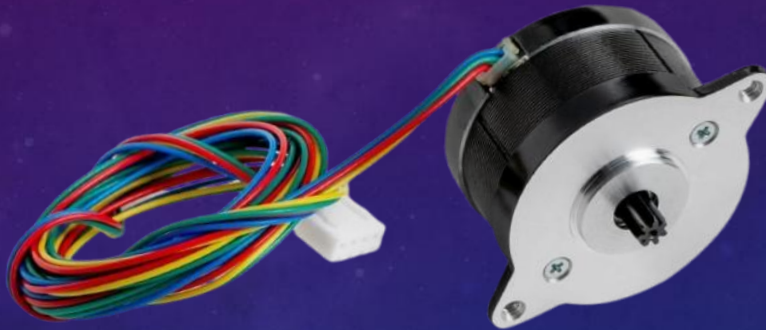


# Moteurs / Power Board / PWM

Robin GUILLAUME-GENTIL, Natan ENKAOUA, Sonny BASSO





# But de cette démo

- Comprendre comment fonctionne un moteur
- Comment contrôler les différents aspects du moteur (Couple ?, vitesse ?)
- Introduction aux techniques pour adapter un moteur à vos besoins
- À quoi sert une Power Board et un Power stage ? Comment les utiliser ?
- Utilisation des signaux PWM (Contrôle, affichage, transmission d'information, etc...)



Qu'est-ce qu'un moteur ?



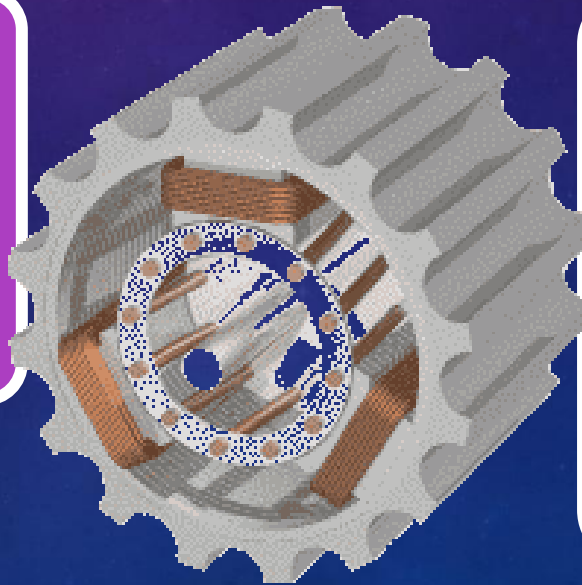


# Qu'est-ce qu'un moteur ?

Pour l'ingénierie : un moteur est un dispositif qui transforme un type d'énergie en énergie mécanique en créant un mouvement, souvent rotatif.

Énergie chimique :

- Types : essence, diesel, gaz, etc...
- Exemples : voitures, camion, motos, avions, etc...



Énergie électrique :

- Types : courant continu, synchrone, asynchrone, etc...
- Exemple : voitures, motos, systèmes embarqués, robotiques, etc...



# Les différents types de moteurs électriques

Moteur électrique

Moteur à courant continu  
(DC)

Moteur DC à aimants  
permanente (PMDC)

Moteur à excitation  
composée (compound)

Moteur à excitation  
série

Moteur à excitation  
indépendante

Moteur à excitation  
dérivante (shunt)

Moteur à  
excitation

Moteur à aimants  
permanente (PMSM)

Moteur à rotor bobiné

Moteur à réluctance  
synchrone

Moteur à courant alternatif  
(AC)

Moteur  
synchrone

Moteur  
asynchrone

monophasé

triphasé

Moteur à cage  
d'écureuil

Moteur hybride

Moteur brushless DC  
(BLDC)

Moteur pas à pas  
(stepper)

