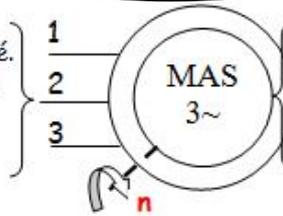


Résumé du cours

Constitution

Stator alimenté par le réseau triphasé. Il crée un champ tournant à la vitesse de synchronisme $ns = f/p$. Il est couplé en étoile ou en triangle.

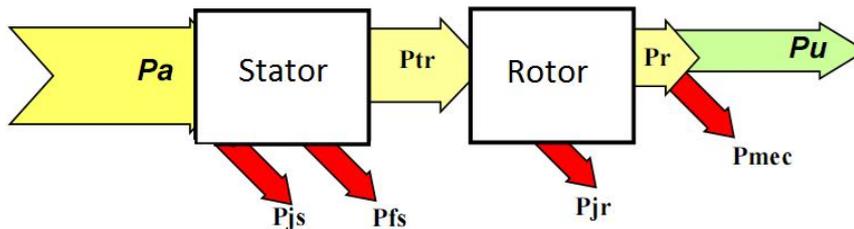


Rotor, sous l'action du champ tournant, crée des courants rotoriques engendrant des forces et un couple électromagnétique. Il existe 2 types de rotor : rotor à cage et rotor bobiné.

Caractéristiques :

- Glissement : $g = (ns - n)/ns$
- Vitesse: $n = ns (1-g)$
- Couple: $Cu=f(n)$ est une droite dans sa partie utile : $Cu = k.g = a.n + b$ ($a < 0$).
- Point de fonctionnement - Equilibre : $n = c^{te} \Rightarrow Cu = Cr$ intersection de $Cu(n)$ et $Cr(n)$.

Bilan des puissances et Rendement :



- Puissance absorbée : $Pa = \sqrt{3} UI \cos \varphi$
- Pertes joule dans le stator : $pjs = 3.r.I^2(Y) = 3.r.J^2(\Delta) = 3/2.R.I^2$ (\forall couplage). $\left\{ \begin{array}{l} r : \text{résistance d'un enroulement} \\ R : \text{résistance entre phases} \end{array} \right.$
- Puissance transmise au rotor : $Ptr = Pa - pjs - pfs = Ce.\Omega s$
- pertes joules au rotor : $pjr = g Ptr$
- Pertes dites constantes : $Pc = pfs + pm$
- Puissance utile : $Pu = Cu.\Omega = Pa - \Sigma \text{pertes}$
- Rendement : $\eta = Pu/Pa = (Pa - pjs - pfs - pjr - pm) / Pa$.

Démarrage des moteurs asynchrones triphasés :

Le moteur possède un fort couple de démarrage, mais il a l'inconvénient d'absorber de 4 à 8 I_N . Pour réduire cet appel de courant on dispose de différents procédés de démarrage:

Démarrage étoile-triangle :

Ce mode de démarrage consiste à coupler le stator en étoile pendant le démarrage, puis à rétablir le couplage en triangle. Il se fait en 2 temps :

- **Premier temps** : l'intensité absorbée est divisée par 3.
- **Second temps** : 2 à 3 secondes après, on bascule en triangle puis on y reste.

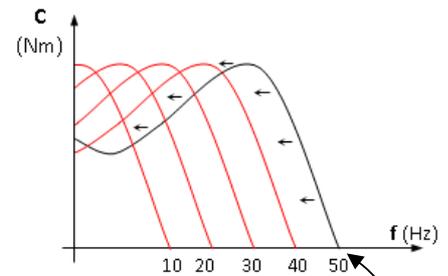
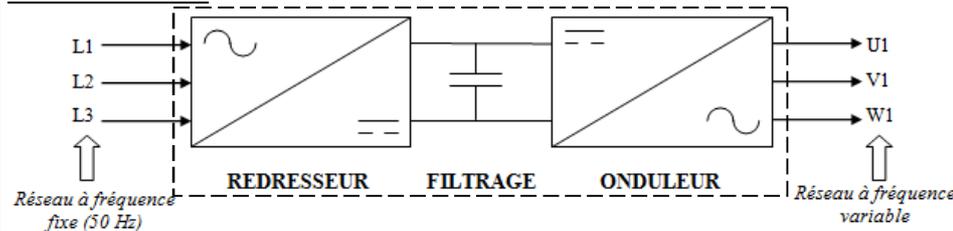
Inconvénient : le couple au démarrage est également divisé par 3.

