

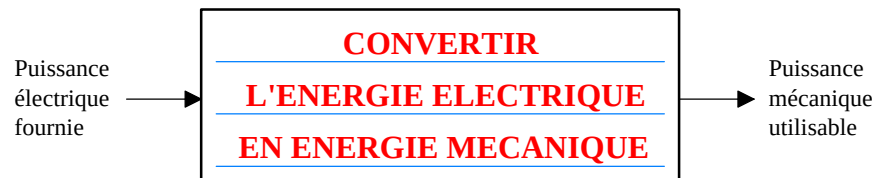
A• PRÉSENTATION

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.

Ce type de moteur se caractérise par des lois de fonctionnement linéaires, elles rendent l'exploitation de ses caractéristiques plus faciles d'emploi.

Exemple d'un moteur à courant continu :

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

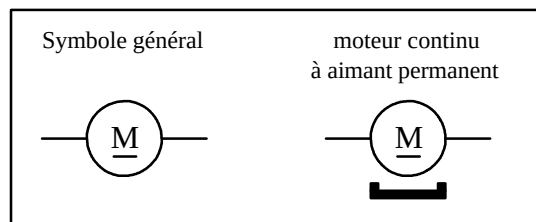
**I• FONCTION**

La puissance fournie est de type électrique :

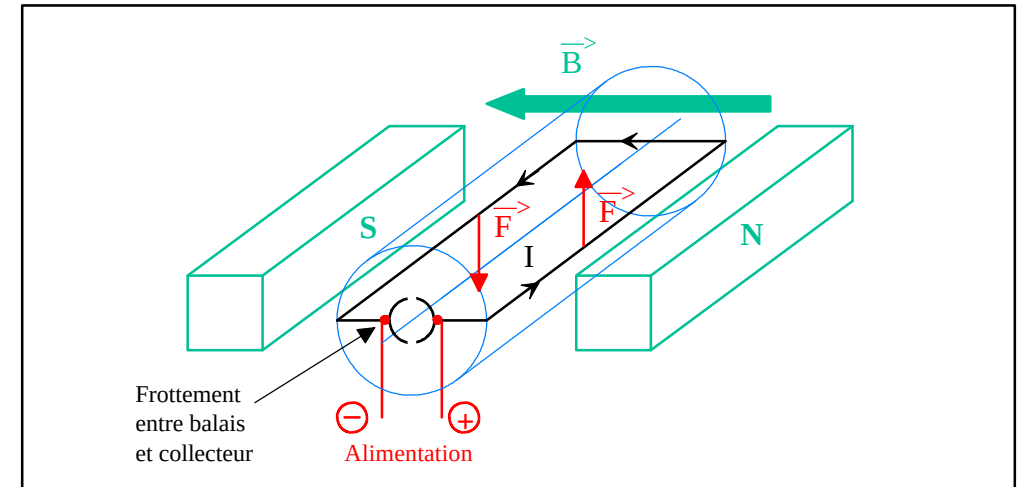
Courant (I) et tension (U) continus.

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

Le couple utile (C_u) et la vitesse de rotation (Ω)

II• SYMBOLE**B• FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU****I• 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.

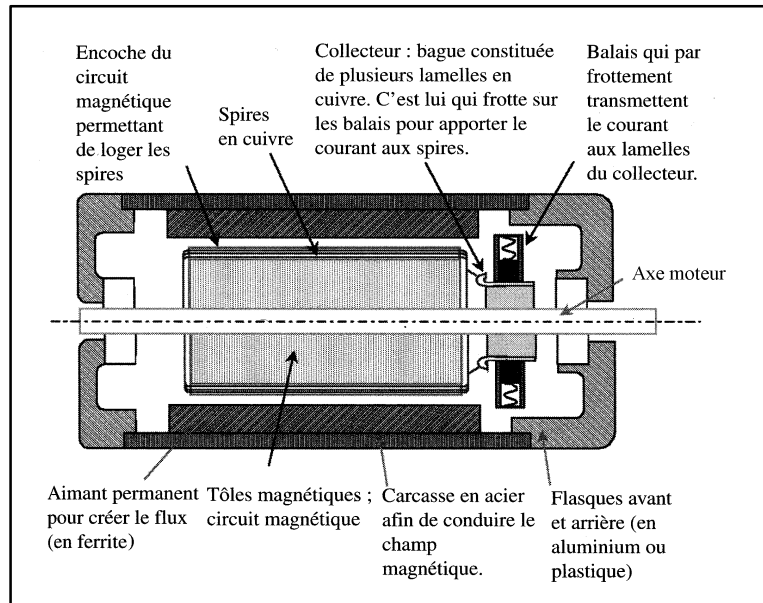
La spire est alimentée et plongée dans ce flux. Elle est soumise à un couple de forces $\vec{F}$ (force de Laplace). Le moteur se met en rotation. On dit qu'il y a création d'un couple moteur.