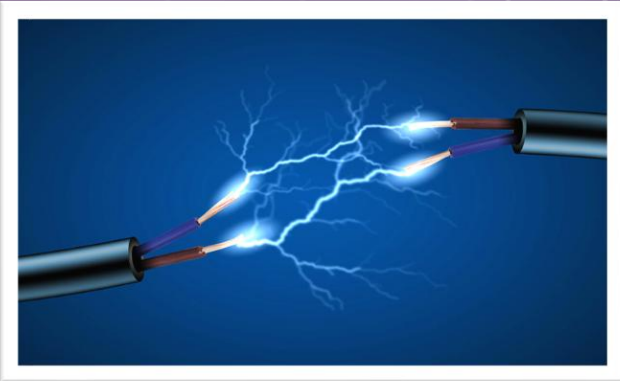
Moteur linéaire

Moteur universel



# En très bref, comment marche un moteur

Monde Electrique



Monde Mécanique



Monde Magnétique

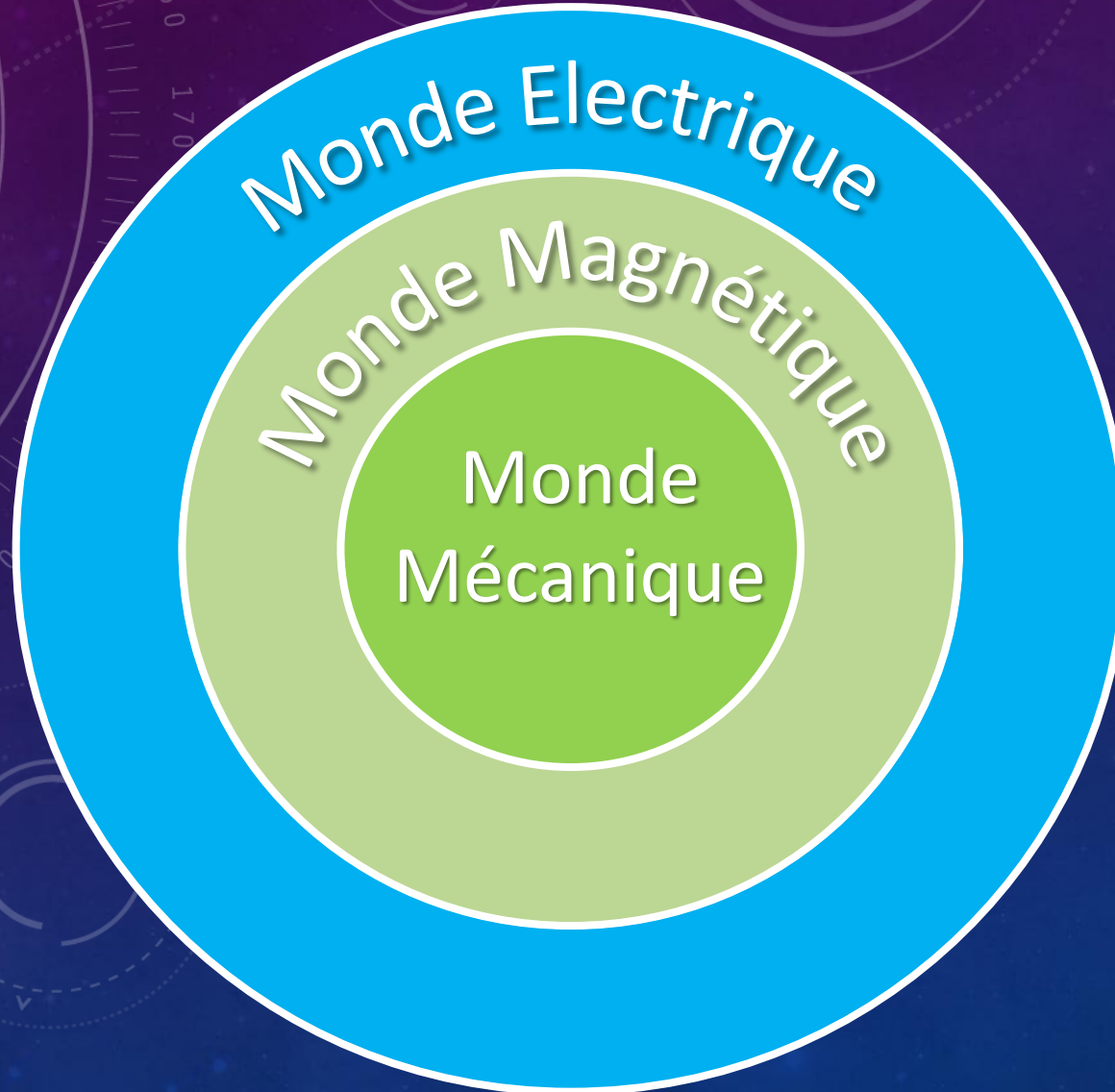






# En très bref, comment marche un moteur

Schéma pour un moteur  
AC. Cas plus général et  
plus simple à  
comprendre



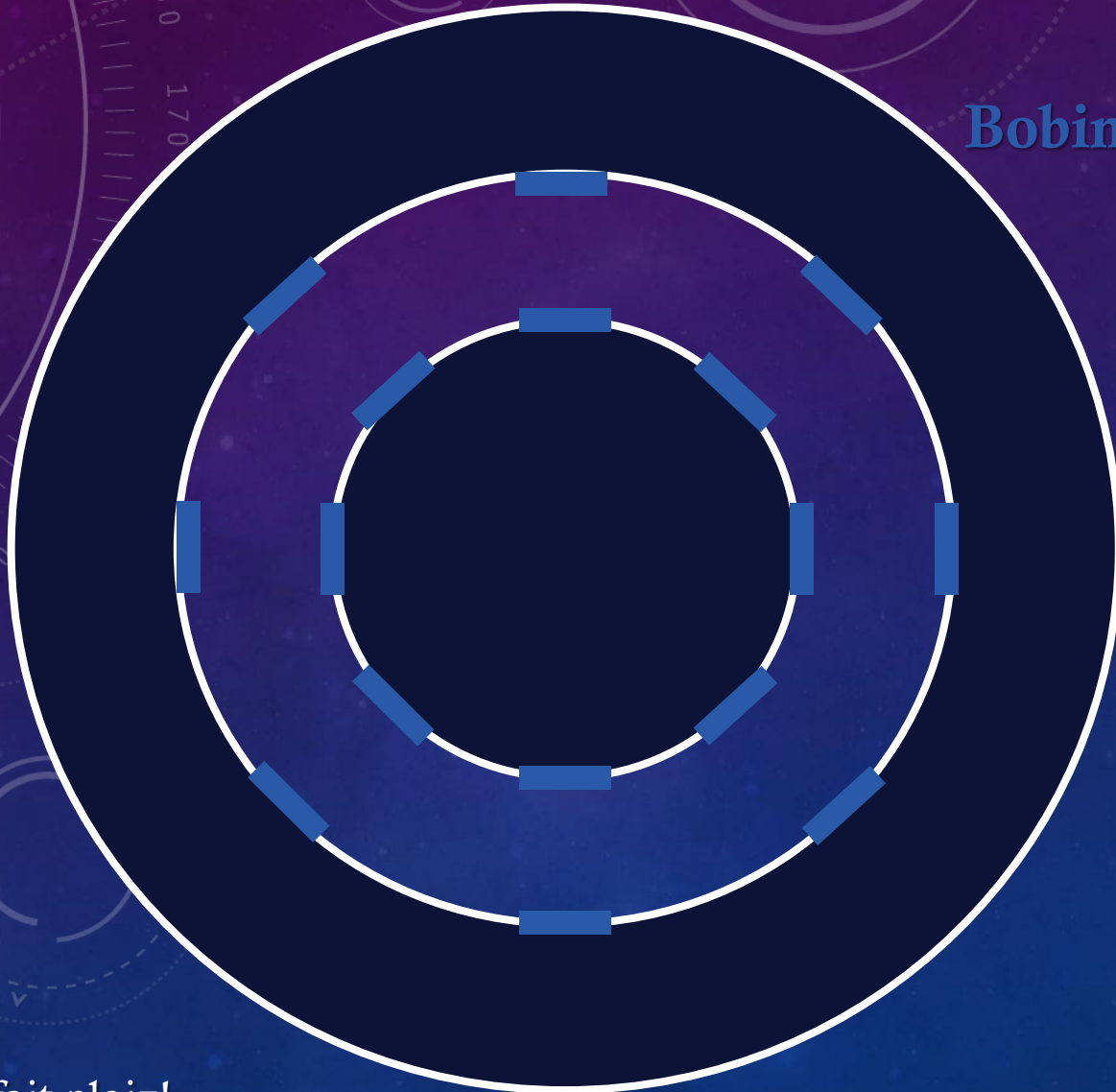


# En très bref, comment marche un moteur

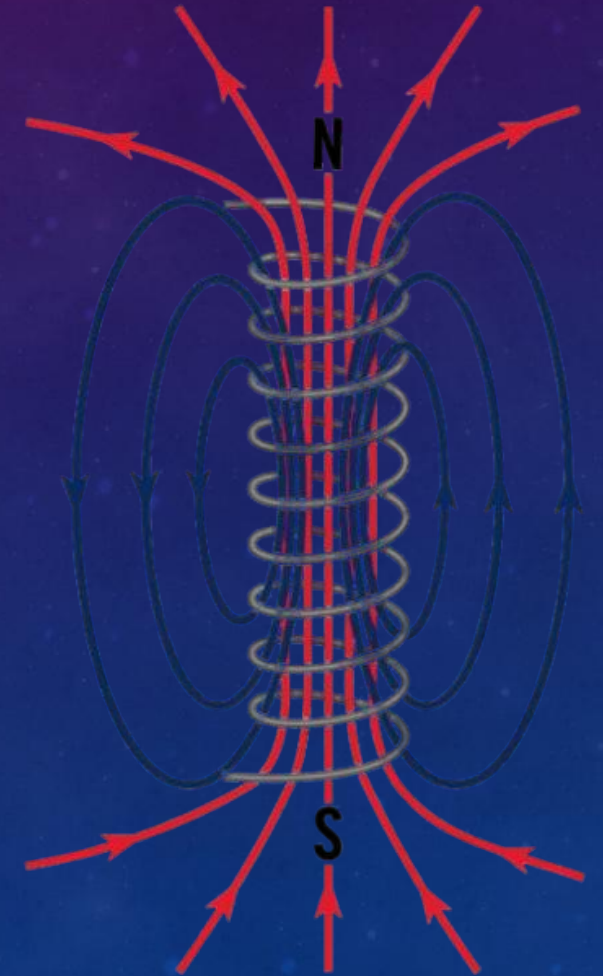
Schéma pour un moteur  
AC. Cas plus général et  
plus simple à  
comprendre

