

## 1- PRÉSENTATION

Beaucoup d'applications nécessitent un couple de démarrage élevé. Le Moteur à Courant Continu (MCC) possède une caractéristique couple/vitesse de pente importante, ce qui permet de vaincre un couple résistant élevé et d'absorber les à coups de charge : la vitesse du moteur s'adapte à sa charge. D'autre part, la miniaturisation recherchée par les concepteurs trouve dans le moteur à courant continu une solution idéale, car il présente un encombrement réduit grâce à un bon rendement.

Le moteur à courant continu est utilisé quand on dispose d'une source d'alimentation continue (batterie par ex). Il se caractérise par des lois de fonctionnement linéaires qui rendent l'exploitation de ses caractéristiques faciles d'emploi.

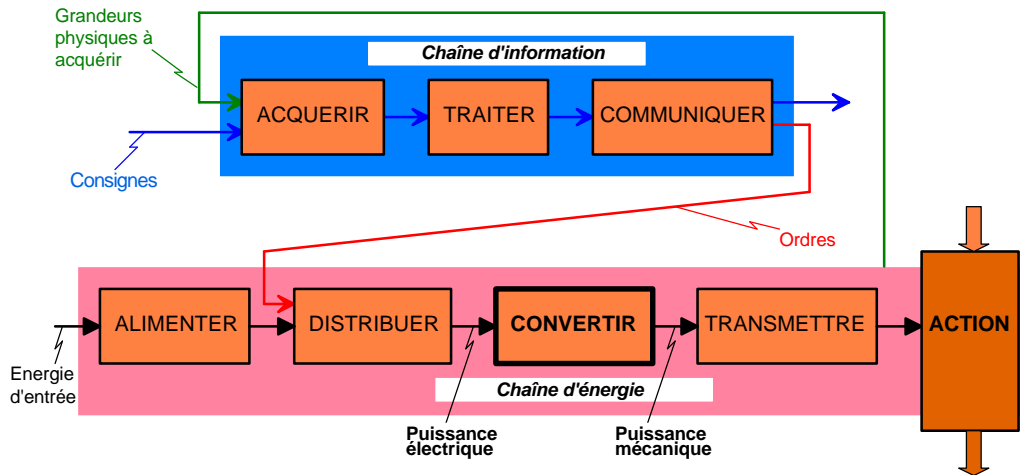
Exemple d'un moteur à courant continu :

- Puissance utile : 55 W.
- Poids : 300 g.
- Longueur : 83 mm.
- Diamètre : 47 mm.



## 2- IDENTIFICATION DE LA FONCTION TECHNIQUE RÉALISÉE

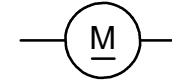
Les moteurs à courant continu réalisent la fonction CONVERTIR de la chaîne d'énergie :



La puissance absorbée est de type électrique caractérisée par :

La puissance utilisable est de type mécanique (rotation) caractérisée par :

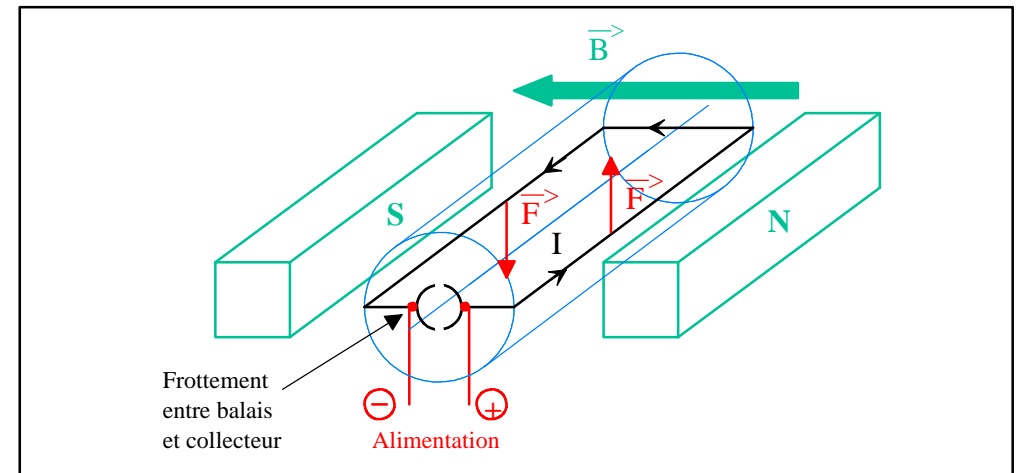
## 3- SYMBOLE



## 4- FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU

### 4.1- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le schéma de principe donné ci-après pour une spire permet de comprendre le fonctionnement d'un moteur à courant continu :



