

Utilisation d'un ordinateur pour l'enseignement des machines électriques

par Robert LE GOFF

L.S.I. Gustave Eiffel, 94230 Cachan

Membre du groupe EVARISTE (CNAM-D.L.)

Depuis quelques années, différentes équipes de professeurs de lycées et collèges, associées à des établissements d'enseignement supérieur se sont penchées sur l'élaboration et l'expérimentation d'innovations pédagogiques liées à l'ordinateur, dans le domaine des sciences expérimentales : c'est le cas du groupe EVARISTE (Groupe d'Études pour la Valorisation des Applications de la Recherche en Information sur les Systèmes Tutoriels d'Enseignement) né d'une collaboration CNAM, Direction des Lycées et Collèges.

Au sein de ce groupe, une réflexion a été menée sur l'enseignement des machines électriques.

ORDINATEUR, OUTIL DE LABORATOIRE

Le micro-ordinateur entre de plus en plus dans le laboratoire de sciences physiques. Il doit faire partie des outils utilisés par le professeur et les élèves comme le sont l'ampèremètre, le voltmètre, le wattmètre, l'oscillographe... ; c'est :

- un **outil** permettant de **visualiser** les courbes représentatives de l'évolution des différentes grandeurs physiques que l'on souhaite étudier.
- un **calculateur** permettant une exploitation rapide et systématique des résultats issus de mesures au fur et à mesure qu'ils arrivent à l'ordinateur, ou lorsqu'ils sont enregistrés dans des fichiers.

Il existe sur le marché :

- des capteurs permettant la conversion de grandeurs physiques en tensions analogiques,

– des convertisseurs analogiques/numériques permettant l'utilisation de l'ordinateur comme appareil de mesure ayant une mémoire et pouvant effectuer des tâches multiples pour aider l'expérimentateur.

QUELQUES CONSTATATIONS SUR L'ENSEIGNEMENT ACTUEL DES MACHINES ÉLECTRIQUES

Tous les professeurs de sciences physiques enseignant les machines électriques dans les sections F des lycées techniques se trouvent confrontés à des problèmes pédagogiques délicats.

En cours

Actuellement, quelle que soit la section concernée, aucune expérience n'accompagne le cours au moment où celui-ci est traité : cette situation est inacceptable pour un enseignement en sciences dont le maître-mot est «**expérience**». La cause est l'impossibilité de réaliser rapidement les expériences par les méthodes traditionnelles.

Dans certains établissements, l'équipement est formé de machine de 3 kW. Ces machines, de masse importante, sont intransportables : elles restent dans une salle spécialisée dans laquelle sont réalisés les essais et mesures (travaux pratiques).

Dans d'autres (particulièrement ceux ayant des sections F_1 mais pas de section F_3), l'équipement en machines est pratiquement inexistant.

L'emploi de petites machines s'impose. Elles sont peu coûteuses, mobiles permettant ainsi leur utilisation en salles de travaux pratiques classiques (voir l'excellent article de P. GIRONDEAU B.U.P. n° 657 octobre 83). Par manque de temps, l'emploi traditionnel de ces machines ne permet guère leur utilisation en cours.

En travaux pratiques

- Pour les sections ayant un horaire modeste en sciences physiques (la section F_1 par exemple), les enseignants ne disposant pas de petites machines ne peuvent pas faire manipuler les élèves de façon satisfaisante (souvent d'ailleurs cela se traduit par une absence totale de manipulation sur machines tournantes). Lorsque l'établissement possède une section «**électrotechnique**» (c'est le meilleur des cas), ces élèves peuvent travailler sur des machines de 3 kW. Au bout d'une

séance de travaux pratiques de deux heures (tous les quinze jours), ils ont câblé la machine, vu les précautions élémentaires de sécurité à observer mais n'ont plus le temps d'étudier le fonctionnement de la machine : l'objectif essentiel n'est pas atteint.