**Loi d'ampère :**

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$



Bobines



Champ magnétique d'un solénoïde

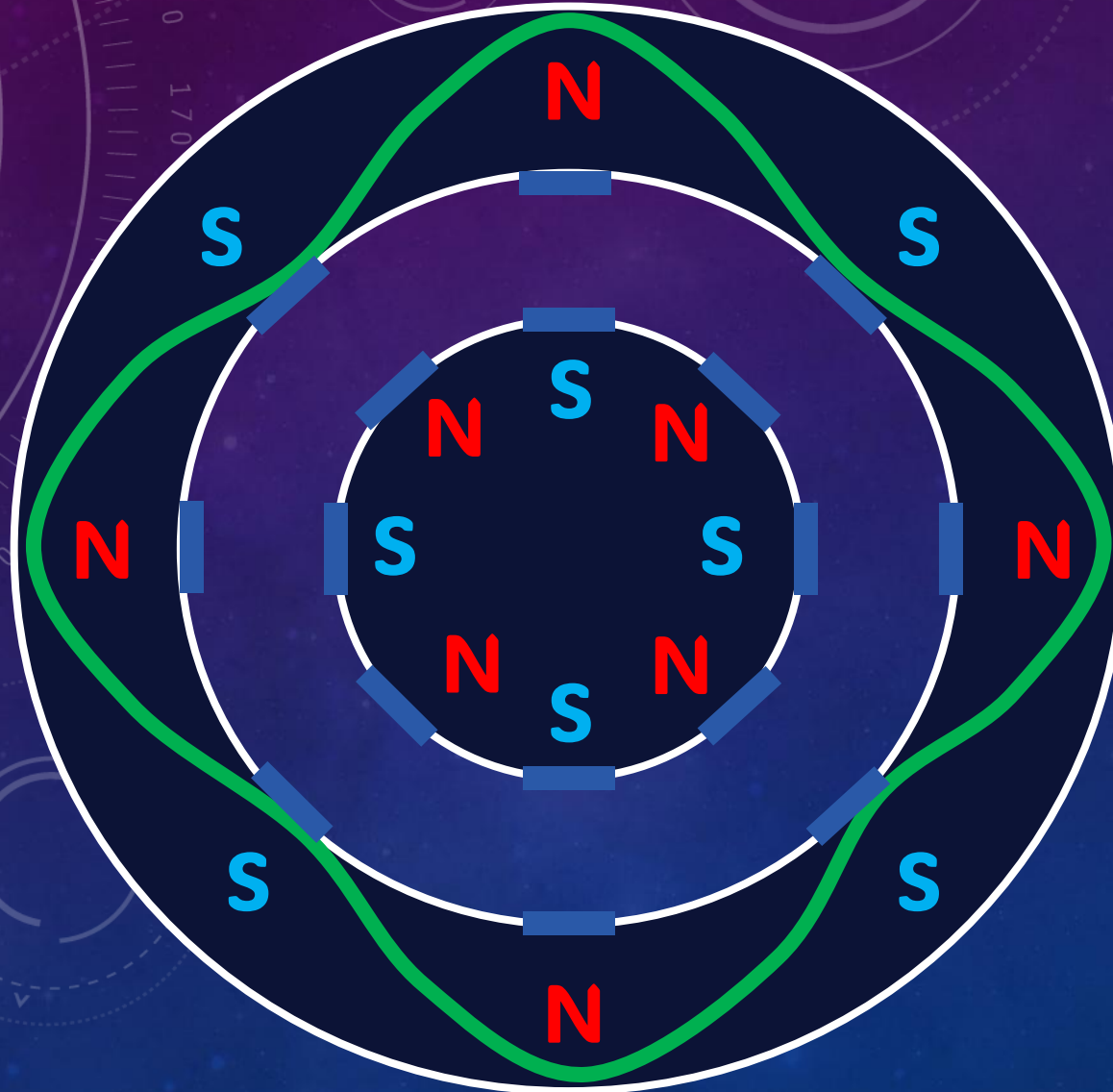




# En très bref, comment marche un moteur

Schéma pour un moteur  
AC. Cas plus général et  
plus simple à  
comprendre

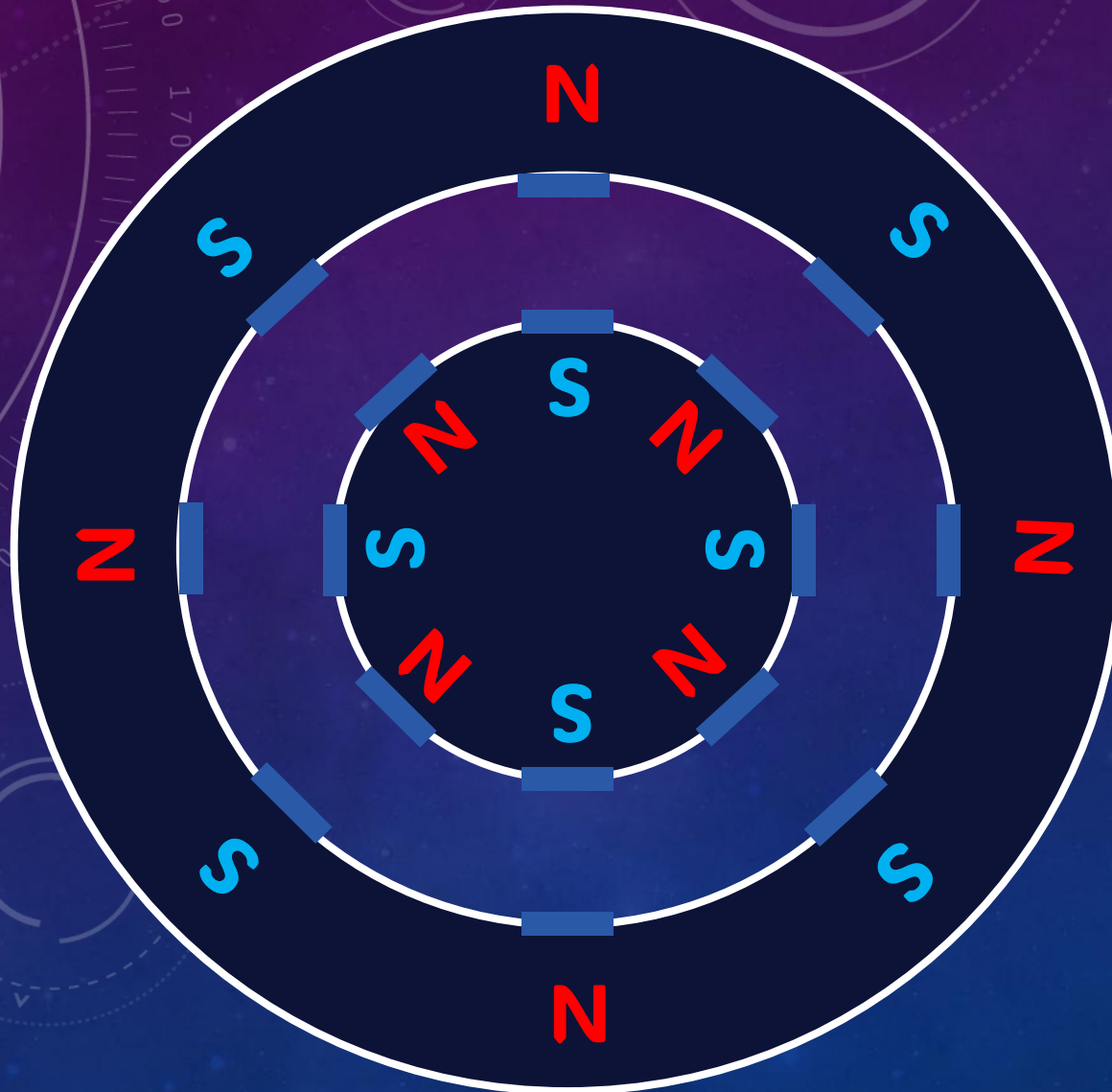
Courant AC





# En très bref, comment marche un moteur

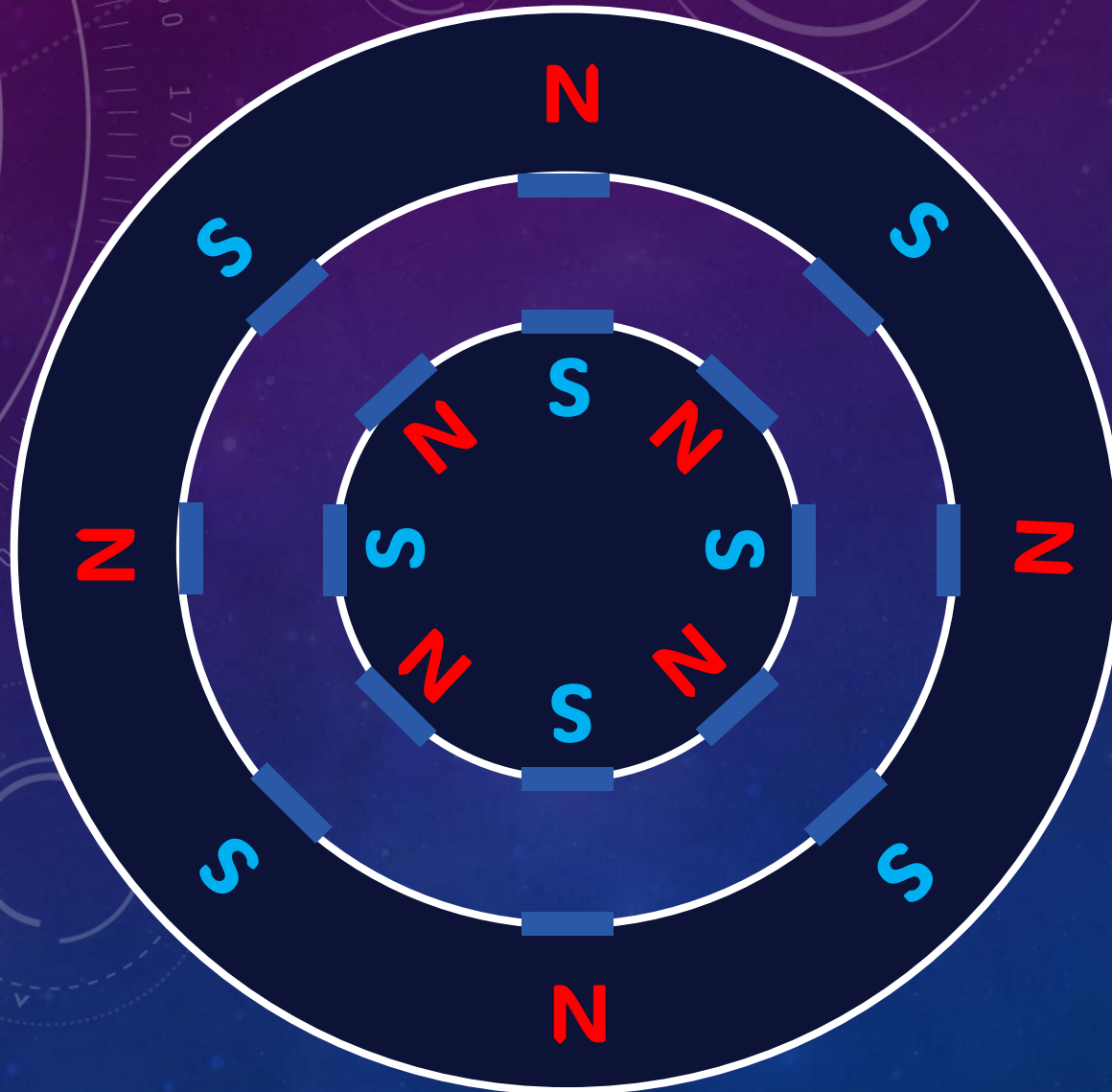
Schéma pour un moteur  
AC. Cas plus général et  
plus simple à  
comprendre





# En très bref, comment marche un moteur

Schéma pour un moteur  
AC. Cas plus général et  
plus simple à  
comprendre







# Le monde électrique



# Systeme électronique avec moteur

Consignes de  
vitesse / couple

Circuit électronique



Quelles sont les différents systèmes nécessaires à un moteur ?



# Alimentation du moteur

On veut alimenter un moteur. Seulement, comment faire ? À quoi faut-il faire attention ?

Idée : Brancher une source de tension. La tension d'alimentation est directement proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur

Problème : La plupart du temps, le système est embarqué donc pas possible d'utiliser une source de tension traditionnelle

Solution : Utiliser une batterie comme alimentation

Nouveau problème : La tension de batterie n'est pas constante donc la vitesse de rotation du moteur non plus ce qui est souvent un soucis

Nouvelle solution : Utiliser une «Power Board»





# Power Board

Une power board est un circuit intermédiaire entre une alimentation et un moteur. Il s'agit d'un sous-ensemble électronique dédié à la conversion et la régulation de puissance.

Il est possible de le voir comme sorte de convertisseur (DC/DC, DC/AC, AC/DC, AC/AC)

Son rôle est de fournir une tension stable et le courant dont le moteur aurait besoin

**Tension input (généralement instable ou non contrôlable)**



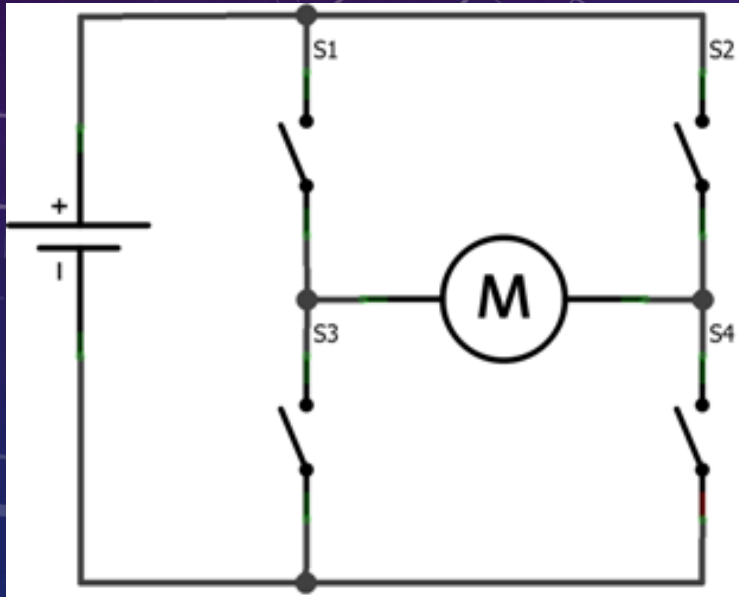
**Tension stable**



# Power stage

Avec une power board, on a maintenant une tension stable. Seulement, une tension toute seule ne suffit pas. Il faut rajouter un autre dispositif : le «Power stage».

Exemple d'un Power stage de type pont H :



Chaque switch peut s'activer et fonctionne en paire.

- S1-S4 on : rotation sens horaire
- S2-S3 on : rotation sens-anti-horaire

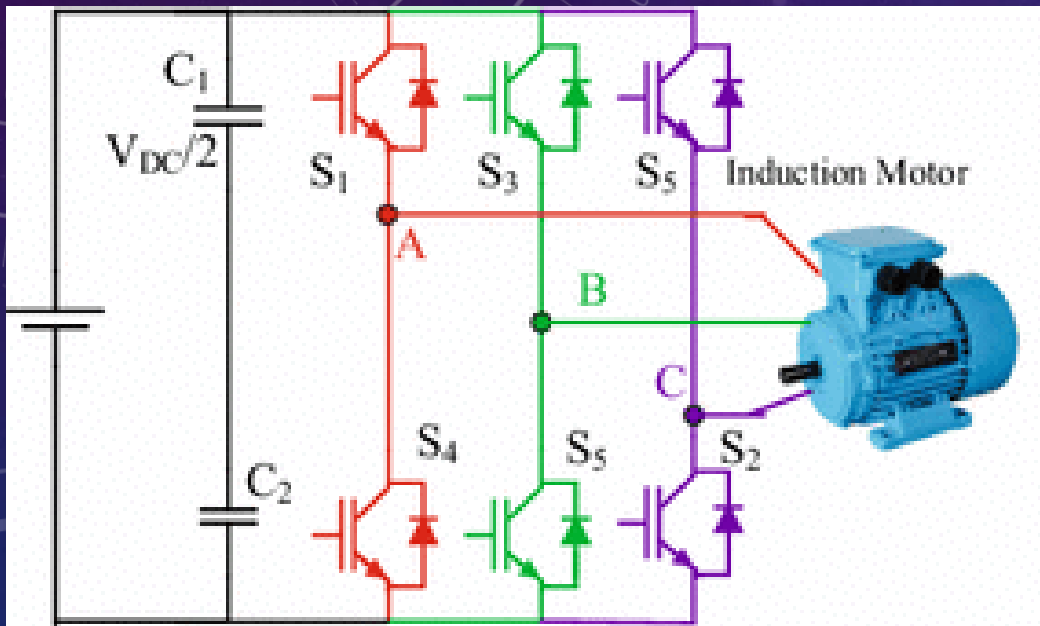
Une autre configuration rendra le contrôle instable et moins efficace



# Power stage

Certains moteurs DC intègrent leur propre étage de puissance, mais les moteurs plus puissants requièrent un driver externe comme les moteurs AC

Exemple d'un power stage de type VSI (Voltage source inverter) :



Son rôle spécifique est de convertir la puissance DC en puissance AC de manière contrôlée





# Contrôle du moteur

Un moteur ne se contrôle pas en tension mais en courant !