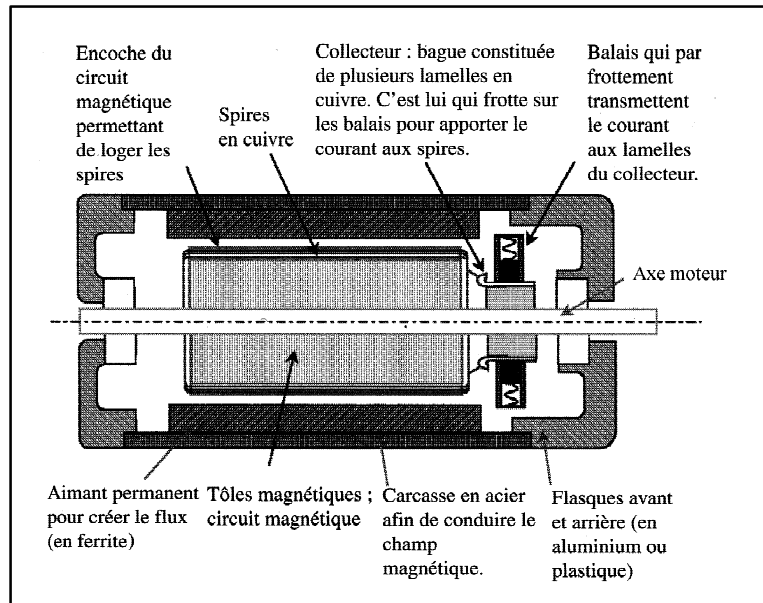
Les pôles Nord et Sud des aimants permanents créent un flux (champ magnétique  $\vec{B}$ ) dans le moteur.

La spire est alimentée et plongée dans ce flux. Elle est soumise à un couple de forces  $\vec{F}$  (force de Laplace). Le moteur se met en rotation. On dit qu'il y a création d'un couple moteur.

Les points représentent les balais (solidaires de la carcasse) qui frottent sur le collecteur. Compte tenu de la disposition des balais et du collecteur, le sens du courant  $I$  dans la spire change à chaque demi-tour, ce qui permet de conserver le même sens de rotation (sinon, la spire resterait en position d'équilibre).

En permutant les fils d'alimentation du moteur le courant dans la spire est inversé. Le couple qui s'applique est alors de sens contraire au précédent : le moteur change de sens de rotation. Par nature, le moteur à courant continu est un moteur à deux sens de rotation.

### 4.2. CONSTITUTION D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU



Le moteur est constitué d'une partie fixe : le stator (ou inducteur) et d'une partie tournante : le rotor (aussi appelé induit).

Le stator est formé d'une carcasse métallique et d'un ou plusieurs aimants créant un champ magnétique à l'intérieur du stator. Il porte également la partie porte-balais et balais qui assure les contacts électriques avec le rotor.

Le rotor est constitué d'une carcasse métallique. Il porte dans ses encoches les spires (faisceaux de fils ou bobines) reliées entre elles au niveau du collecteur. Le collecteur est une bague constituée de plusieurs lamelles en cuivre qui frottent sur les balais pour alimenter les bobines. Dès que le rotor se met à tourner, les balais changent de lame de collecteur (pour que le moment du couple de force produit soit toujours maximum).

### 4.3. DÉFINITIONS / RELATIONS

#### 4.3.1. FRÉQUENCE DE ROTATION, VITESSE ANGULAIRE

La fréquence de rotation  $N$  de l'arbre moteur est liée à la vitesse angulaire  $\omega$  :



- Avec :
- $N$  : fréquence de rotation en tr/min
  - $\omega$  : vitesse angulaire en rad/s

#### 4.3.2. FORCE ÉLECTROMOTRICE (FEM) E

Dans chaque spire alimentée, il se crée une force électromotrice. On définit  $E$  la somme de toutes les forces électromotrices des spires. Cette f.e.m est proportionnelle à la fréquence de rotation :



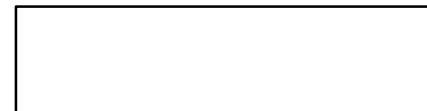
- Avec :
- $E$  : force électromotrice en V
  - $k$  : constante de couple en  $V/\text{rad.s}^{-1}$
  - $\omega$  : vitesse angulaire en rad/s

Cas particulier, **au moment du démarrage** :

$k$  est une constante qui dépend du nombre de spires et du nombre de pôles de l'inducteur. Elle peut être exprimée en  $N.m/A$  ou en  $V/\text{rad.s}^{-1}$ .