Démarrage par gradateur de tension (démarrateur électronique) :

Le moteur asynchrone triphasé est alimenté par l'intermédiaire d'un gradateur qui provoque la montée progressive de la tension. On peut réduire l'intensité de démarrage à une valeur précise en agissant sur l'angle de commande des thyristors.

Variateurs industriels pour moteur asynchrone

Structure interne



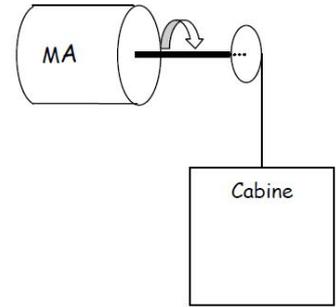
- Un **redresseur** (monophasé ou triphasé) permettant d'élaborer une source de tension continue.
- Un **circuit de filtrage** (permettant l'obtention d'un signal pratiquement continu).
- Un **onduleur triphasé autonome** qui recrée à partir de la tension continue fixe un réseau de tension alternative triphasé de fréquence et de tension variable

Couple à $U/f = cte$

Les caractéristiques du couple moteur pour différentes fréquences d'alimentation opèrent une translation sur la gauche

EXERCICE 1 : L'énergie de l'ascenseur est fournie par un moteur asynchrone triphasé alimenté par le réseau $U = 400V/50Hz$, il absorbe un courant $I = 50 A$ et tourne à une vitesse de $n = 1450 \text{ tr/min}$.

Sur la plaque signalétique on peut lire que le facteur de puissance est $\cos \varphi = 0,86$ et qu'il possède 2 paires de pôle. En mesurant avec un ohmmètre entre 2 bornes du stator on trouve une résistance $R = 0,15 \Omega$. Les pertes fer au stator sont de $P_{fs} = 500W$, on négligera les pertes mécaniques dans le moteur ainsi que les pertes fer au rotor. Ce moteur entraîne un treuil qui soulève une charge à la vitesse de $V = 4m/s$, le treuil à un rendement de $\eta_t = 0,75$.



Déterminer :

1. La vitesse de synchronisme n_s :

.....

2. Le glissement g :

.....

3. Les pertes joules au stator P_{js} :

.....

4. La puissance absorbée P :

.....

5. La puissance transmise au rotor P_{tr} :

.....

6. Les pertes joules au rotor P_{jr} :

.....

7. La puissance utile P_u :

.....

8. Le couple utile C_u :

.....

9. Le rendement du moteur η_m :

.....

10. La charge soulevée par le treuil M :

.....

.....

.....

.....

EXERCICE 2 : L'éolienne permet d'alimenter plusieurs récepteurs dont un moteur asynchrone qui entraîne une pompe. Le réseau $130V/230V, 50 \text{ Hz}$ alimente le moteur asynchrone triphasé de $1,1 \text{ kW}$ dont la plaque signalétique est donnée ci-contre :

1. Déterminer le couplage des enroulements du stator.

.....