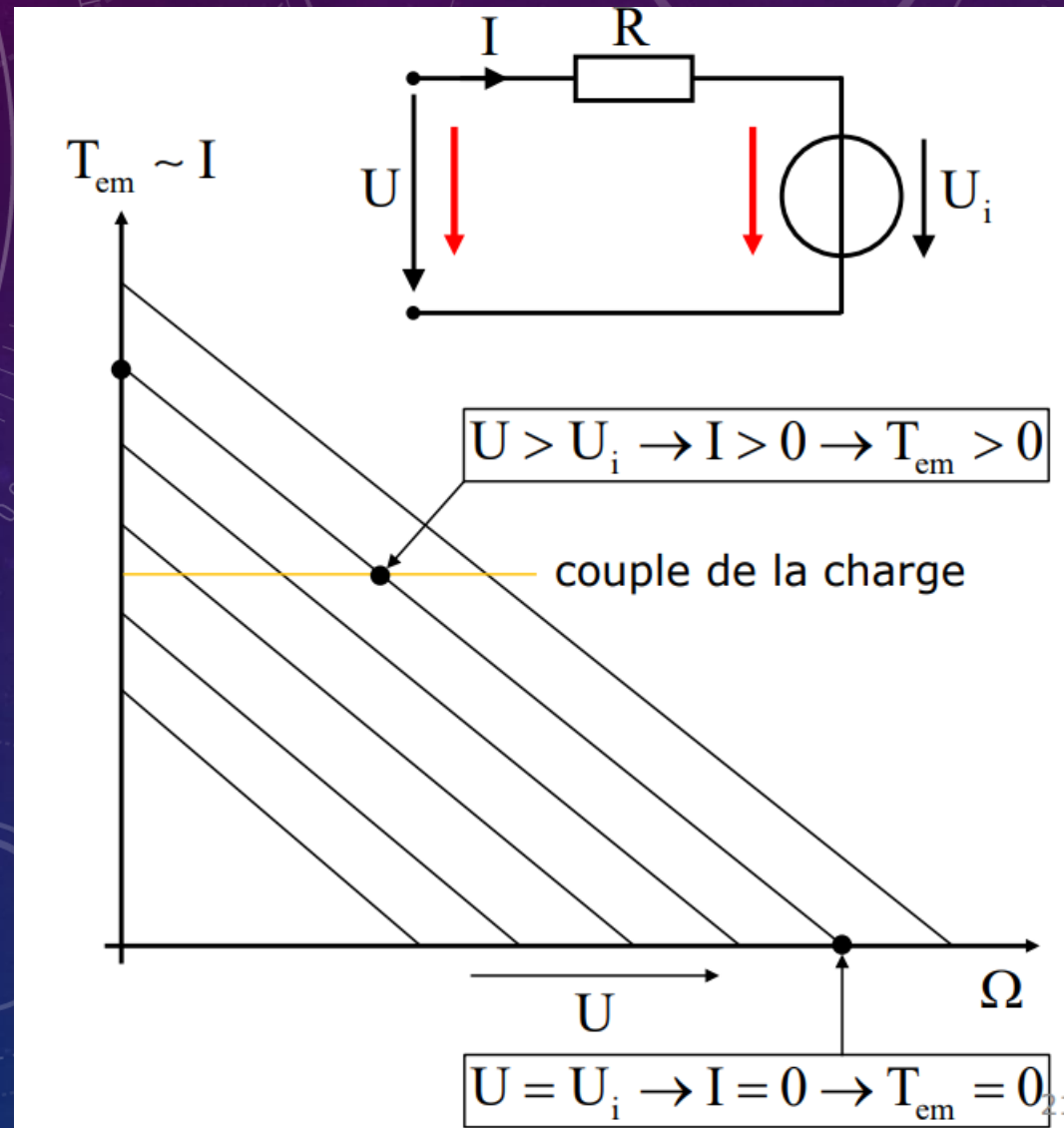
Le **couple** est proportionnel au **courant**

Seulement, le contrôle par le courant est très peu pratique. Comment faire pour contrôler le couple du moteur ?

De plus, Comment faire pour faire varier la tension d'alim pour diminuer/augmenter la vitesse de rotation ?



# Contrôle du moteur

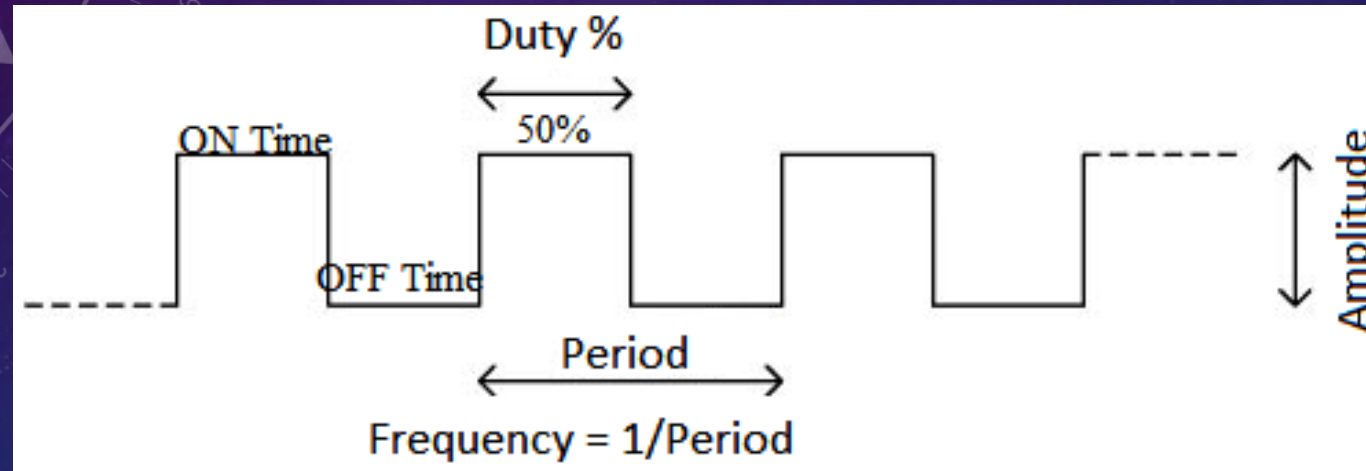


Régime d'un moteur DC



# PWM

Le PWM est un signal digital qui est composé d'une tension logique 0 (GND) et logique 1 ( $V_{cc}$ )

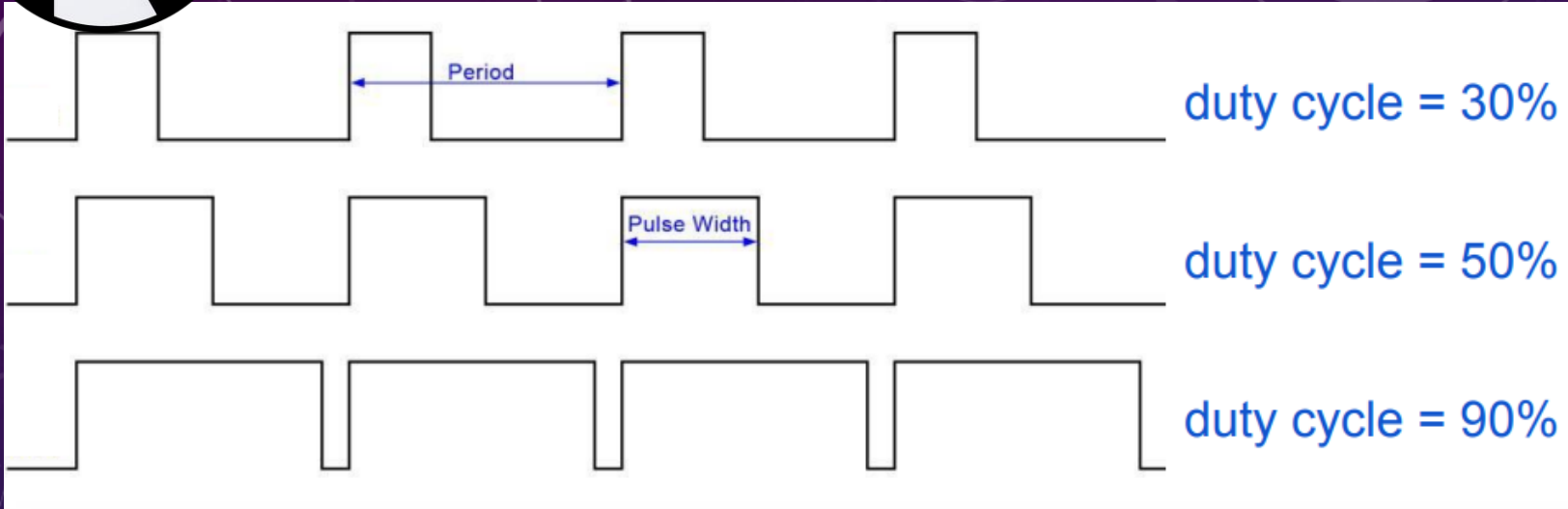


Pour reproduire ce type de signal, il faut manipuler un paramètre : Le duty cycle

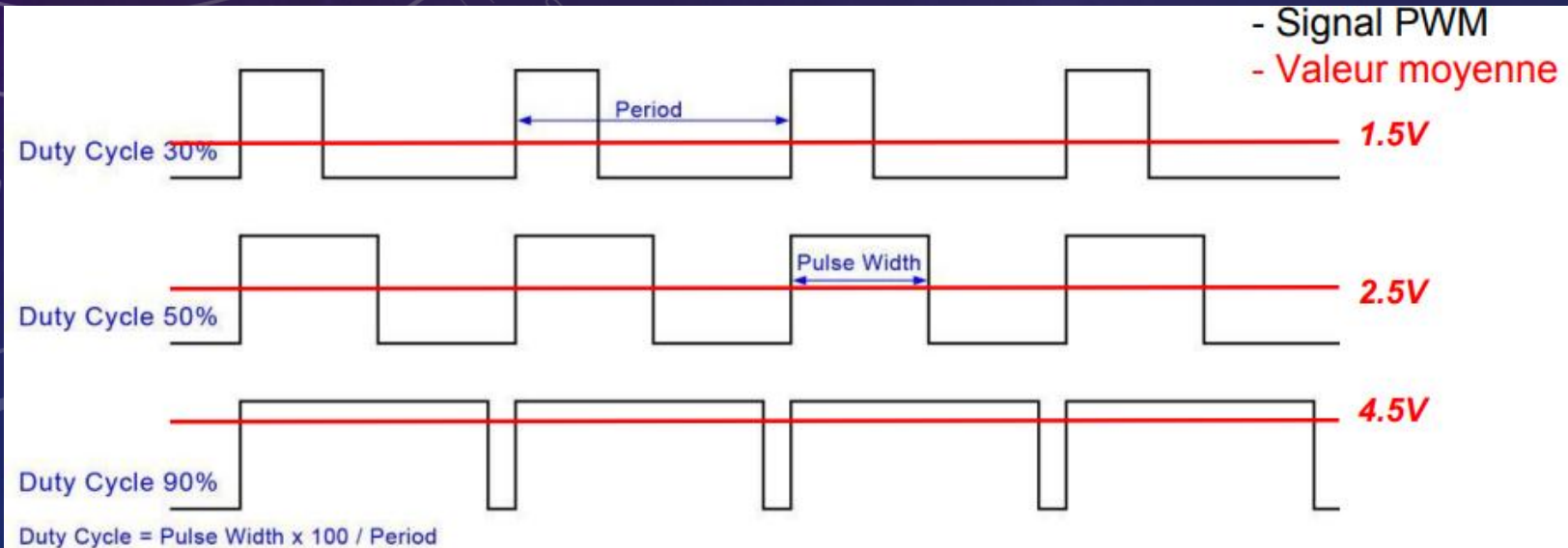




# PWM



Il faut analyser la valeur moyenne du signal. On voit qu'on peut obtenir toutes les valeurs de tension comprises entre GND/V<sub>CC</sub>



C'est de cette manière qu'une carte digital peut créer un signal analogue en faisant varier le duty cycle rapidement