Les élèves de ces sections subissent un enseignement relatif au machines se faisant essentiellement au tableau. Cet enseignement ne satisfait donc :

- ni le professeur qui souhaite illustrer son cours par des expériences et faire manipuler les élèves pour un enseignement plus efficace,
- ni les élèves qui trouvent cette partie du programme «rébarbative» et ne les incite donc pas à fournir les efforts nécessaires à l'assimilation de cette partie du programme.

- Pour les sections ayant un horaire de sciences physiques plus important (la section F₃ par exemple), les élèves doivent attendre d'être sur la plate-forme pour manipuler sur les machines. Les manipulations sont tournantes. Chaque séance dure généralement 4 h mais souvent les élèves étudient la machine avant ou après que le cours ait été fait et rarement au même moment. Trop de temps est passé à la réalisation de tâches qui n'apporte rien à la compréhension des phénomènes physiques : tracé des axes, choix des échelles, calculs numériques... La séance de travaux pratique se réduit alors à tracer des caractéristiques, leur exploitation ne se faisant souvent qu'ultérieurement.

NOUVELLE APPROCHE DE L'ENSEIGNEMENT DES MACHINES ÉLECTRIQUES

Un ensemble «petites machines - système informatisé» ouvre de nouveaux domaines d'applications. Les inconvénients décrits précédemment peuvent être éliminés.

Les principaux objectifs pédagogiques sont donc :

- pour le *professeur* : disposer d'un **support expérimental** illustrant le cours sur les machines **au moment** où celui-ci est fait.
- pour les *élèves* : utiliser, en travaux pratiques, un outil leur permettant d'éliminer les tâches fastidieuses afin d'exploiter plus à fond les essais réalisés.

Contraintes fixées volontairement

Couvrir l'ensemble du programme «machines électriques» des sections F des lycées techniques.

Avoir un ensemble «banc d'essais-ordinateur» de faible volume, de masse modeste, facilement transportable d'une salle à une autre. D'où :

- l'utilisation de machines, de faibles puissances, ayant cependant des caractéristiques représentatives des machines industrielles ;
- l'utilisation d'un micro ordinateur (qui dans le cas du groupe EVARISTE est un ordinateur compatible PC ou un macintosh).

Actuellement il est possible d'étudier les :

- moteurs à courant continu :
 - à excitation séparée,
 - à excitation série.
- moteurs asynchrones à courant alternatif :
 - triphasé à cage,
 - triphasé à rotor bobiné.
- moteurs synchrones.

Les caractéristiques des moteurs sont tracées :

- soit point par point,
- soit en continu.

Il n'y a aucune simulation. L'évolution du point de fonctionnement se fait en temps réel. L'élève (ou le professeur) reste maître de sa manipulation. L'ordinateur aide l'expérimentateur en effectuant les calculs, les tracés... De plus il joue le rôle d'un appareil pouvant se substituer à un ensemble d'appareils de mesures. C'est :

- un ampèremètre (-/~),
- un voltmètre (-/~),
- un wattmètre,
- un cosφmètre,
- un tachymètre,
- un couplemètre...

Les moteurs de faibles puissances présentent souvent l'avantage de pouvoir supporter le blocage du rotor pendant une durée suffisamment

longue pour que l'ordinateur ait le temps de saisir les différents paramètres de la machine étudiée. Il est alors possible de tracer les caractéristiques complètes de machines (y compris dans les zones de fonctionnement instable). Dans la plupart des laboratoires, la charge des moteurs est soit une génératrice, soit une frein à courants de Foucault. Aucune de ces charges ne permet le blocage du moteur. Il en existe une autre (peu connue, car elle ne peut être utilisée qu'en faible puissance) qui est tout à fait adaptée aux petites machines : le frein à poudre. Le principe en est le suivant : des ailettes tournent dans une enceinte contenant de la poudre pouvant se magnétiser ; on crée un champ magnétique, au fur et à mesure que son intensité augmente, la poudre devient de plus en plus compacte et les ailettes tournent de moins en moins vite.