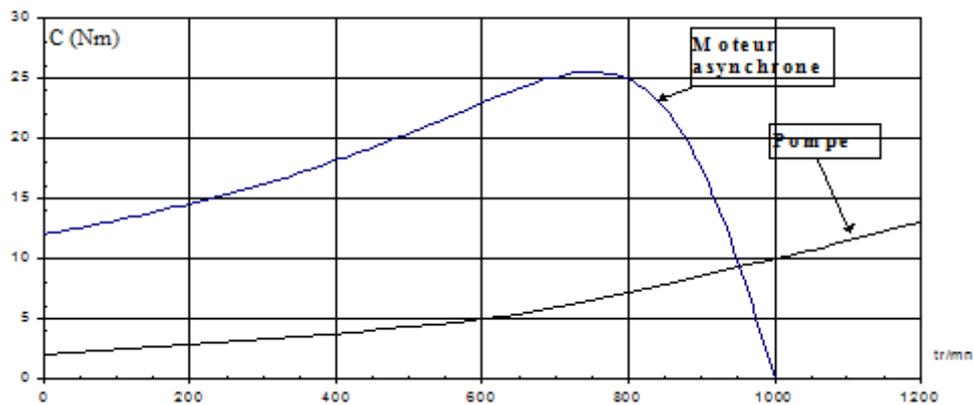
| | | | | | |
|----------------|----|-------------------|--------------------|-------|-----|
| Mot.3 LS 80LT | | | | | |
| IP 55I cl F | | | N°5188565 BJ 017kg | | S1 |
| | | | 40°C | | |
| V | Hz | min ⁻¹ | kW | cos φ | A |
| D 230 | 50 | 935 | 1,1 | 0,78 | 4,8 |
| Y 400 | | | | | 2,8 |
| Made in France | | | | | |

2. Quelle est la valeur efficace de l'intensité du courant traversant un enroulement au régime nominal ?

3. Calculer la puissance active absorbée par le moteur au régime nominal.

4. Quels composants peut-on ajouter pour améliorer le facteur de puissance de ce récepteur ? Proposer un schéma de branchement de ces composants permettant de conserver la charge équilibrée :

5. Les caractéristiques mécaniques du moteur et de la pompe sont données sur la figure ci-dessous :



5.1. Déterminer la fréquence de rotation du moteur et calculer le glissement :

5.2. Déterminer le moment du couple exercé par la pompe.

EXERCICE 3 : Un moteur asynchrone triphasé hexapolaire est alimenté par un réseau triphasé : 230/400 V – 50 Hz. La résistance mesurée à chaud entre deux bornes du stator couplé est $R = 0,8 \Omega$.

L'essai nominal a donné les résultats suivants : $g = 6 \%$, $P_a = 12,3 \text{ KW}$ et $Q = 8,83 \text{ KVAR}$. Déterminer :

1. le facteur de puissance :

2. l'intensité efficace du courant en ligne :

3. les pertes statoriques par effet Joule :

4. la fréquence de rotation :

Sachant que les pertes statoriques dans le fer et les pertes mécaniques sont égales et valent 550 W, déterminer :

5. les pertes par effet Joule rotoriques :

6. la puissance utile et le moment du couple utile :

7. le rendement :

Le moteur entraîne une charge mécanique dont la caractéristique peut être assimilée à une droite passant par les points (690 tr/min ; 60 Nm) et (1000 tr/min ; 40 Nm).

On assimilera la partie utile de la caractéristique du moteur à une droite passant par les points ($n = n_s$; $C_u = 0$) et ($n = n_N$; $C_u = C_{uN}$).

8. Déterminer la fréquence de rotation du groupe moteur et charge :

9. Déterminer la valeur du couple utile :

10. Calculer la puissance utile développée par le moteur :

EXERCICE 4 : Un moteur asynchrone à rotor bobiné possède 4 pôles. Il est couplé en étoile. Dans tout le problème, il entraîne une machine lui imposant un couple constant de moment $C_r = 40 \text{ N.m}$.