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).

On obtient un couple moteur plus élevé soit :

- en augmentant le nombre de spires.
- en augmentant le nombre de pôles d'aimants.

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.

II. 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 (auss 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).

III. DÉFINITIONS / RELATIONS**1. VITESSE**

Elle s'exprime soit en tours par minute (notée N en tr/min) soit en radians par seconde (notée Ω en rd/s) :

$$\Omega = N \times \frac{2\pi}{60}$$

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 vitesse de rotation :

$$E = k \times \Omega$$

Avec :

- E : force électromotrice en V
- k : constante de couple en V/rd/s
- Ω : vitesse angulaire en rd/s

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

La vitesse est nulle, la FEM E est nulle aussi.

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/rd/s.

3. COUPLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE Ce

Le couple électromagnétique Ce est proportionnel au courant Im dans le moteur :

$$Ce = k \times I$$

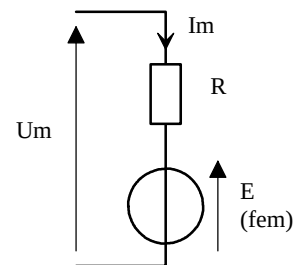
Avec :

- Ce : couple électromagnétique en N.m
- k : constante de couple en N.m/A
- Im : courant dans l'induit du moteur en A

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

4. SCHÉMA ÉQUIVALENT

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



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

$$Um = E + R Im$$

Avec :

- Um : tension aux bornes du moteur en V
- E : Force électromotrice en V
- R : Résistance d'induit en Ω
- Im : courant dans l'induit en A

IV. BILAN DES PUISSANCES / RENDEMENT**1. PUISSANCE UTILE P_u**

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

$$P_u = C_u \times \Omega$$

Avec :

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

Cas particulier, à vide :

La puissance utile P_u est nulle.

2. PUISSANCE ABSORBÉE PAR LE MOTEUR P_a

$$P_a = U_m \times I_m$$

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

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. RENDEMENT η

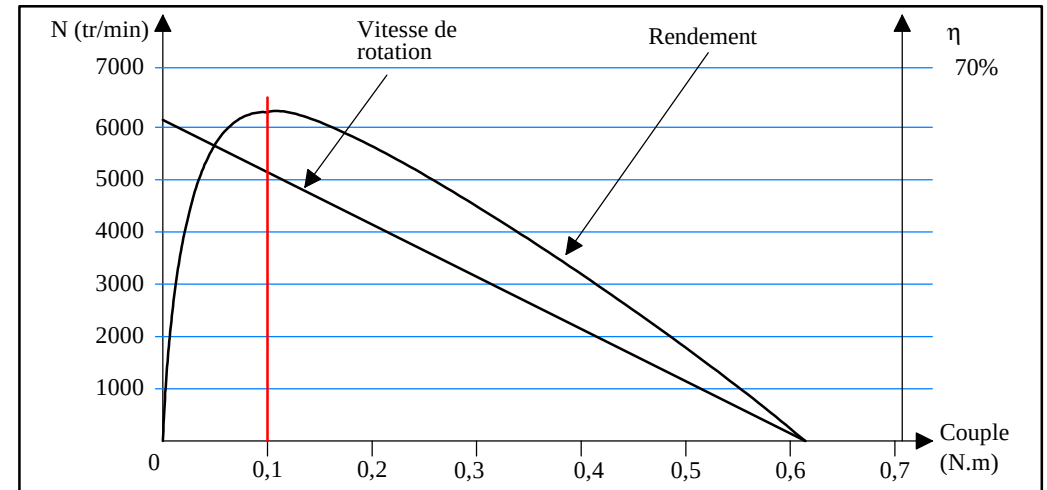
$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{C_u \times \Omega}{U_m \times I_m}$$