Il est possible également d'étudier les problèmes de démarrage et des solutions à y apporter :

- démarrage avec rhéostat pour les moteurs à courant continu alimentés sous tension constante,
- démarrage de ces mêmes moteurs avec tension d'alimentation variable,
- démarrage étoile-triangle pour les moteurs asynchrones à cage,
- démarrage avec rhéostat rotorique pour les moteurs asynchrones à rotor bobiné.

L'évolution de ces différents fonctionnements est suivie à l'écran du moniteur. Quelles que soient les courbes relevées ou mémorisées, dès qu'elles sont affichées, il est possible de les imprimer, donc de les diffuser auprès des élèves.

Aspect matériel

L'ensemble du matériel informatique utilisé remplace des appareils d'un prix élevé comme tachymètre, couplemètre, ampèremètre, voltmètre, wattmètre...

Le minimum (hors informatique) nécessaire est le suivant :

- Un banc d'essai de machines de faible puissance comprenant :
 - des alimentations (= et ~),
 - des moteurs (= et ~),
 - une charge (frein à poudre ou frein à courants de Foucault de préférence).

- Des convertisseurs :
 - vitesse/tension (dynamo tachymétrique),
 - couple/tension (jauge de contrainte),
 - courant/tension,
 - puissance/tension.

Certains bancs d'essais ont leurs propres convertisseurs (Matériel Leroy-Somer, Matériel DE LORENZO), sinon il faut les réaliser.

Matériels utilisés

- Bancs d'essais de machines électriques tournantes :

Matériel LEYBOLD :

- unité d'alimentation,
- unité de commande et de régulation,
- unité de démarrage et de charge,
- frein magnétique à poudre,
- machine polyexcitation : 220 V ; 0,8 A ; 0,12 kW ; 1750 tr/min,
- moteur asynchrone triphasé à cage : 380 V / 660 V ; 0,93 / 0,54 A ; 0,12 kW ; 2800 tr/min,
- moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné : 220 V / 380 V ; 0,7 / 0,4 A ; 0,12 kW ; 1400 tr/min.

Matériel DE LORENZO (diffusé par JEULIN) :

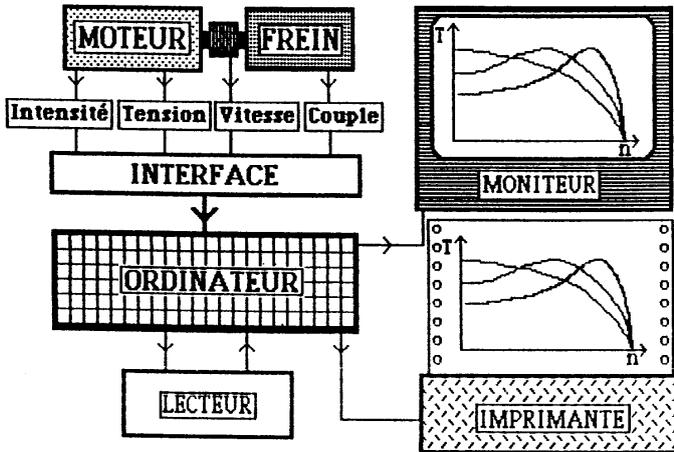
- module d'alimentation,
- module de charge,
- génératrice balance,
- moteur à excitation indépendante : 42 V ; 0,2 kW ; 3000 tr/min,
- moteur asynchrone triphasé à cage : 24 V / 42 V ; 0,2 kW ; 2800 tr/min.

Matériel LEROY-SOMER :

- modules d'alimentation,
- modules de mesures électriques et mécaniques,
- moteurs : Gamme 300 W.