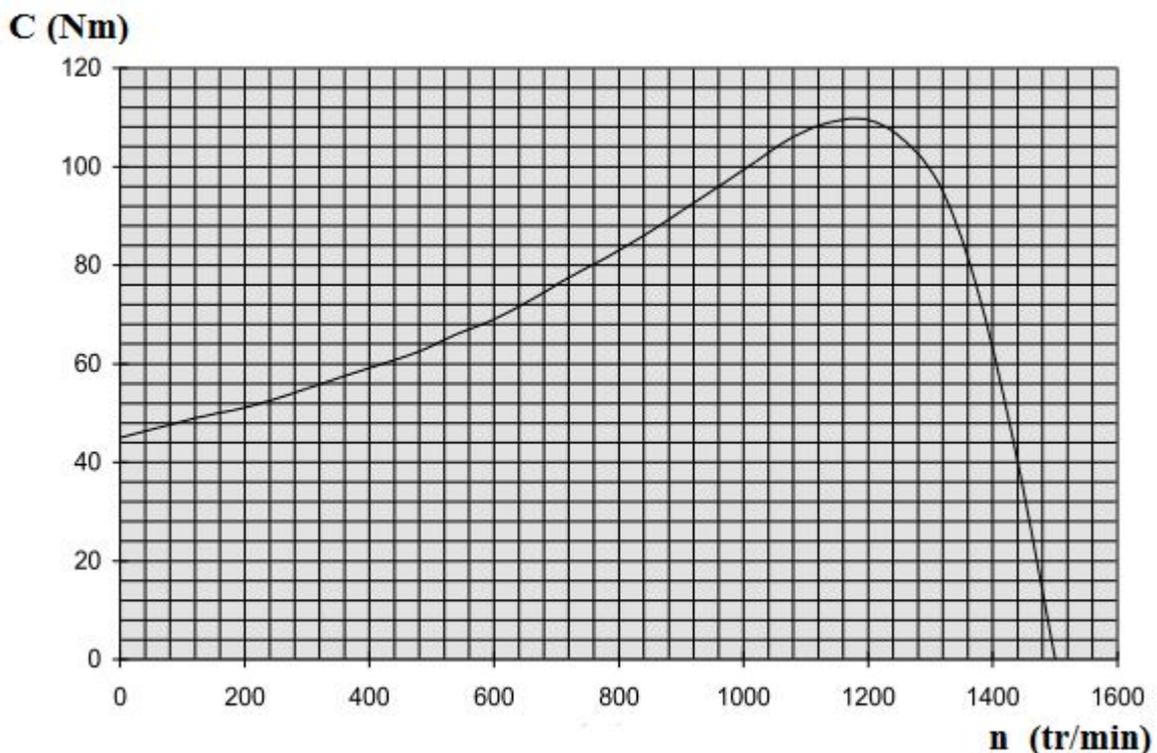
Les pertes mécaniques sont suffisamment faibles pour que l'on puisse les négliger devant les autres puissances mises en jeu et considérer que le couple utile est égal au couple électromagnétique.

La résistance de chaque enroulement du stator est $r = 0,5 \Omega$.

I. Le moteur est alimenté par un réseau de tension composée 380 V - 50 Hz.

Dans ces conditions :

- il absorbe un courant d'intensité : $I = 14,5 \text{ A}$;
- les pertes magnétiques sont : $P_{fs} = 150 \text{ W}$;
- la caractéristique du couple C (en N.m) en fonction de la fréquence de rotation n (en tr/min) est donnée figure ci-dessous :



1. Dire pourquoi on peut réaliser le démarrage direct du moteur en charge.

2. Quelle est la vitesse de rotation de synchronisme n_s en tr/min ?

3. Utiliser la caractéristique $C(n)$ de la figure ci-dessus pour trouver la fréquence de rotation en charge. En déduire la valeur du glissement.

4. Calculer la puissance utile du moteur.

5. Calculer le rendement du rotor et les pertes par effet Joule au rotor. (On rappelle que le couple électromagnétique ou couple transmis au rotor est égal au couple utile).