#### 4.3.3. COUPLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE $C_e$

Le couple électromagnétique  $C_e$  est proportionnel au courant  $I_m$  dans le moteur :



- Avec :
- $C_e$  : couple électromagnétique en  $N.m$
  - $k$  : constante de couple en  $N.m/A$
  - $I_m$  : courant dans l'induit du moteur en A

Attention : Le couple électromagnétique  $C_e$  n'est égal au couple utile disponible sur l'arbre moteur  $C_u$  que si les pertes constantes (pertes par frottement et pertes magnétiques) sont négligées.

#### 4.3.4. SCHÉMA ÉQUIVALENT

Le schéma électrique équivalent permet de modéliser l'induit du moteur :

A partir du schéma équivalent, on établit l'équation électrique :

Avec :

- $U_m$  : tension aux bornes du moteur en V
- $E$  : Force électromotrice en V
- $R$  : Résistance d'induit en  $\Omega$
- $I_m$  : courant dans l'induit en A

#### 4.4. BILAN DES PUISSANCES / RENDEMENT

##### 4.4.1. PUISSANCE UTILE $P_u$

C'est la puissance mécanique produite par le moteur pour entraîner la charge :

Avec :

- $P_u$  : puissance utile en W
- $C_u$  : couple utile en N.m
- $\omega$  : vitesse angulaire en rd/s

Cas particulier, à vide :

##### 4.4.2. PUISSANCE ABSORBÉE PAR LE MOTEUR $P_a$

Avec :

- $P_a$  : puissance absorbée en W
- $U_m$  : tension aux bornes de l'induit en V
- $I_m$  : courant dans l'induit en A

##### 4.4.3. PERTES

Pertes joules  $P_j$ , puissance dissipée par effet joule :  $P_j = R \times I_m^2$

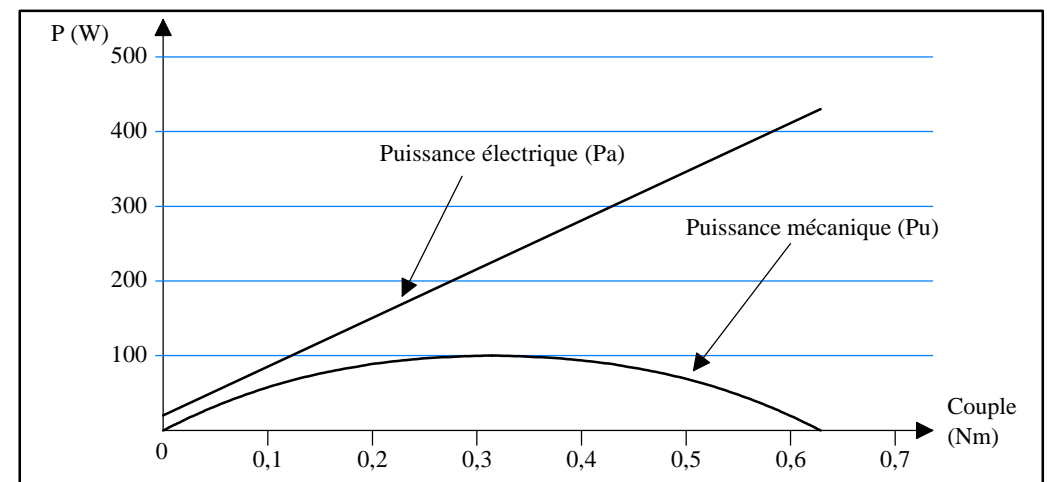
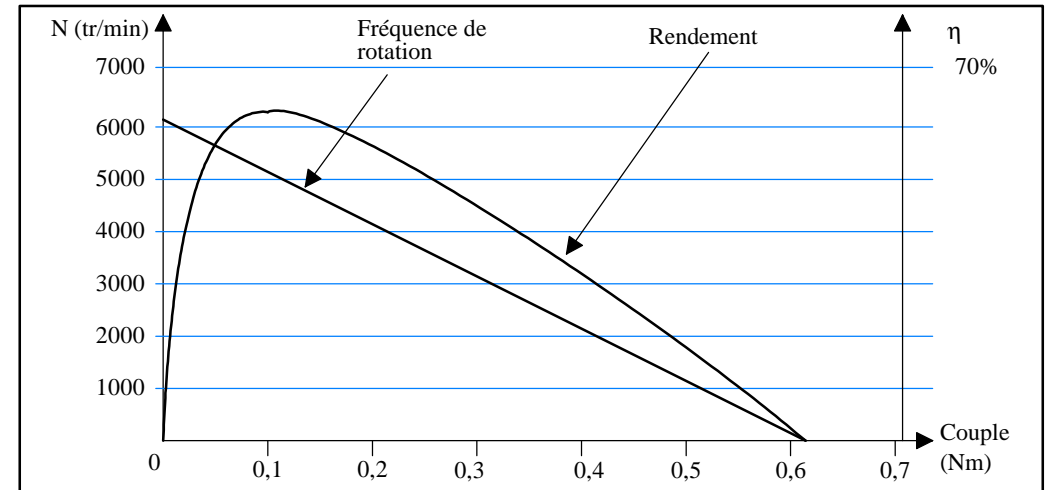
Pertes constantes  $P_c$  : ces pertes sont la somme des pertes mécaniques (puissance perdue par frottement) et magnétiques (saturation magnétique et courant de Foucault). Ces pertes peuvent se déterminer à vide.