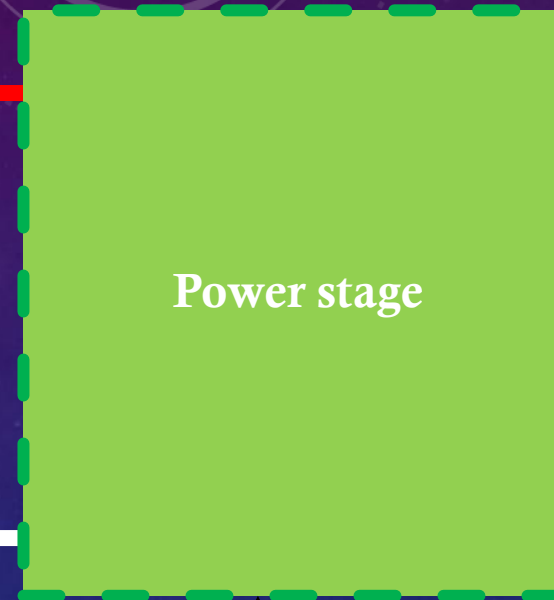
# PWM dans un cas concret



$$U = U_0$$
$$I = I_0$$



$$D = 50\%$$



$$D = 50\%$$

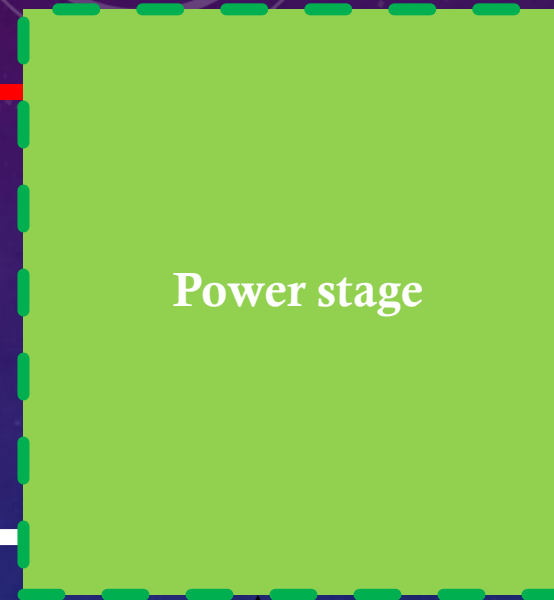


$$\omega = \omega_0$$
$$T = T_0$$





# PWM dans un cas concret



$$U = U_0 + a$$

$$I = I_0$$

$$D = 50\%$$

$$D = 50\%$$

$$\omega = \omega_0 + b^*$$

$$T = T_0$$



*\* On assume que la power board sort une tension proportionnelle à l'entrée*

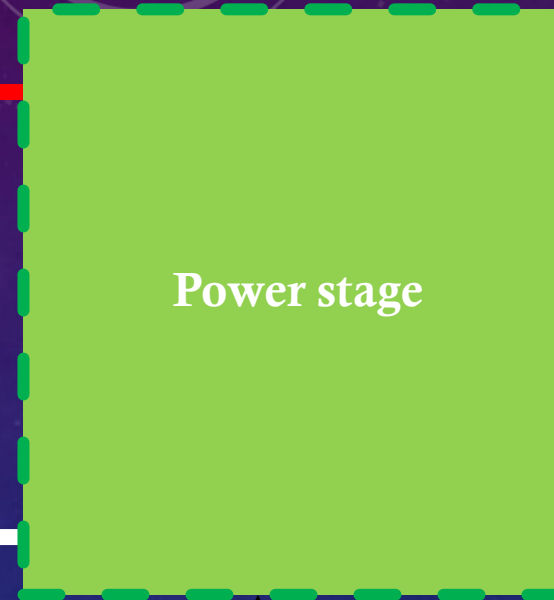




# PWM dans un cas concret



Power Board



Power stage



$$U = U_0$$
$$I = I_0$$

$$D = 50\%$$

$$D = 50\%$$

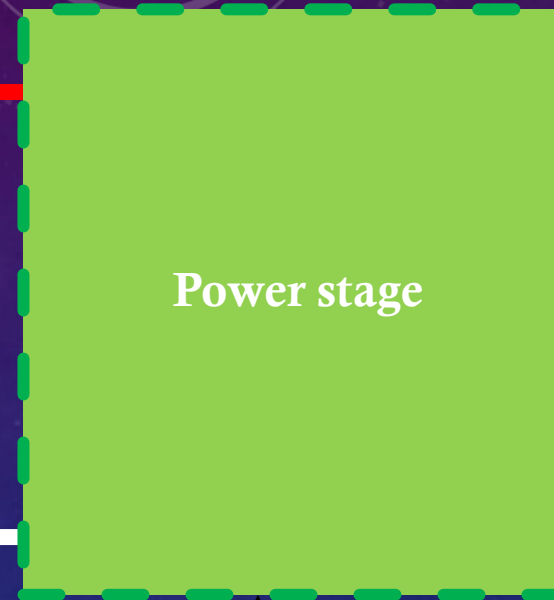
$$\omega = \omega_0$$
$$T = T_0$$



Control Board



# PWM dans un cas concret



$$U = U_0$$
$$I = I_0$$

$$D = 50\%$$

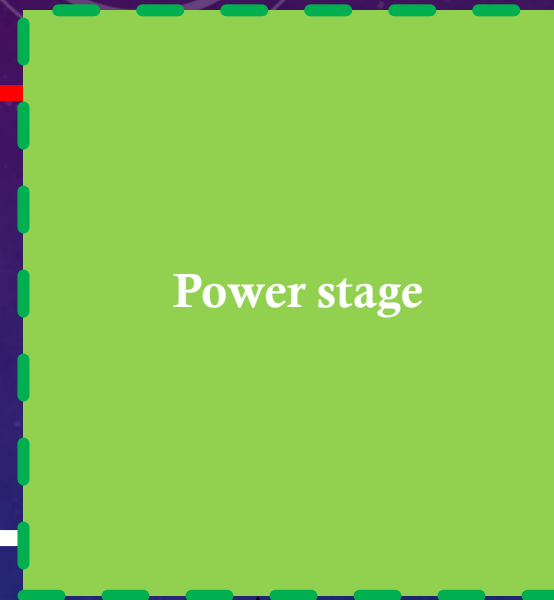
$$D = 60\%$$

$$\omega = \omega_0 + b$$
$$T = T_0$$





# PWM dans un cas concret



$$U = U_0$$
$$I = I_0 + d$$

$$D = 50\%$$

$$D = 50\%$$

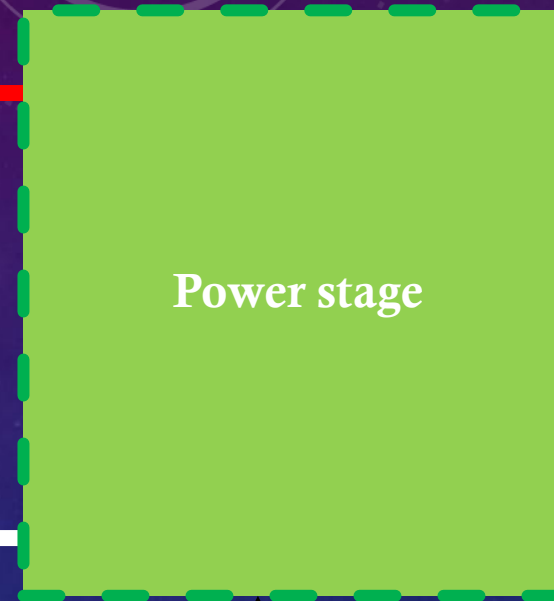
$$\omega = \omega_0 - b$$
$$T = T_0 + c$$







# PWM dans un cas concret



$$U = U_0$$
$$I = I_0 + d$$

$$D = 50\%$$

$$D = 70\%$$

$$\omega = \omega_0$$
$$T = T_0 + c$$

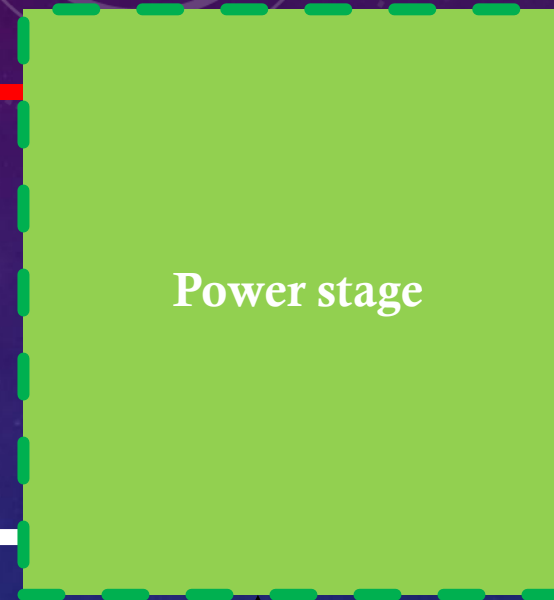




# PWM dans un cas concret



Power Board



Power stage



$$U = U_0$$
$$I = I_0 + d$$

$$D = 50\%$$

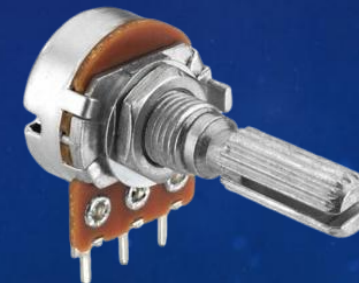
$$D = 70\%$$

$$\omega = \omega_0$$
$$T = T_0 + c$$

Capteur de  
vitesse



Control Board



Contrôle  
manuel



# Le Servomoteur

Le servomoteur est différent des autres moteurs sur plusieurs points

Le PWM de ce moteur ne contrôle pas indirectement la vitesse. En réalité, le PWM sert à contrôler l'angle.