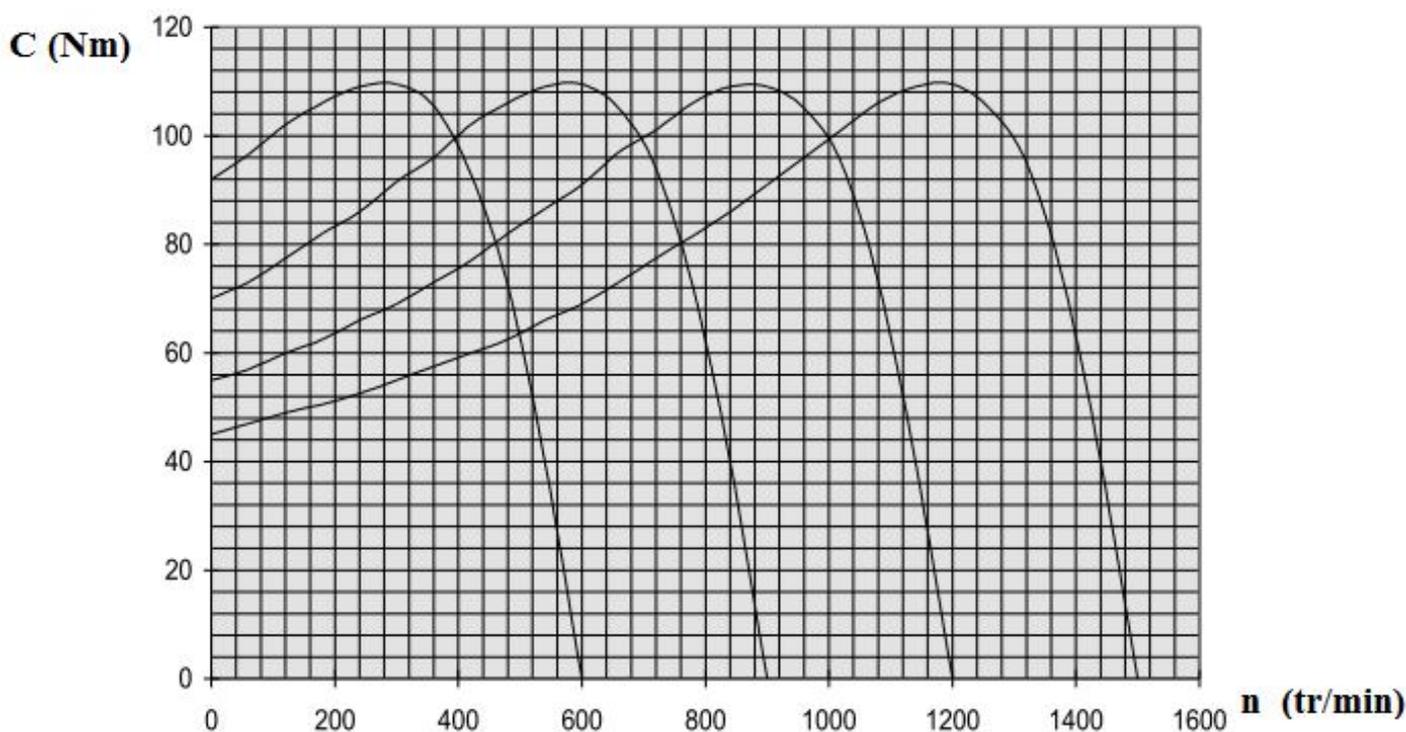
Calculer les pertes par effet Joule au stator.

Calculer la puissance absorbée par le moteur, son rendement et son facteur de puissance.

II. On se propose de faire varier la fréquence de rotation du moteur de façon à réaliser le point de fonctionnement suivant : $C = 40 \text{ N.m}$; $n = 1140 \text{ tr/min}$

On fait varier la fréquence f du réseau d'alimentation, de même que la tension V aux bornes de chaque enroulement du moteur, en imposant le rapport $V/f = \text{constante}$.

Les caractéristiques $C(n)$ avec f comme paramètre sont données figure ci-dessous :



1. Quelle doit être la fréquence f pour réaliser le même point de fonctionnement que ci-dessus ($C = 40 \text{ N.m}$; $n = 1140 \text{ tr/min}$) ?

.....
Calculer le glissement.

.....
Quelle doit être la valeur de la tension d'alimentation ?

Activité 16

Exercices: Moteur asynchrone

EXERCICE 1 : Une pompe est entraînée par un moteur asynchrone triphasé tétrapolaire, alimenté par un secteur triphasé **50 Hz** entre les phases duquel on mesure une tension de **380V**.

On effectue un essai en charge et on obtient les résultats ci-dessous :

- intensité du courant en ligne : **$I = 6,25 \text{ A}$** ;
- puissance électrique absorbée : **$P = 3,25 \text{ kW}$** ;
- vitesse de rotation : **$n = 1420 \text{ tr/min}$** .
- Le rendement du moteur est alors de **0,82**.

Les trois enroulements du moteur fonctionnent normalement sous une tension de **220V**.