##### 4.4.4. RENDEMENT $\eta$

#### 4.5. COURBES CARACTÉRISTIQUES

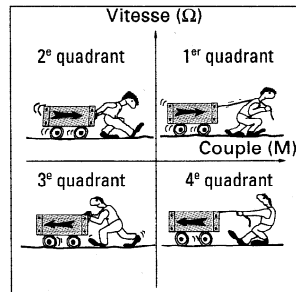
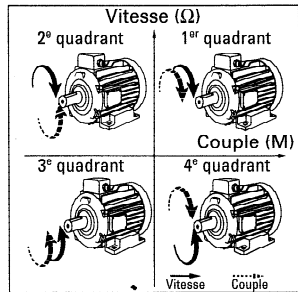
On donne ci-contre, les courbes caractéristiques d'un moteur à courant continu (Johnson Electric HC971 utilisé pour une tondeuse électrique).

Les grandeurs : fréquence de rotation, rendement, puissance électrique et puissance mécanique sont données en fonction du couple résistant sur l'arbre moteur pour une tension d'alimentation constante.



### 4.6. MODES DE FONCTIONNEMENT

Un moteur à courant continu est réversible : il peut fonctionner **en génératrice**. En faisant tourner le rotor du moteur sous l'action d'une force extérieure, on récupère une puissance électrique aux bornes des spires de l'induit du moteur (dynamo). Les dessins suivants illustrent les différents modes de fonctionnement du moteur (fonctionnement dans les quatre quadrants) :



Dans les quadrants 1 et 3 : \_\_\_\_\_

Dans les quadrants 2 et 4 : \_\_\_\_\_

### 5. ASSOCIATION MOTEUR + RÉDUCTEUR

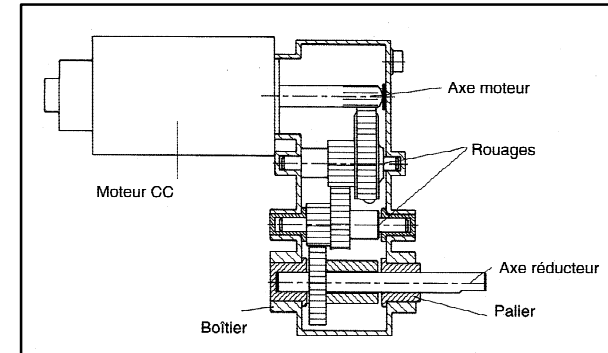
Les moteurs à courant continu sont construits pour fonctionner en permanence à une vitesse proche de leur vitesse à vide. Pour la plupart des applications, cette vitesse est trop élevée. Pour la réduire, un réducteur mécanique est associé au moteur et l'ensemble ainsi constitué est nommé **motoréducteur**. Les constructeurs proposent généralement une gamme de motoréducteurs dotés chacun d'une série de rapports, ce qui permet de couvrir une multitude d'applications.



RATIOS NOW AVAILABLE WITH RE 540/1 MOTOR.