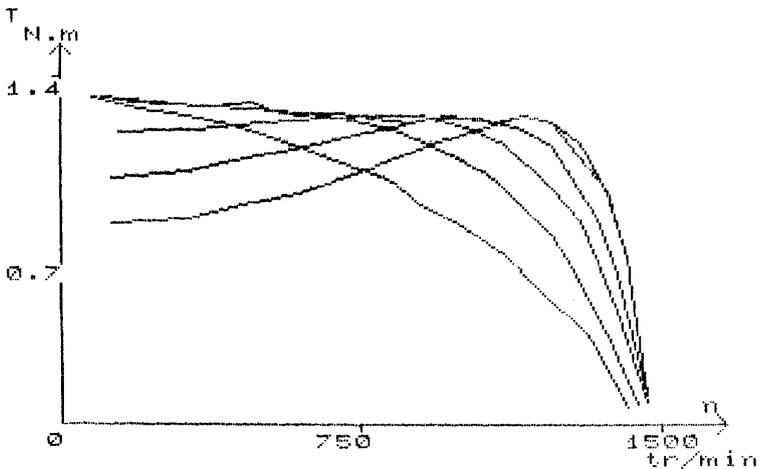
- Interface ORPHY.

- Micro-ordinateur compatible PC.

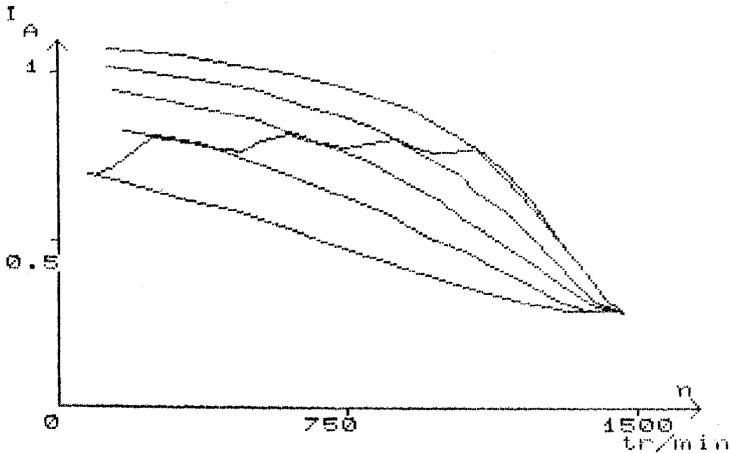


EXEMPLES DE RELEVÉS RÉALISÉS EN TEMPS RÉEL

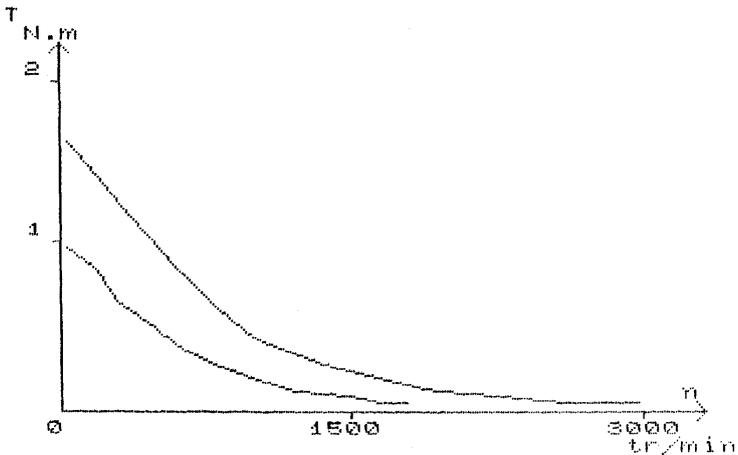
1. Caractéristiques mécaniques de couple d'un moteur asynchrone tripasé à bagues, obtenues avec cinq valeurs différentes du rhéostat rotorique (Moteur Leybold 120 W entraînant un frein à poudre).