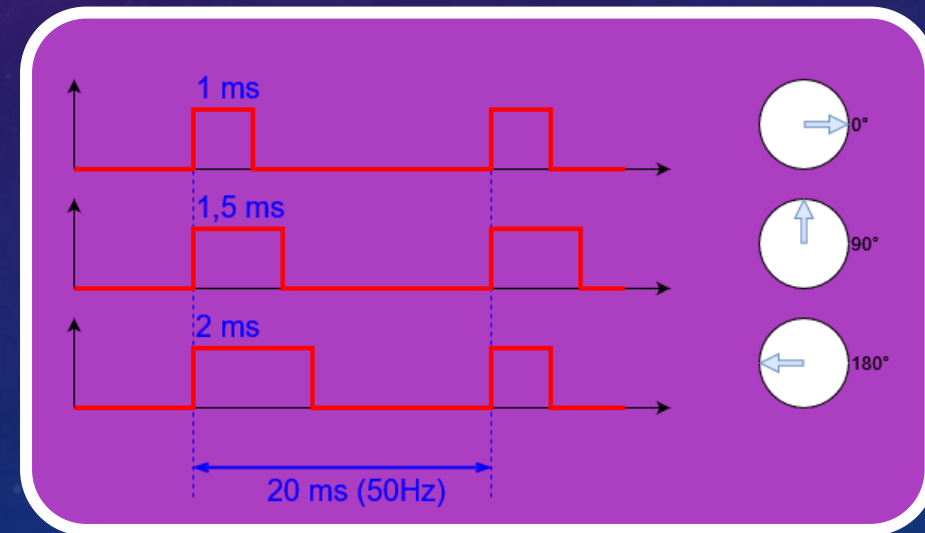
5%  $\rightarrow$  0°

7,5%  $\rightarrow$  90°

10%  $\rightarrow$  180°

Fréquence de fonctionnement : 50 Hz

Attention, il s'agit de valeurs standards mais non pas universelles







# Le monde mécanique

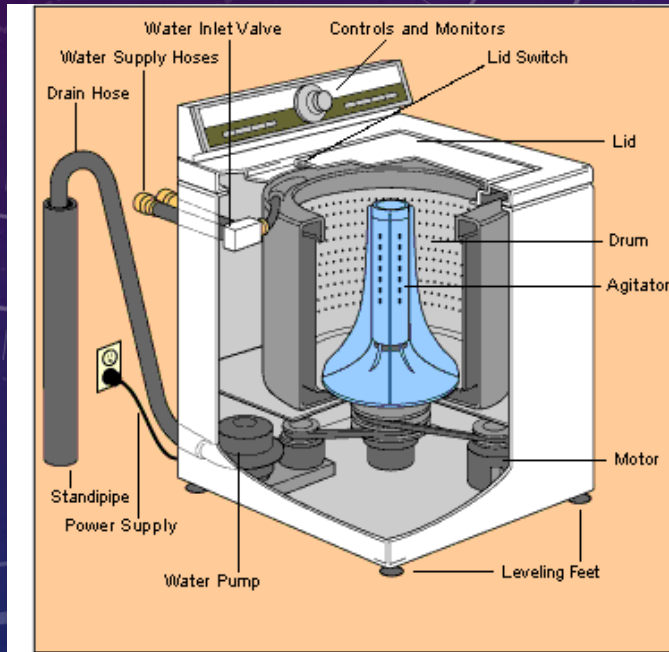


# Application d'un moteur

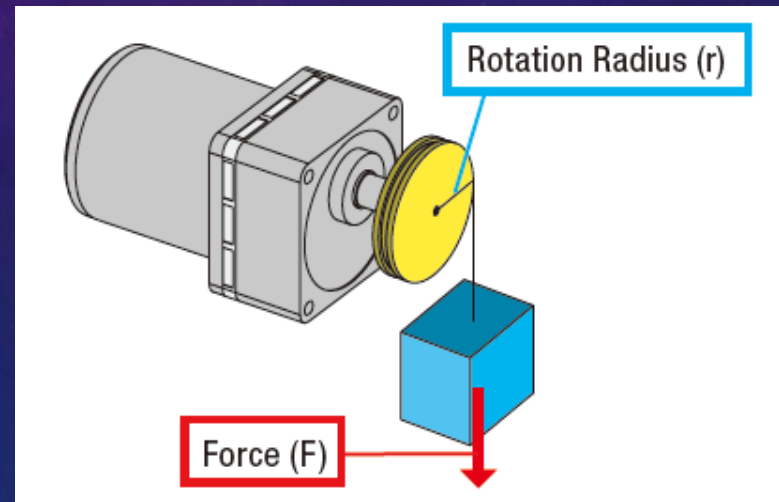
**Mouvement circulaire**  
**Couple**  
**Vitesse angulaire**



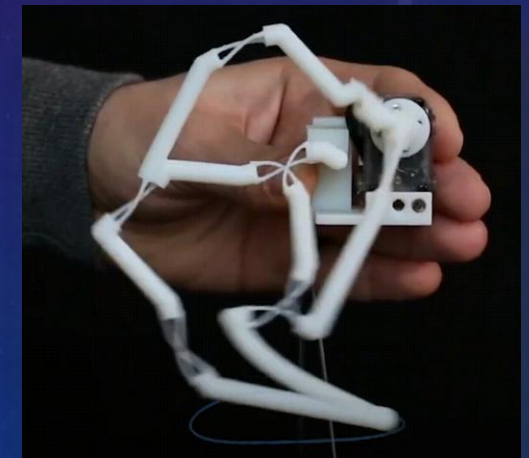
**Mouvement quelconque**  
**Couple / Force**  
**Vitesse de mouvement**



**Mouvement circulaire**



**Mouvement linéaire**



**Mouvement quelconque**

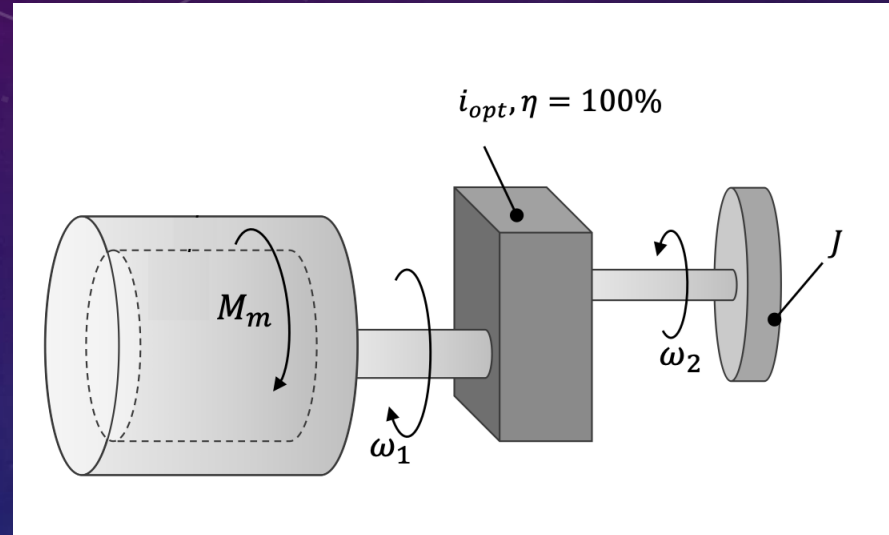


# Application d'un moteur : La vitesse



RS PRO Brushed DC Motor 80.16 W, 12 V  
dc, 92.13 mNm, 8311 rpm, 6.35mm Shaft  
Diameter

Les moteurs électriques ont souvent une vitesse trop élevée et un couple très bas, comment avoir un couple élevé et une vitesse acceptable?



Transmission à rapport de transmission  $i$

Donc pour un réducteur de rapport de transmission  $i$  on a en sortie :

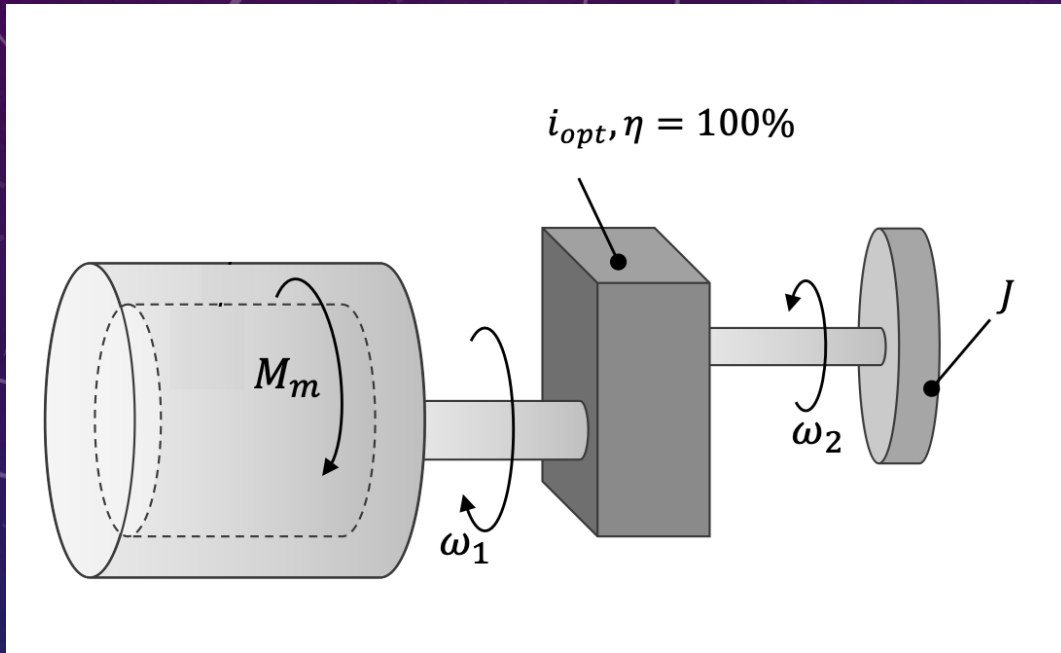
$$M_{out} = M_m * i$$
$$RPM_{out} = RPM_{in} / i$$





# Cas de charge - mouvement circulaire

Déterminer les cas limites : max couple et max vitesse angulaire



Moteur lié à une roue d'inertie par une transmission

On détermine les moments de force externes sur la roue d'inertie (par couple de friction, couple appliquée, par accélération etc) dans le cas limite. On a donc le couple nécessaire à la sortie:

$$M_r = \sum \text{Moments externes}$$

Le couple nécessaire délivré par le moteur est:

$$M_m = M_r / i$$

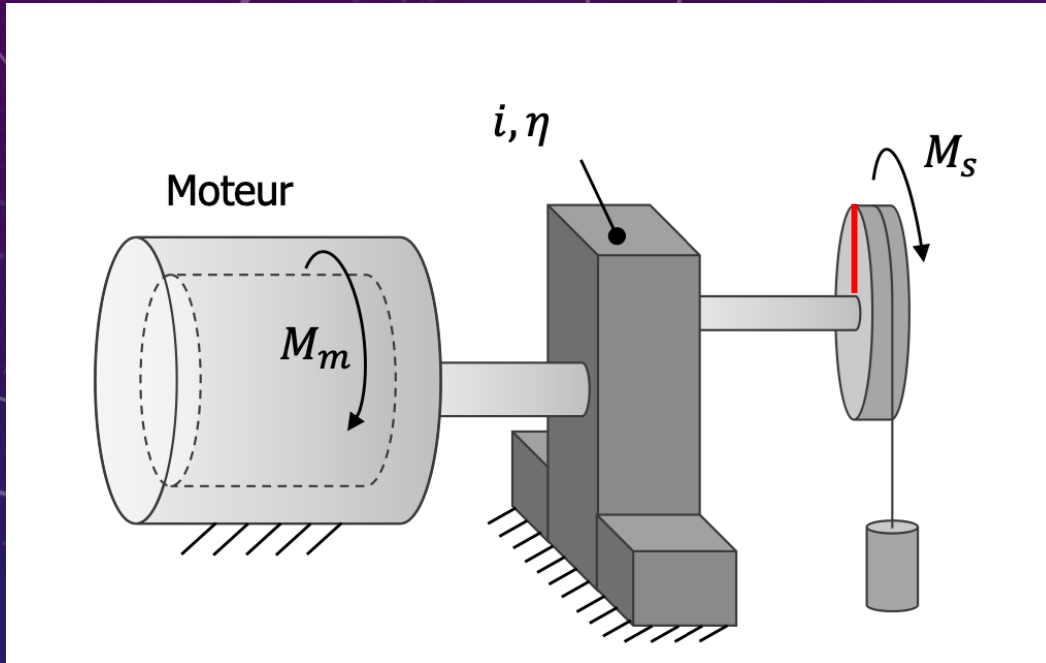
La vitesse nécessaire du moteur est:

$$\omega_m = \omega_{r\_max} * i$$



# Cas de charge - mouvement linéaire

Déterminer les cas limites : Force et vitesse linéaire max



Moteur lié à masse par une transmission

On détermine les forces externes sur la roue d'inertie (par force de friction, gravité, accélération etc.) dans le cas limite. On a donc le couple nécessaire à la sortie:

$$M_s = \sum \text{Forces externes} * r$$

Le couple nécessaire délivré par le moteur est:

$$M_m = M_s / i$$

La vitesse nécessaire du moteur est:

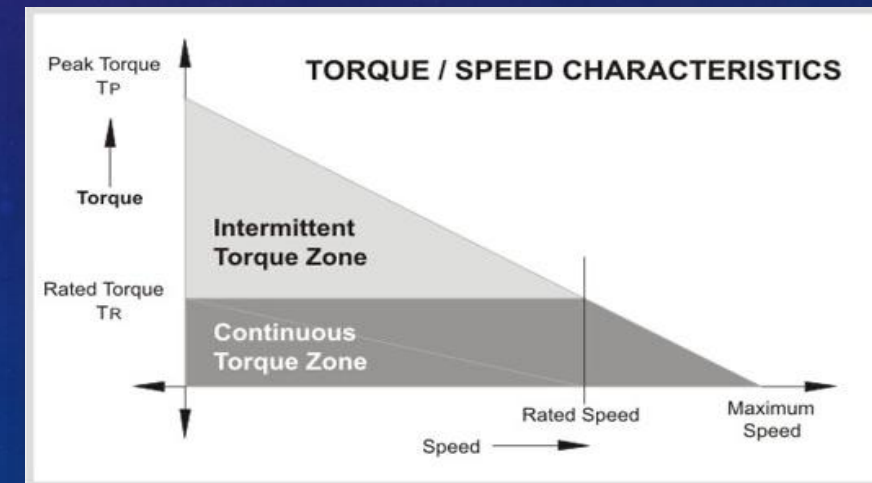
$$\omega_m = (v_{s\_max} / r) * i$$



# Choix de la taille d'un moteur DC avec réduction intégrée

| TYPE              | NOMINAL VOLTAGE | L<br>mm | RATIO<br>TO :1 | NOMINAL<br>TORQUE<br>Ncm | SPEED        |                      | CURRENT      |                      | INPUT POWER<br>AT NOMINAL<br>TORQUE<br>W |
|-------------------|-----------------|---------|----------------|--------------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--|
|                   | V               |         |                |                          | NO LOAD      | AT NOMINAL<br>TORQUE | NO LOAD      | AT NOMINAL<br>TORQUE |  |
|                   |                 |         |                |                          | rpm          |                      | mA           |                      |  |
| PS 150 • 12 • 3   | 12<br>24        | 63      | 3,4            | 3                        | 2000<br>2040 | 1130<br>1340         | <200<br><150 | 820<br>430           | 9,8<br>10,3                              |
| PS 150 • 12 • 5   | 12<br>24        | 63      | 5              | 5                        | 1365<br>1360 | 650<br>780           | <200<br><150 | 900<br>460           | 10,8<br>11,0                             |
| PS 150 • 12 • 12  | 12<br>24        | 71,2    | 11,56          | 10                       | 570<br>575   | 300<br>340           | <200<br><150 | 900<br>440           | 10,8<br>10,6                             |
| PS 150 • 12 • 17  | 12<br>24        | 71,2    | 17             | 15                       | 380<br>380   | 205<br>245           | <200<br><150 | 850<br>440           | 10,2<br>10,6                             |
| PS 150 • 12 • 25  | 12<br>24        | 71,2    | 25             | 20                       | 260<br>272   | 163<br>180           | <200<br><150 | 770<br>400           | 9,2<br>9,6                               |
| PS 150 • 12 • 39  | 12<br>24        | 79,4    | 39,3           | 30                       | 162<br>163   | 100<br>103           | <200<br><150 | 830<br>460           | 10,0<br>11,0                             |
| PS 150 • 12 • 58  | 12<br>24        | 79,4    | 57,8           | 50                       | 111<br>115   | 57<br>65             | <200<br><150 | 940<br>470           | 11,3<br>11,3                             |
| PS 150 • 12 • 85  | 12<br>24        | 79,4    | 85             | 75                       | 75<br>77     | 38<br>45             | <200<br><150 | 950<br>450           | 11,4<br>10,8                             |
| PS 150 • 12 • 125 | 12<br>24        | 79,4    | 125            | 100                      | 54<br>54     | 26<br>34             | <200<br><150 | 900<br>440           | 10,8<br>10,6                             |
| PS 150 • 12 • 196 | 12<br>24        | 87,7    | 196,52         | 140                      | 33<br>34     | 19<br>21             | <200<br><150 | 950<br>430           | 11,4<br>10,3                             |
| PS 150 • 12 • 289 | 12<br>24        | 87,7    | 289            | 180                      | 23<br>23     | 14<br>17             | <200<br><150 | 800<br>400           | 9,6<br>9,6                               |
| PS 150 • 12 • 425 | 12<br>24        | 87,7    | 425            | 250                      | 15<br>16     | 10<br>11             | <200<br><150 | 800<br>360           | 9,6<br>8,6                               |
| PS 150 • 12 • 625 | 12<br>24        | 87,7    | 625            | 250                      | 11<br>11     | 8,5<br>8,5           | <200<br><150 | 530<br>280           | 6,4<br>6,7                               |

Le fabricant donne (souvent) les valeurs du “rated torque” et “rated speed” avec différents rapports de transmission ainsi que la vitesse sans charge. On peut donc dessiner une approx de la courbe caractéristique du moteur.

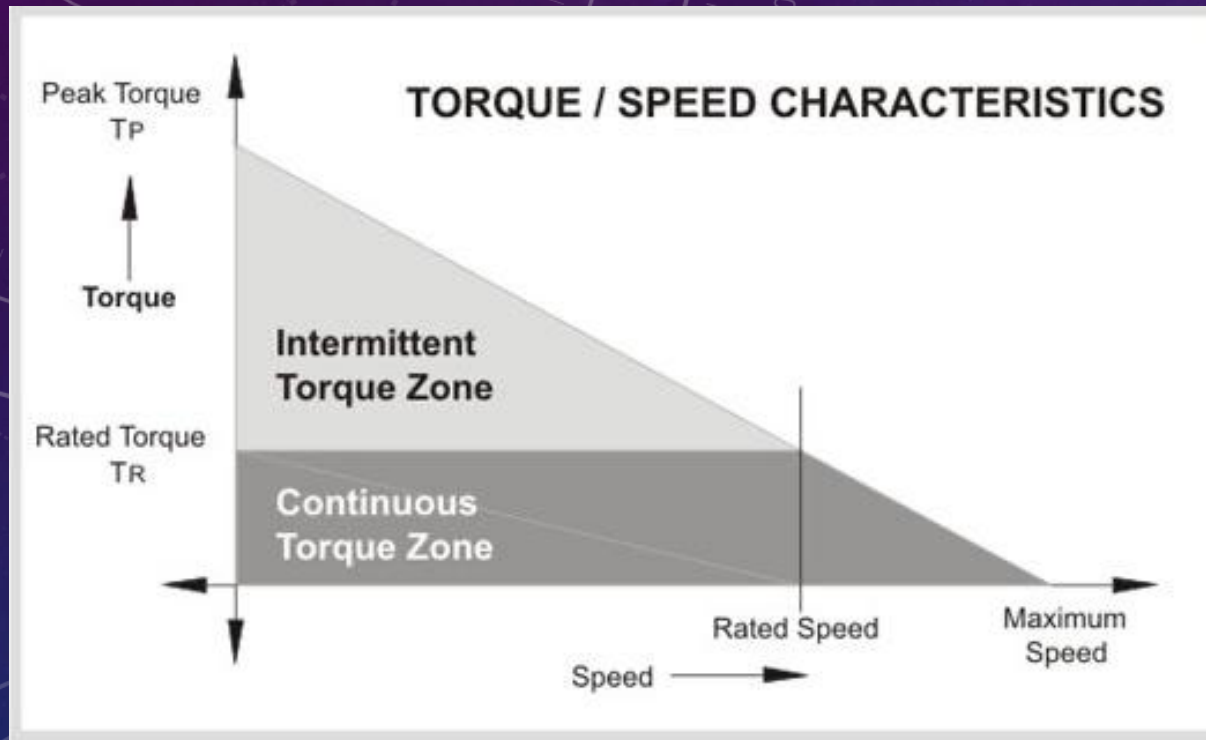


Datasheet d'un moteur pour différents rapports de transmission





# Choix de la taille d'un moteur DC avec réduction intégrée



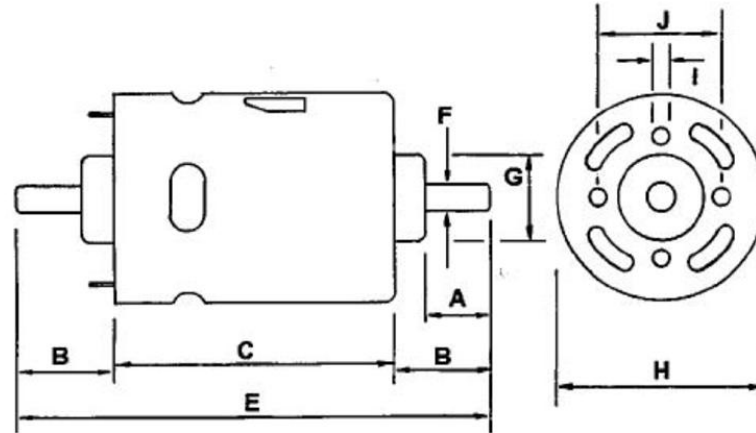
Si on doit accélérer la charge à une certaine vitesse et rester à cette vitesse :  
Déterminer les charges pendant accélération

Le moteur doit pouvoir délivrer le couple nécessaire pendant la phase d'accél (faire attention à ne pas rester dans la zone de couple intermittent)

Déterminer la charge pendant vitesse max et regarder si moteur peut délivrer le couple nécessaire