- RATIO 2.5:1
- RATIO 6:1
- RATIO 11:1
- RATIO 50:1
- RATIO 148:1
- RATIO 810:1
- RATIO 3000:1

### 5.1. CONSTITUTION D'UN RÉDUCTEUR



### 5.2. RAPPORT DE RÉDUCTION R

C'est le rapport entre la fréquence de rotation  $N_r$  en sortie du réducteur et la fréquence de rotation du moteur  $N_m$  :



- Avec :
- R : rapport de réduction
  - $N_r$  : fréquence en sortie du réducteur
  - $N_m$  : fréquence de rotation du moteur

Pour éviter d'avoir à manipuler des nombres inférieurs à 1, l'usage veut que quand on parle du rapport de réduction d'un réducteur, on emploie le nombre  $1/R$ . Le fait que ce soit un réducteur et non un multiplicateur lève toute ambiguïté sur la signification du nombre employé.

### 5.3. CHOIX D'UN MOTORÉDUCTEUR

En fonction de la fréquence de rotation recherchée, on opte pour un moteur direct ou un motoréducteur :

- fréquence de rotation supérieure à 1000 tr/min → moteur direct ;
- fréquence inférieure à 1000 tr/min → motoréducteur.

#### 5.3.1. CHOIX DU MOTEUR

La partie moteur est choisie en fonction de la puissance utile nécessaire pour l'application. Le motoréducteur doit posséder une puissance utile supérieure ou égale à la puissance voulue. Ce choix s'effectue en vérifiant que le point de fonctionnement (couple et fréquence de rotation en sortie du motoréducteur) se trouve en dessous de la caractéristique nominale du motoréducteur choisi.

#### 5.3.2. CHOIX DU RAPPORT DE RÉDUCTION

Le principal critère de choix ne fait intervenir que la fréquence souhaitée en sortie du réducteur. Il satisfait à la majorité des applications rencontrées.

## 6• APPLICATIONS

### 6.1• DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES D'UN MOTEUR À PARTIR DES COURBES

On souhaite déterminer les caractéristiques techniques principales du moteur à courant continu Johnson Electric HC971 à partir des courbes de fonctionnement données page 3.

#### 6.1.1• CARACTÉRISTIQUE COUPLE-FRÉQUENCE DE ROTATION

Repérer sur la courbe la fréquence de rotation à vide  $N_0$  du moteur. Donner sa valeur :

---

Repérer sur la courbe le couple de démarrage  $C_{max}$  du moteur. Donner sa valeur :

---

#### 6.1.2• CARACTÉRISTIQUES NOMINALES DU MOTEUR (AU RENDEMENT MAX)

Repérer les courbes le point de fonctionnement nominal. compléter le tableau suivant en donnant la valeur nominale de chacune des caractéristiques :

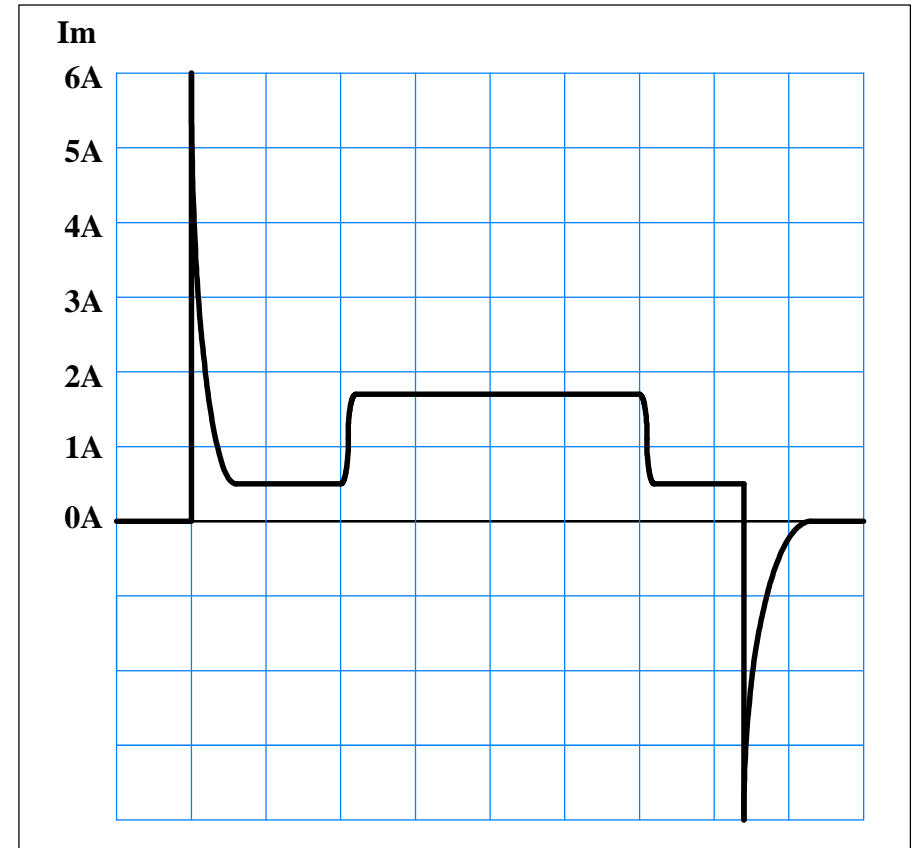
Fréquence de rotation (tr/min)	
Couple utile (N.m)	
Puissance utile (W)	
Puissance absorbée (W)	
Rendement (%)	

