signal de commande correspond au niveau du rotor un déplacement angulaire élémentaire bien défini appelé « pas ».

Le **pas** d'un moteur pas à pas correspond au plus petit déplacement angulaire du rotor.

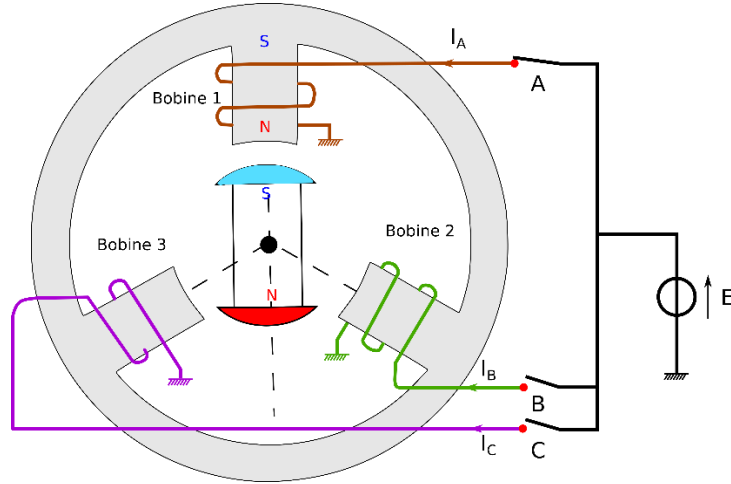
Un moteur pas à pas est alors caractérisé par sa résolution ou encore son nombre de pas par tour. Le pas peut avoir une valeur comprise entre  $0,9^\circ$  et  $90^\circ$ . Les valeurs les plus couramment rencontrées sont :

- $0,9^\circ$  : soit 400 pas par tour ;
- $1,8^\circ$  : soit 200 pas par tour ;
- $3,6^\circ$  : soit 100 pas par tour ;
- $7,5^\circ$  : soit 48 pas par tour ;
- $15^\circ$  : soit 24 pas par tour.

Un moteur pas à pas permet de contrôler une position à l'aide d'une commande électronique appropriée.

## 2.1. Principe du moteur pas à pas élémentaire

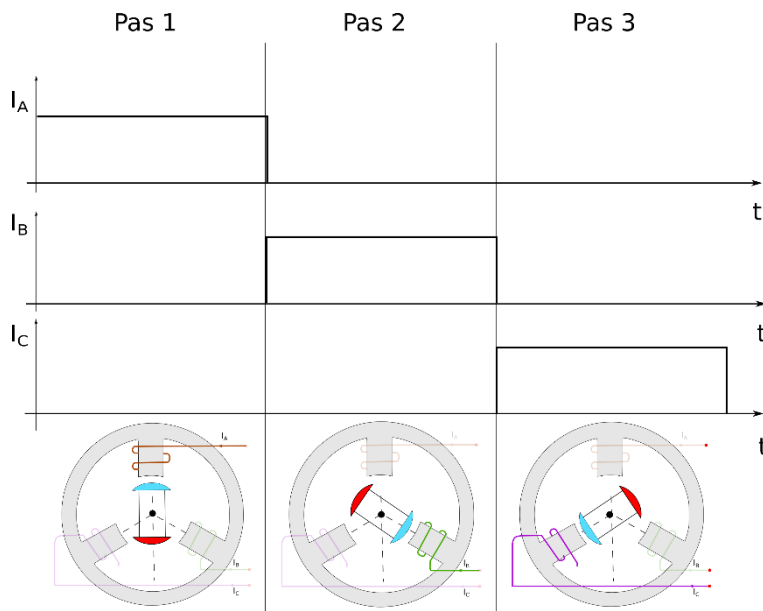
Le moteur pas à pas très simple de la figure ci-après est composé d'un stator ayant trois enroulements et d'un rotor bipolaire constitué d'un aimant permanent à deux pôles (nord et sud). En manipulant les trois interrupteurs A, B et C, on peut raccorder les enroulements, à tour de rôle, à une source à courant continu. Ainsi, on positionne le rotor en modifiant la nature du pôle présenté par le bobinage statorique.



Moteur pas à pas élémentaire

Lorsque l'on ferme l'interrupteur A, un courant  $I_A$  parcourt la bobine 1, générant ainsi deux pôles, nord et sud, aux extrémités de celle-ci. Le pôle nord créé va attirer le pôle sud du rotor, de façon à ce que ce dernier s'aligne dans la position indiquée sur la figure 2. Si, ensuite on ouvre l'interrupteur A tout en fermant l'interrupteur B, le rotor tournera de  $120^\circ$  pour s'aligner avec la bobine 2. À l'ouverture de B simultanément à la fermeture de C, le rotor tournera encore de  $120^\circ$  afin de s'aligner avec la bobine 3.

On retrouve dans le document ci-dessous, les différentes orientations du rotor, en fonction de l'évolution de l'intensité dans chaque bobine.



Les trois pas du moteur pas à pas élémentaire

Plusieurs technologies de moteur existent. Nous n'étudierons que les moteurs pas à pas avec un rotor constitué d'un aimant permanent et un stator équipé de plusieurs bobines.

## 2.2. Moteurs pas à pas à aimants permanents

Dans la famille des moteurs pas à pas à aimants permanents, on distingue les moteurs pas à pas bipolaires des moteurs unipolaires. Leur distinction tient au mode d'alimentation des bobines.