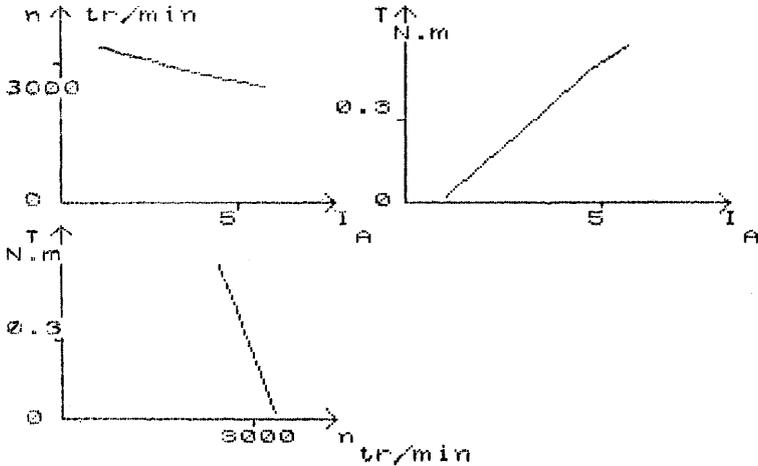
2. Caractéristiques de vitesse d'un moteur asynchrone triphasé à bagues, obtenues avec cinq valeurs différentes du rhéostat rotorique, ainsi que l'évolution de l'intensité du courant absorbé par le moteur au cours d'un démarrage par variation de la résistance de ce rhéostat (Moteur Leybold 120 W entraînant un frein à poudre).



3. Ensemble de caractéristiques d'un moteur série pour deux valeurs différentes de la tension d'alimentation (Moteur Leybold polyexcitation 120 W entraînant un frein à poudre).



4. Ensemble de caractéristiques d'un moteur à excitation indépendante (Moteur De Lorenzo 200 W dont la charge est une génératrice balance).



Exemple de travaux pratiques
Moteur asynchrone triphasé à cage

PRÉPARATION

Plaque signalitique du moteur

Indiquer dans le tableau ci-après les grandeurs nominales du moteur à étudier.

Tension	Intensité	Puissance	Vitesse

1. Quelle est la tension nominale que peut supporter un enroulement du moteur ?

2. L'alimentation délivre un système de tensions triphasées 380 V, 50 Hz. Quel doit être le couplage des enroulements pour un fonctionnement nominal ?

Manipulation préliminaire

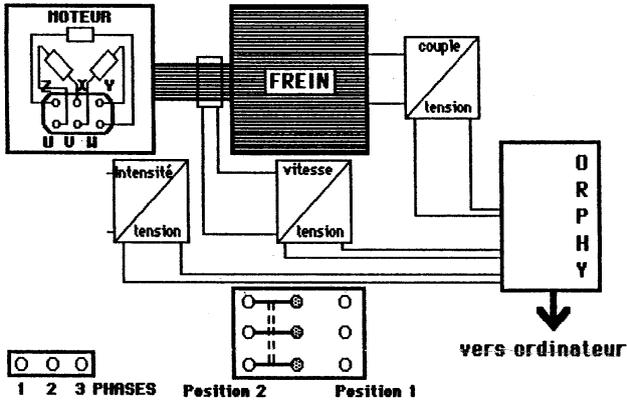
Mettre l'équipement informatique sous tension dans l'ordre suivant :

- les périphériques : l'interface ORPHY, l'imprimante et le moniteur,
- le micro-ordinateur.

Placer la disquette «moteurs asynchrones» dans le lecteur et lancer le programme. Afficher la documentation expliquant le fonctionnement du logiciel et indiquant les branchements à réaliser entre les capteurs et ORPHY.

Montage

Compléter le schéma ci-après permettant d'obtenir un couplage étoile lorsque le commutateur est dans la position 1 et un couplage triangle lorsque le commutateur est dans la position 2.