$$P_u = P_a - P_j - P_c$$

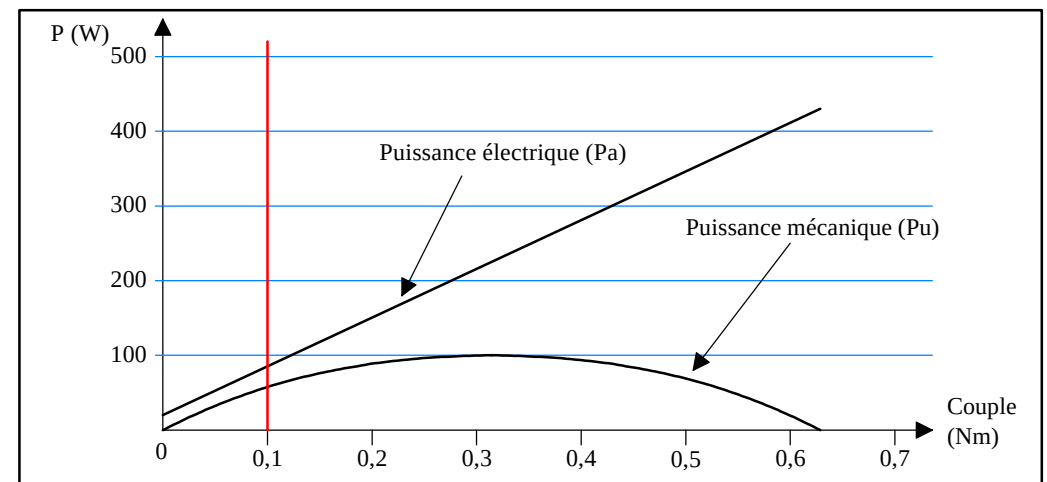
V. COURBES CARACTÉRISTIQUES

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

Les grandeurs : vitesse 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.



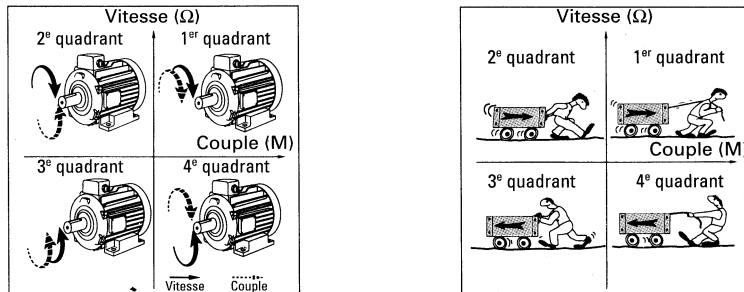
Le couple fourni par le moteur et sa vitesse de rotation sont dépendants.
cette caractéristique est linéaire. Elle permet de connaître la vitesse à vide
et le couple de démarrage du moteur.



La Puissance utile se déduit de la courbe vitesse-couple du moteur.
La puissance absorbée augmente avec le couple car I est proportionnel à C.
Les caractéristiques nominales du moteur sont définies pour η_{max} .

VI. 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 : **fonctionnement en moteur**

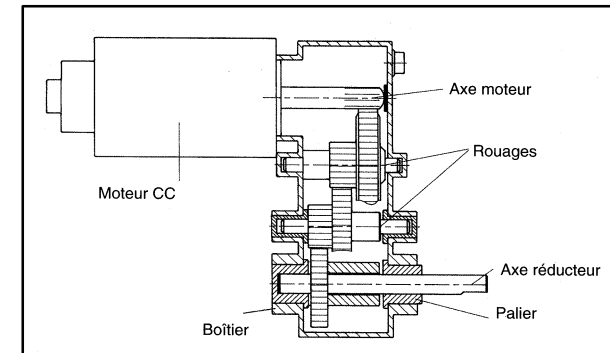
(le moteur fournit une puissance mécanique).

Dans les quadrants 2 et 4 : **fonctionnement en freinage ou génératrice.**

(le moteur absorbe une puissance mécanique).

C. 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.

**I. CONSTITUTION D'UN RÉDUCTEUR****II. RAPPORT DE RÉDUCTION R**

C'est le rapport entre la vitesse N_r en sortie du réducteur et la vitesse du moteur N_m :

$$R = \frac{N_r}{N_m}$$

Avec :

- R : rapport de réduction
- N_r : vitesse en sortie du réducteur
- N_m : vitesse 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.

III. CHOIX D'UN MOTORÉDUCTEUR

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

- vitesse de 1000 à 5000 tr/min → moteur direct ;
- vitesse inférieure à 1000 tr/min → motoréducteur.

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 vitesse en sortie du motoréducteur) se trouve en dessous de la caractéristique vitesse-couple nominale du motoréducteur choisi.

2. CHOIX DU RAPPORT DE RÉDUCTION

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

D• APPLICATIONS**I• 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.

1• CARACTÉRISTIQUE COUPLE-VITESSE

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

$$N_0 = 6200 \text{ tr/min}$$

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

$$C_{\max} = 0,62 \text{ N.m}$$

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 :