Le moteur bipolaire	Le moteur unipolaire
Les enroulements du stator n'ont pas de point milieu. Chaque borne de chaque enroulement est alimentée par une polarité positive puis négative (d'où le terme bipolaire).	Les enroulements sont à point milieu. Les bornes sont toujours alimentées par une polarité de même signe (d'où le terme unipolaire), ce qui permet de ne jamais avoir besoin d'inverser le sens du courant dans une bobine. Ils possèdent davantage d'enroulements et sont donc plus compliqués à réaliser.

## 2.3. Fonctionnement du moteur pas à pas bipolaire

La figure 3 montre la structure de base d'un moteur pas à pas à aimant permanent. Dans ce cas simple, le rotor n'est constitué que d'un seul aimant (un pôle nord et un pôle sud). Le stator présente 2 phases (bobine 1 et bobine 2).

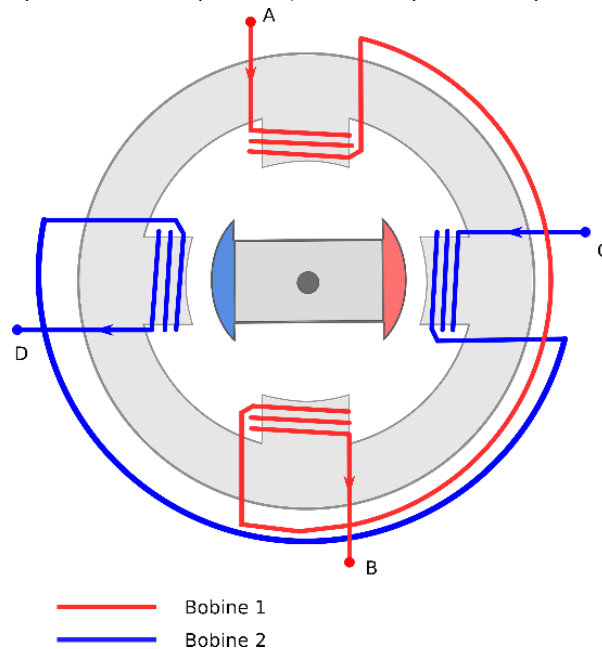


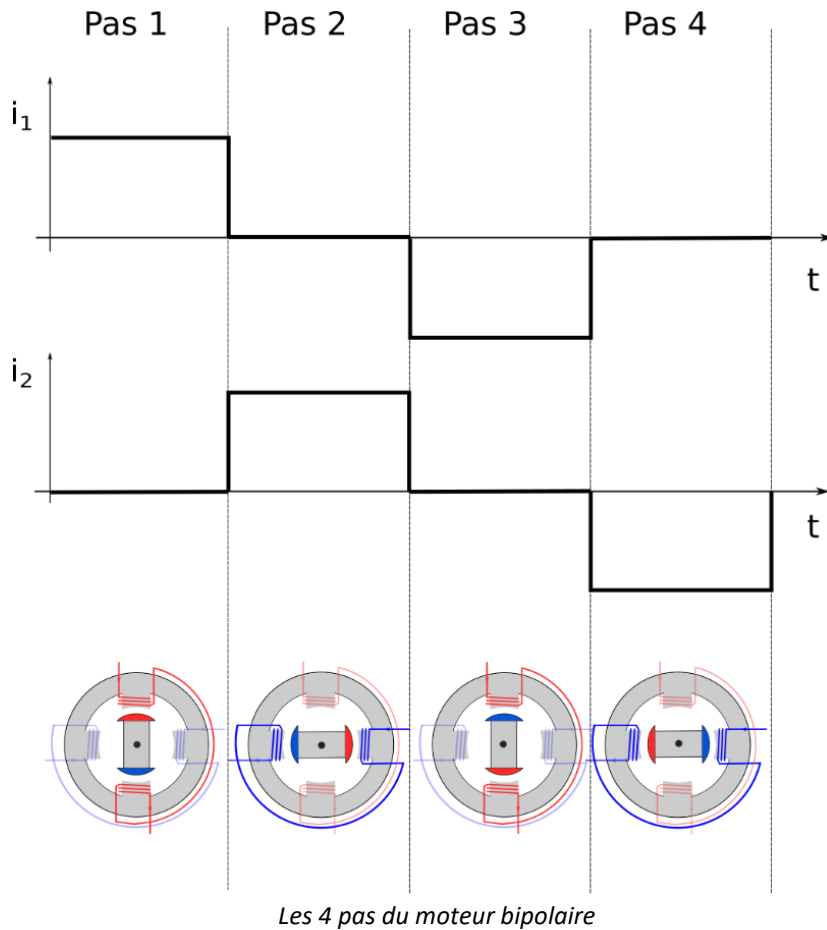
Figure 2 : moteur pas à pas bipolaire

Si on alimente la bobine 1, dans le sens positif, l'aimant va se placer en position verticale. Si l'on supprime le courant dans la bobine 1 et qu'on l'établit dans la bobine 2 dans le sens positif, l'aimant va tourner de  $90^\circ$  et va se placer en position horizontale.

Si l'on supprime le courant dans la bobine 2 et qu'on l'établit dans la bobine 1 dans le sens négatif, l'aimant va encore tourner de  $90^\circ$  et va se placer en position verticale.

On rétablit enfin le courant dans la bobine 2, dans le sens négatif l'aimant va de nouveau tourner de  $90^\circ$  et se placer en position horizontale.

On retrouve les différentes orientations du rotor dans le document 2, en fonction de l'évolution de l'intensité dans chaque bobine.



L'aimant a donc 4 positions possibles par tour. On dit que l'angle de pas, ou le pas est de  $90^\circ$ . On a donc un moteur pas à pas de 4 pas par tour.

Il est aisé de voir que le sens de rotation du moteur dépend de la polarité du courant (la permutation des 2 fils d'une phase inverse donc le sens de rotation).