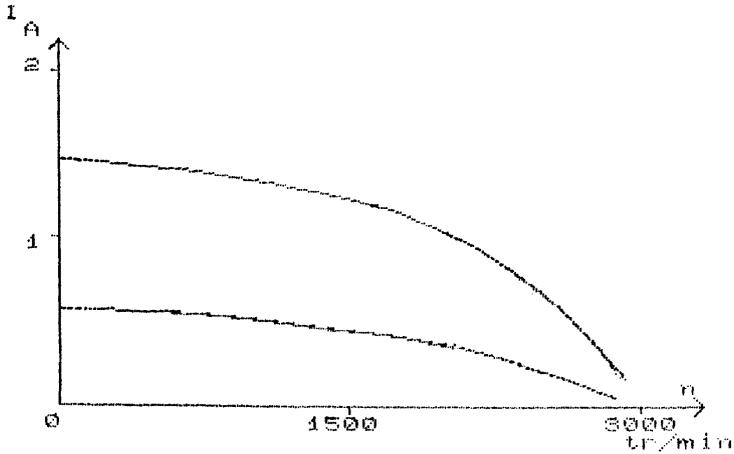


Effectuer le câblage du moteur. Le faire vérifier par le professeur avant la mise sous tension du montage.

MANIPULATION**Caractéristique de vitesse : $I = f(n)$** ***Tracé des caractéristiques***

Relever la caractéristique de vitesse dans le cas d'un couplage étoile. Recommencer la manipulation dans la cas d'un couplage triangle.

Faire figurer les deux caractéristiques obtenues dans le même repère. Réaliser une copie d'écran. Reporter, ci-après, les graphes obtenus :

***Exploitation des graphes***

Quelle est l'intensité du courant absorbé par le moteur dans un fonctionnement à vide.

Quelle est l'intensité du courant absorbé par chaque phase du moteur au moment du démarrage en charge :

- dans le cas d'un couplage étoile : $I_{\text{étoile}} =$
- dans le cas d'un couplage triangle : $I_{\text{triangle}} =$

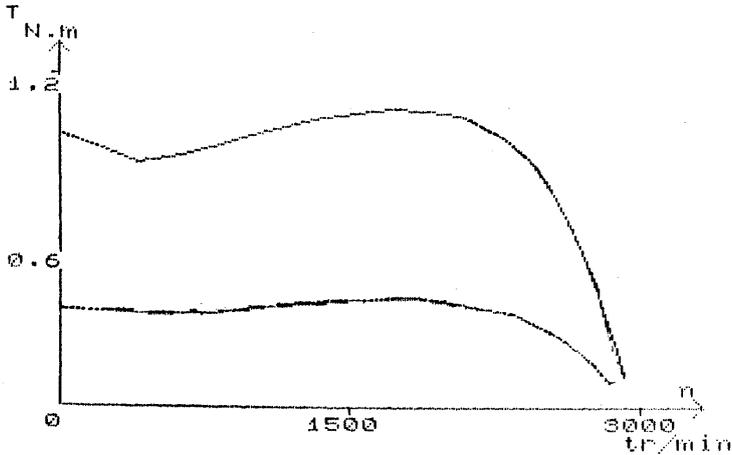
Effectuer le rapport $I_{\text{triangle}} / I_{\text{étoile}}$ Que constate-t-on ?

Caractéristique du couple : $T = f(n)$

Tracé des caractéristiques

Relever la caractéristique de couple dans le cas d'un couplage étoile. Recommencer la manipulation dans le cas d'un couplage triangle.

Faire figurer les deux caractéristiques obtenues dans le même repère. Réaliser une copie d'écran. Reporter, ci-dessous, les graphes obtenus :



Exploitation des graphes

Analyser les courbes obtenues en déterminant :

- le moment du couple au démarrage dans un fonctionnement en charge :

- dans le cas d'un couplage étoile : $T_{\text{étoile}} =$
- dans le cas d'un couplage triangle : $T_{\text{triangle}} =$

- la valeur maximale moment du couple :

- dans le cas d'un couplage étoile : $T_{\text{maxi}} =$
- dans le cas d'un couplage triangle : $T_{\text{maxi}} =$