1. Préciser et justifier le couplage des enroulements sur le secteur.

Calculer :

- | | |
|---|---|
| 1. La fréquence de synchronisme n_s . | 3. Le facteur de puissance du moteur. |
| 2. Le glissement g . | 4. La puissance mécanique fournie. |
| | 5. Le moment du couple utile du moteur. |

EXERCICE 2 : On désire assurer la ventilation d'un parking souterrain à l'aide de plusieurs ventilateurs. Chaque ventilateur est actionné par un moteur asynchrone triphasé, possédant deux paires de pôles, et alimenté par un système de tensions triphasées **220V/380V ; 50 Hz**. Les moteurs sont identiques.

On désigne par :

- T_u le moment du couple utile d'un moteur ;
- T_r le moment du couple résistant d'un ventilateur ;
- n la fréquence de rotation de chaque groupe moteur-ventilateur.

La caractéristique $T_u = f(n)$ d'un moteur est une portion de droite passant par deux points dont les coordonnées sont (**1425 tr/min, 20 Nm**) et (**1500 tr/min, 0 Nm**).

La caractéristique $T_r = f(n)$ d'un ventilateur passe par les points suivants :

| | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| n (tr/min) | 1400 | 1425 | 1450 | 1475 | 1500 |
| T_r (Nm) | 14,8 | 15,1 | 15,8 | 16,7 | 17,9 |

- 1- Déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement d'un ensemble moteur-ventilateur. Echelles proposées : **1 cm \Leftrightarrow 10 tr/min** et **1 cm \Leftrightarrow 1 Nm**
- 2- Dédurre des résultats précédents la puissance utile d'un moteur et son glissement.
- 3- Pour le point de fonctionnement déterminé ci-dessus, le facteur de puissance de l'installation est **$\cos \varphi = 0,77$** et la valeur efficace de l'intensité du courant en ligne est **$I = 5,6 \text{ A}$** . Calculer la puissance absorbée par chaque moteur et son rendement.

EXERCICE 3 : Un moteur asynchrone triphasé porte sur sa plaque signalétique les indications suivantes :

- tensions entre phases **220V/380V ; 50Hz**.
- puissance mécanique : **13 kW** ;
- rendement : **0,82** ;
- facteur de puissance : **0,80** ;
- fréquence de rotation : **1410 tr/min**.

Les trois enroulements du moteur fonctionnent normalement sous une tension peu différente de **220V**.

1. Quel type de couplage du stator doit-on effectuer pour obtenir un fonctionnement avec :

- une alimentation **127V/220V, 50 Hz** ?
- une alimentation **220V/380V, 50 Hz** ?

2. Le moteur fonctionne sur le secteur **220V/380V, 50 Hz**. Définir et calculer :

- 2.1. Les puissances active et réactive ;
- 2.2. L'intensité en ligne ;
- 2.3. Le nombre de pôles et le glissement ;
- 2.4. Le moment du couple utile.

EXERCICE 4 : Un moteur asynchrone à rotor bobiné et à bagues est alimenté par un réseau triphasé 50Hz, 220V/380V. Le couplage de l'enroulement stator est en triangle, celui du rotor est en étoile. En mesurant à chaud la résistance entre 2 bornes on trouve au stator $R_S = 0,267 \Omega$ et au rotor $R_R = 0,1 \Omega$.

Un essai à vide a été effectué sur cette machine. Le moteur tourne pratiquement à la vitesse de synchronisme ($n = 1500 \text{ tr/min}$).

La méthode des 2 wattmètres indique : $P_1 = 2200 \text{ W}$, $P_2 = - 700 \text{ W}$ et I_0 (courant de ligne) = 20 A .