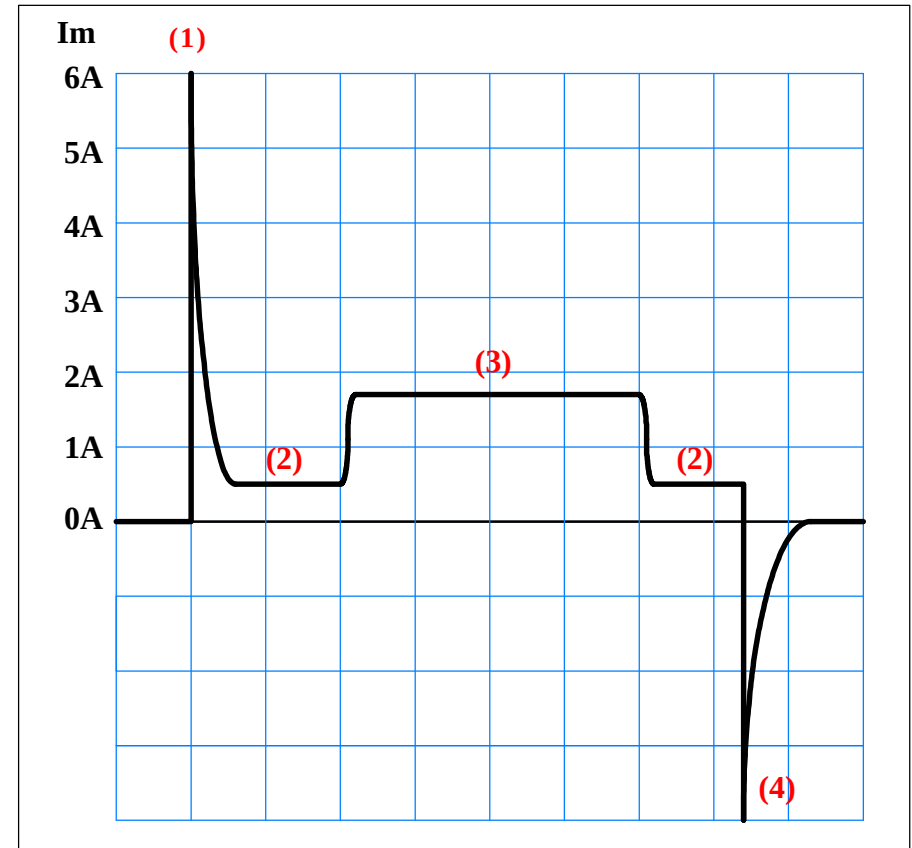
Vitesse de rotation (tr/min)	5 100
Couple utile (N.m)	0,1
Puissance utile (W)	55
Puissance absorbée (W)	90
Rendement (%)	62

II• 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).

**III• DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS DU MODÈLE ÉQUIVALENT AU MOTEUR**

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

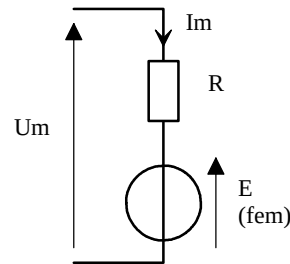
1• VALEURS DU COURANT POUR LES DIFFÉRENTES PHASES

En utilisant le graphe ci-dessus, déterminer :

- I_d , la valeur du courant de démarrage. $I_d = 6 \text{ A}$
- I_o , le courant absorbé à vide. $I_o = 0,5 \text{ A}$
- I_m , le courant en phase d'usinage. $I_m = 1,7 \text{ A}$

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) :

$$E = k \cdot \Omega$$

Au démarrage, la vitesse est nulle donc $E = 0$

✍ 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) :

$$U = E + R I \quad U = R \cdot I \quad R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{24}{6} = 4 \, \Omega$$

3. CALCUL DE LA VITESSE DE ROTATION DU MOTEUR

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

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

$$U = E + R I \quad E = U - R \cdot I$$

$$E = 24 - 4 \cdot 1,7 = 17,2 \text{ V}$$

✍ Calculer la vitesse de rotation du moteur (en tr/min) lors de la phase d'usinage :

$$E = k \cdot \Omega \quad \Omega = \frac{E}{k} = 326 \text{ rd/s} \quad N = \frac{326 \cdot 60}{2 \pi} = 3116 \text{ tr/min}$$

4. CALCUL DU RENDEMENT DU MOTEUR

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

✍ Calculer la puissance utile P_u :

$$P_u = P_a - P_c - P_j = 24 \times 1,7 - 8 - 4 \times 1,7^2$$

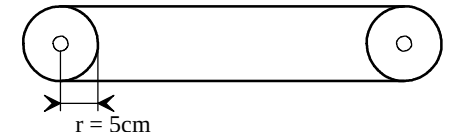
$$P_u = 40,8 - 8 - 11,6 = 21,2 \text{ W}$$

✍ Calculer le rendement η du moteur :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{21,2}{40,8} = 52 \%$$

IV. 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 m/s. Calculer la vitesse de rotation N_r en sortie du motoréducteur en tr/min :

$$V = r \cdot \Omega \quad \Omega = \frac{V}{r} = 10 \text{ rd/s}$$

$$N_r = \frac{10 \cdot 60}{2 \pi} = 95 \text{ tr/min}$$

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

$$R = \frac{N_r}{N_m} \quad R = \frac{95}{13360} = 0,007$$

Le rapport de réduction (1/R) sera de 140

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

On prendra le motoréducteur ayant le rapport de réduction de 148