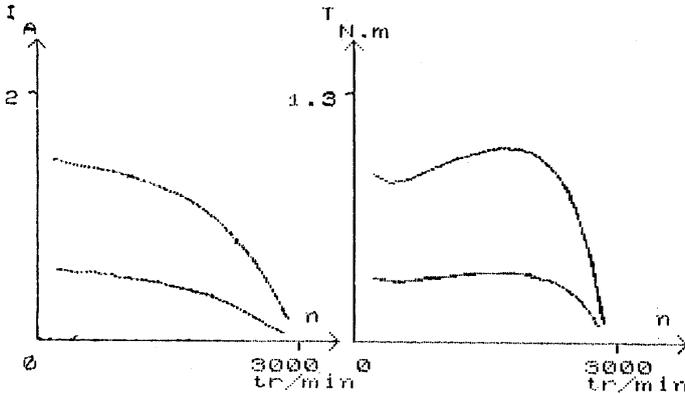
- la valeur des vitesses correspondant aux moments des couples précédents :

$$n_{\text{étoile}} =$$

$$n_{\text{triangle}} =$$

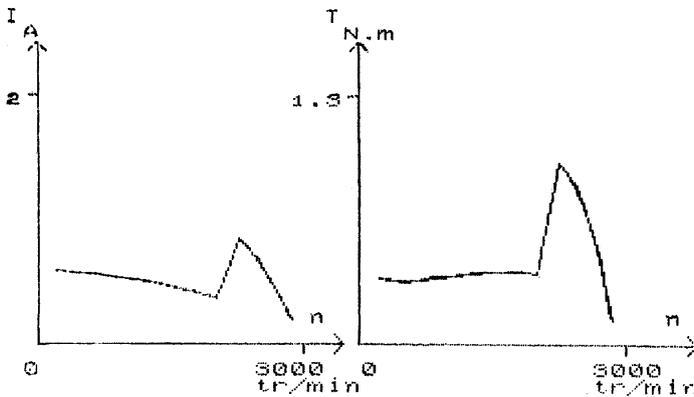
Relevé simultané des caractéristiques de vitesse et de couple

Réaliser un relevé simultané de l'ensemble des caractéristiques. Reporter ci-dessous la copie d'écran :



Placer sur les graphes, le point de fonctionnement nominal. Comparer le couple de démarrage direct au couple nominal. Pourquoi ne peut-on pas effectuer un démarrage direct sous tension nominale avec un moteur de forte puissance ?

Effectuer un démarrage étoile-triangle. Relever les caractéristiques de vitesse et de couple durant le démarrage. Quel est l'avantage d'un tel démarrage ? Quelle en est sa limite ?



Quelques réflexions sur ce type de travaux pratiques

Le gain de temps est considérable : le câblage et le tracé des caractéristiques d'une machine demande vingt minutes ; un travail équivalent sur une machine 3 kW demande plusieurs heures. Ce type de travaux pratiques peut donc être réalisé avec les élèves de F₁ dans le cadre du temps imparti.

L'observation stricte des règles de sécurité est nécessaire sur les machines 3 kW. Elle l'est moins sur les machines de faible puissance. Il ne faut donc surtout pas abandonner les machines 3 kW qui doivent continuer à être utilisées par les élèves de F₃ entre autre. Cependant les plates-formes d'essais équipées en 3 kW doivent intégrer des systèmes informatisés d'aide à l'expérimentation. Des travaux déjà réalisés sur le transformateur et l'alternateur montrent que cela est possible : le gain de temps est alors utilisé à une plus grande réflexion et à une étude plus approfondie de la machine étudiée.

N.B. : Suite à des travaux menés au Lycée G. Eiffel de Cachan, la société Moteurs LEROY SOMER diffuse deux ensembles :

- l'un couvrant l'étude des machines de la gamme 300 W,
- l'autre couvrant l'étude des machines de la gamme 1 kW - 1,5 kW.

Cette société peut également modifier les bancs d'essais de la gamme 3 kW existant dans les lycées pour permettre une étude informatisée des machines.