### 6.2• IDENTIFICATION DES PHASES DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR

Le graphe ci-contre donne la valeur du courant lors des différentes phases de fonctionnement d'un moteur d'entraînement d'une broche de machine à graver.

Repérer sur le graphes les différentes phases :

- démarrage (1) ;
- fonctionnement à vide (2) ;
- usinage (3) ;
- freinage (4).



### 6.3• DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS DU MODÈLE ÉQUIVALENT AU MOTEUR

Le moteur utilisé dans l'exercice 4.2 est alimenté sous une tension continue de 24V.

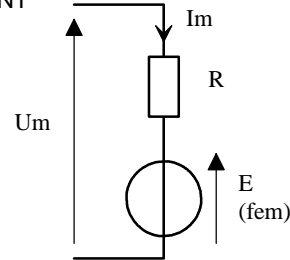
#### 6.3.1• VALEURS DU COURANT POUR LES DIFFÉRENTES PHASES

En utilisant le graphe ci-dessus, déterminer :

- $I_d$ , la valeur du courant de démarrage ;  $I_d =$  \_\_\_\_\_
- $I_o$ , le courant absorbé à vide ;  $I_o =$  \_\_\_\_\_
- $I_m$ , le courant en phase d'usinage.  $I_m =$  \_\_\_\_\_

## 6.3.2• CALCUL DES ÉLÉMENTS DU MODÈLE ÉQUIVALENT

On rappelle le schéma électrique équivalent au moteur :



✍ Quelle est la valeur de la fem  $E$  du moteur au moment du démarrage (justifier la réponse) :

---



---

✍ A l'aide du résultat précédent et des valeurs trouvées à la question 1, calculer  $R$  la résistance d'induit du moteur (présenter le détail des calculs) :

---



---



---

## 6.3.3• CALCUL DE LA FRÉQUENCE DE ROTATION DU MOTEUR

La constante de couple  $k$  vaut  $0,0527 \text{ Nm/A}$ . Elle peut aussi être exprimée en  $\text{V/rd/s}$ .

✍ Calculer la valeur de la fem  $E$  lors de la phase d'usinage :

---



---



---

✍ Calculer la fréquence de rotation du moteur (en  $\text{tr/min}$ ) lors de la phase d'usinage :

---



---



---

## 6.3.4• CALCUL DU RENDEMENT DU MOTEUR

On donne la valeur des pertes constantes :  $P_c = 8 \text{ W}$

✍ Calculer la puissance utile  $P_u$  :

---



---



---

✍ Calculer le rendement  $\eta$  du moteur :

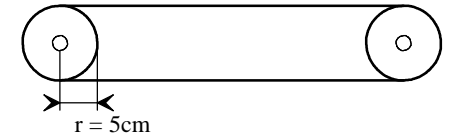
---



---

## 6.4• CHOIX D'UN MOTORÉDUCTEUR

Soit le système à tapis roulant suivant :



✍ L'arbre de sortie du motoréducteur est solidaire de l'axe de la roue entraîneuse. Le tapis doit avancer à une vitesse de  $0,5 \text{ m/s}$ . Calculer la fréquence de rotation  $N_r$  en sortie du motoréducteur en  $\text{tr/min}$  :

---



---



---

✍ On utilise un moteur RE 540/1 (doc. page 4) ayant une fréquence de rotation de  $13360 \text{ tr/min}$  auquel on associe un réducteur. Calculer le rapport de réduction  $R$  que doit avoir ce réducteur :

---



---

✍ Choisir le rapport de réduction adapté parmi ceux disponibles (page 4) :

---