Un essai en charge est effectué à l'aide d'une charge mécanique, les courants absorbés étant alors équilibrés. On a les résultats suivants :

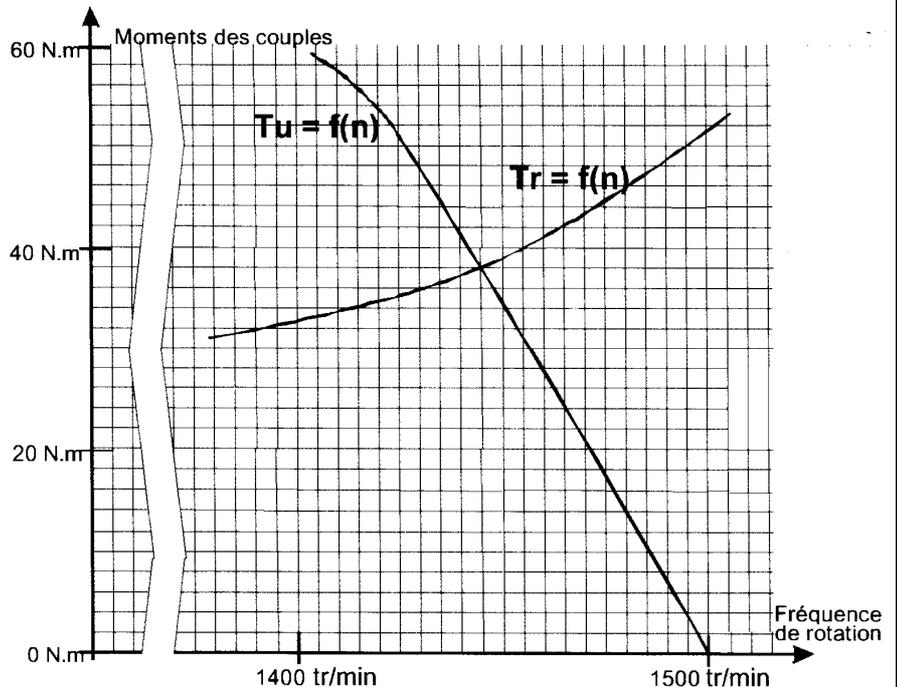
$$n = 1450 \text{ tr/min} \qquad P_1 = 14481 \text{ W} \qquad P_2 = 5519 \text{ W} \qquad I = 38,5 \text{ A}.$$

Sachant que les pertes mécaniques sont constantes et égales à 700 W :

- 1) Calculer les pertes Joule au stator lors de cet essai à vide. En déduire les pertes fer au stator P_{fs} (que l'on supposera constante dans la suite du problème).
- 2) Calculer les puissances active et réactive totales absorbées par le moteur. En déduire le facteur de puissance lorsqu'on charge le moteur.
- 3) Calculer la fréquence des courants rotoriques. Que peut-on dire sur les pertes fer au rotor P_{fr} ?
- 4) Faire un bilan de puissance et calculer les pertes Joule au stator et la puissance transmise. En déduire les pertes Joule rotor P_{jr} . Calculer la valeur efficace des courants rotoriques.
- 5) Calculer la puissance utile P_u et le rendement du moteur lors de cet essai.
- 6) Calculer le couple utile C_u .

EXERCICE 5 : Un moteur asynchrone est branché sur le réseau triphasé **230/400 V ; 50 Hz**.

- 1) La figure ci-après donne les caractéristiques mécaniques du moteur, $T_u = f(n)$ de la charge mécanique entraînée, $T_r = f(n)$.
- 2) Déterminer graphiquement les valeurs de la fréquence de rotation et du moment du couple utile du moteur asynchrone lorsqu'il entraîne sa charge.
- 3) Calculer le glissement du rotor sachant que le stator comporte 2 paires de pôles.
- 4) Montrer que la puissance mécanique utile fournie par le moteur est égale à 5750 W .



Des essais ont permis d'évaluer les pertes de puissances lorsque la machine entraîne sa charge : pertes joule au stator $P_{js} = 262 \text{ W}$, pertes fer au stator $P_{fs} = 155 \text{ W}$, pertes joule au rotor $P_{jr} = 225 \text{ W}$ et pertes mécaniques $P_m = 155 \text{ W}$.

- 5) Calculer pour ce fonctionnement: la puissance électrique absorbée par le moteur.
- 6) Calculer le rendement du moteur.
- 7) En déduire l'intensité du courant de ligne appelé par ce moteur sachant que son facteur de puissance est égal à $0,75$.