# Choix de la taille d'un moteur DC avec réduction intégrée



Weight 595g (approx)

| DIMENSIONS     | A     | B     | C     | D | E     | F     | G     | H     | I  | J     | K |
|----------------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|----|-------|---|
| MILLIMETER     | 13.2  | 20.5  | 69.0  |   | 110.0 | 6.350 | 21.75 | 51.8  | M5 | 32.0  |   |
| DECIMAL INCHES | 0.520 | 0.810 | 2.720 |   | 4.330 | 0.250 | 0.860 | 2.040 |    | 1.260 |   |

| MODEL | VOLTAGE         |                | NO LOAD |         | AT MAXIMUM EFFICIENCY |         |         |       |        |       | STALL TORQUE |      |
|-------|-----------------|----------------|---------|---------|-----------------------|---------|---------|-------|--------|-------|--------------|------|
|       | OPERATING RANGE | NOMINAL        | SPEED   | CURRENT | SPEED                 | CURRENT | TORQUE  |       | OUTPUT | EFF   | oz - in      | mN-m |
|       |                 |                | R.P.M.  | A       | R.P.M.                | A       | oz - in | mN-m  | W      | %     |              |      |
|       | 12.0v           | 12.0v CONSTANT | 9778    | 1.90    | 8311                  | 10.82   |         | 92.13 | 80.16  | 61.74 |              | 614  |

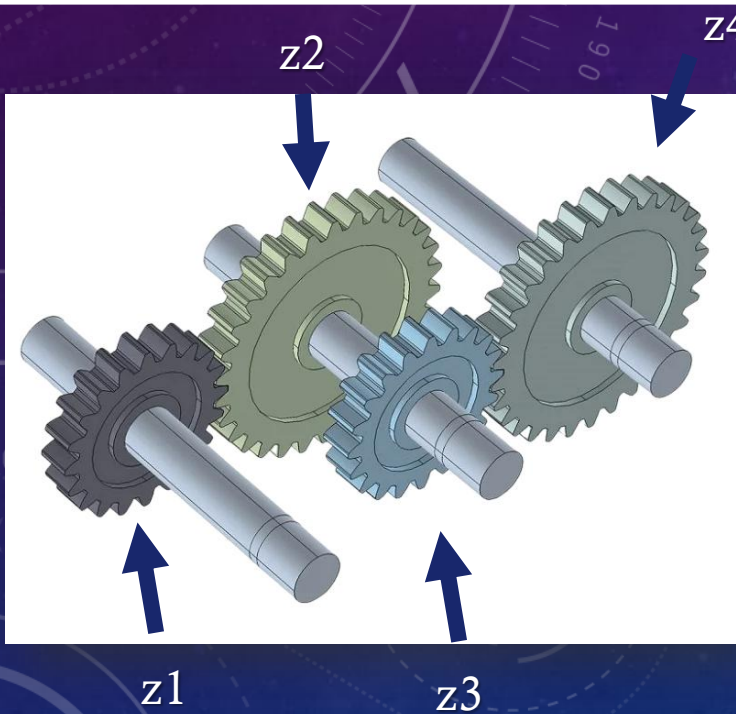
Stall Current at 12v = 61.34A

On peut simplement dessiner la courbe caractéristique du moteur sans réduction et le transformer à la courbe avec une réduction

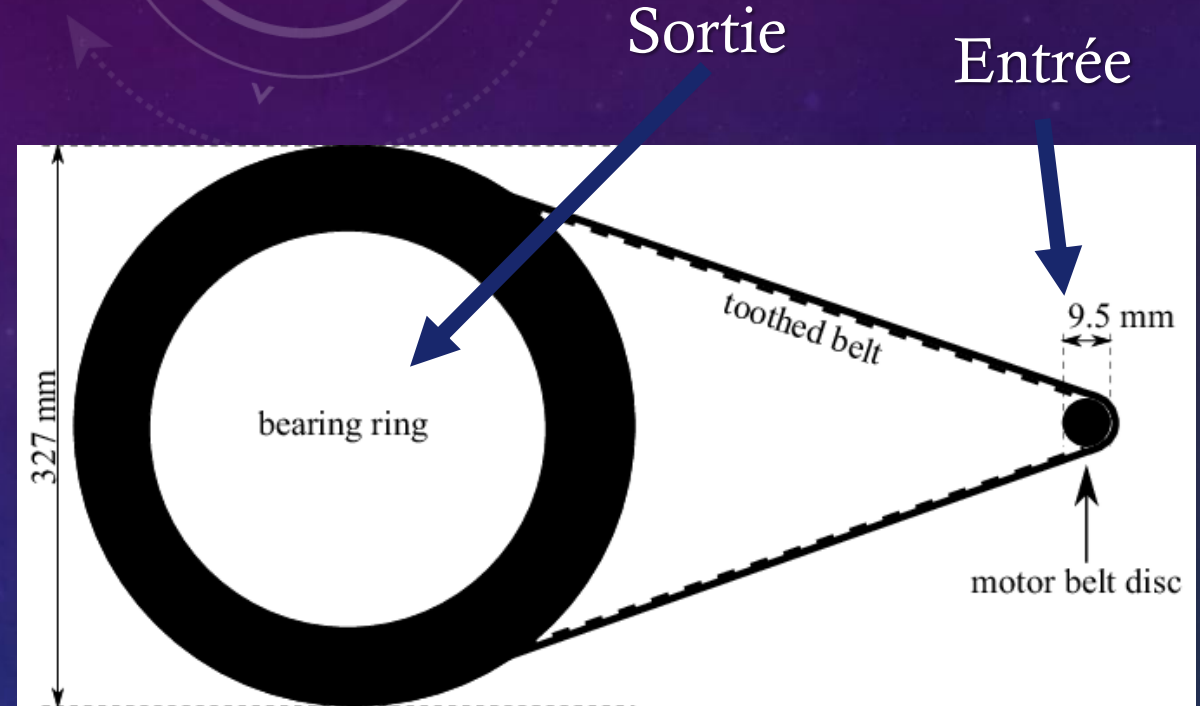


# Transmissions

On ne va pas rentrer dans les détails, designer une transmission n'est pas hyper simple



Rapport de réduction:  
 $i = (z2/z1) * (z4/z3)$

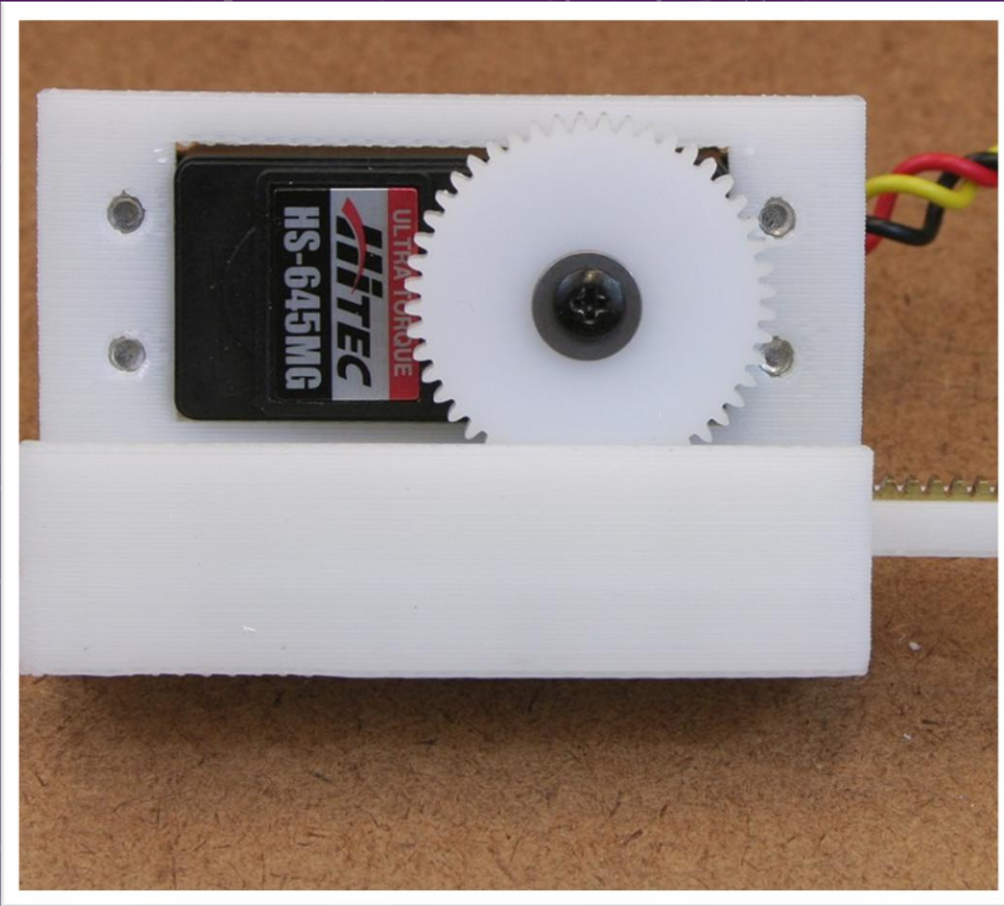


Rapport de réduction :  
 $i = d2/d1$





# Implémentation servomoteur

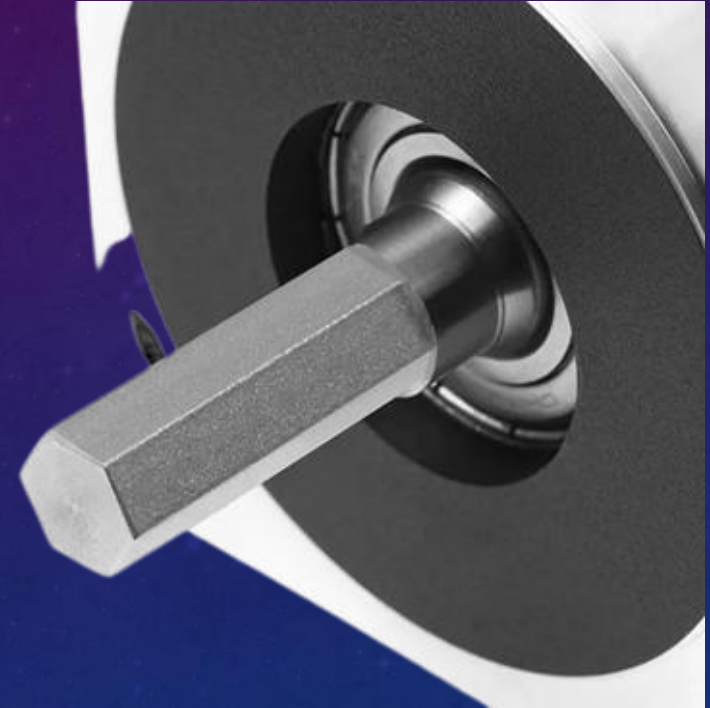


Il est aussi possible d'attacher des charges ou une transmission directement à l'arbre de sortie en vissant directement dans l'arbre de sortie.

Si on visse simplement un objet sans aucun accouplement l'objet peut glisser, ce qui limite le couple transmissible (peut causer des problèmes si on veut transmettre plus de couple mais peut être exploité comme limiteur de couple)



# Intégration moteur DC (et dérivés)



Accouplement flexible avec arbre moteur -> la pièce tient à l'arbre du moteur car en vissant la rainure comprime l'arbre

Une vis de serrage pousse contre l'arbre et guide la rotation de la pièce

Avec un carré/polygône d'entraînement il faut simplement coupler une pièce avec la forme adéquate



C'est la fin !

Questions ? Commentaires ?

