



Sciences et technologie industrielles

Spécialité : Génie Electrotechnique

Classe de terminale

Programme d'enseignement des
matières spécifiques

Sciences physiques et physique appliquée

**CE TEXTE REPREND LE PROGRAMME PUBLIE EN ANNEXE DE
L'ARRETE DU 10 JUILLET 1992 ET Y INTEGRE LES
MODIFICATIONS PUBLIEES DANS UN PROCHAIN B.O.**



V. COMMENTAIRES

Rappels de programme

L'enseignement de physique appliquée est dispensé par un professeur de physique appliquée qui prend en charge, chaque semaine, en première comme en terminale :

- la division entière pendant trois heures de cours ;
- chaque groupe de travaux pratiques pendant 3 heures (TP ou TP cours).

Pour permettre une exploitation efficace des résultats des travaux pratiques lors des séances devant la division entière, il est indispensable de placer les deux séances de TP au cours de demi-journées consécutives (le même jour de préférence).

L'acquisition des connaissances étant étroitement liée à celle des savoir-faire, le professeur doit privilégier l'expérimentation des élèves conduite en TP ou TP cours. Très strictement dépendante de la progression du professeur, cette expérimentation ne doit en aucun cas être remplacée par d'autres activités. Le caractère résolument expérimental de l'enseignement de la physique appliquée sera d'ailleurs renforcé par des expériences de cours effectuées par le professeur : à cet effet, et dans toute la mesure du possible, les cours se dérouleront dans des salles pourvues des équipements nécessaires aux démonstrations expérimentales éventuellement assistées par ordinateur.

Dans la majorité des cas, les thèmes des travaux pratiques, en liaison directe avec l'apprentissage des notions du programme, sont laissés au libre choix du professeur ; mais l'acquisition d'un certain nombre de savoir-faire faisant l'objet d'une vérification à l'épreuve de physique appliquée du baccalauréat « génie électrotechnique », quelques sujets de TP cours seront imposés avec indication de leurs objectifs (savoirs, savoir-faire expérimentaux, savoir-faire théoriques). En revanche, aucun ordre préférentiel n'est imposé pour leur présentation.

Une coordination indispensable est assurée entre l'enseignement de physique appliquée et les autres, notamment quant à leur progression. Lorsqu'une question figure à la fois dans le programme de physique appliquée et dans le programme de technologie, l'aspect théorique est présenté par le professeur de physique appliquée, et abordé en général préalablement en accord avec le professeur de technologie.

Certaines questions de physique rencontrées par les élèves dans leur environnement technologique (notamment dans le cadre du projet) peuvent susciter chez eux une curiosité légitime : dans ce cas, à leur demande et dans la mesure où il peut dégager du temps pour cela, le professeur de physique appliquée traite ces questions, selon une pédagogie de vulgarisation rigoureuse et sobre.

Les professeurs de sciences physiques participent à l'éducation à la sécurité électrique (Cf. BO Hors série du 24/9/92, tome III, brochure 4, pages 535 et suivantes : « Liste des notions en hygiène, sécurité et prévention des accidents du travail »).

MESURES PHYSIQUES

En première comme en terminale, elles sont effectuées par les élèves dans le cadre de séances hebdomadaires de trois heures qui peuvent prendre la forme de T.P. cours.

Pour les montages d'électricité et d'électronique, on n'utilise que des composants ou des sous-ensembles actuels, disponibles sur le marché. Pour les machines électriques, on choisira leur puissance plutôt dans la gamme de 0,4 à 1,5 kW ce qui est amplement suffisant pour illustrer leur fonctionnement et se prête mieux à l'expérimentation.

On doit toujours avoir comme règle d'insister particulièrement sur les concepts permanents d'électrotechnique qui subsistent même quand la technologie évolue.

A l'occasion de certaines mesures physiques, la dispersion des mesures indépendantes d'une même grandeur, mesurée par l'écart type de l'échantillon obtenu, permet de porter un jugement sur la précision de la méthode employée (la notion d'écart type fait partie du programme de mathématiques de la classe de première). On cherche à interpréter, aussi souvent que possible, les causes de dispersion des mesures.

Lors de la mesure d'une grandeur caractéristique d'un composant, ou du relevé expérimental, par les élèves, d'une courbe dont la représentation graphique typique est donnée par le constructeur, on n'omet pas de faire noter les écarts entre les mesures et les valeurs typiques.

CLASSE TERMINALE

A. Energétique

Cette partie du programme ne doit pas faire l'objet d'un chapitre spécifique. Elle doit être intégrée naturellement dans les différents chapitres sur les convertisseurs d'énergie (statiques et rotatifs).

PROGRAMME

Travail et puissance mécaniques : rendement des convertisseurs électriques et électromécaniques.

Instructions et commentaires

C'est la partie B2 (machines électriques) qui se prête le mieux au développement des capacités indiquées dans la liste des objectifs de référence joints au programme. L'élève doit savoir que le produit du moment d'un couple par l'angle de rotation de celui-ci et d'une force par le déplacement longitudinal de son point d'application sont des expressions de transfert d'énergie.

Le professeur insistera sur le principe de la conservation de l'énergie.

B. Electricité-Electrotechnique

A chaque fois qu'une étude expérimentale quantitative sera faite, le professeur devra s'efforcer de sensibiliser les élèves à la mesure en donnant le principe de fonctionnement des appareils, des notions sur les techniques de mesure (à partir des notices constructeurs par exemple) et les erreurs entachant les mesures (erreur maximale entachant une lecture par exemple).

B.1. Electricité générale : circuits électriques, électroniques et magnétiques ;

RAPPEL DU PROGRAMME

B.1.1. Systèmes triphasés équilibrés.

Montages en étoile et en triangle ; puissances ; mesures de puissances.

B.1.2. Etude de circuits linéaires simples en régime sinusoïdal à l'aide des nombres complexes.

B.1.3. Etude de quelques fonctions de l'électronique : amplification ; amplification de différence; comparaison.

B.1.5. Notion de système commandé en chaîne fermée : application à la régulation de vitesse d'une machine à courant continu. Schéma fonctionnel d'un tel système. Notion de rétroaction et de stabilité.

Instructions et commentaires

B.1.1. Les systèmes déséquilibrés sont hors programme ; la notion d'impédance cyclique est également hors programme.

Les expressions permettant de passer des indications de deux wattmètres à la puissance réactive ou au facteur de puissance ne sont pas exigibles lors des épreuves du baccalauréat.

B.1.2. On se limitera à l'étude de circuits du domaine de l'électrotechnique comportant :

- soit à une maille,
- soit à deux nœuds et trois branches.

Les notions d'impédance et de f.é.m. complexes d'un dipôle, appliquées au modèle de Thévenin, permettent de compléter les notions déjà abordées en première dans le cadre du courant continu.

B.1.3. Il s'agit de poursuivre, sous forme expérimentale, l'étude commencée en classe de première. Cette partie du programme doit être limitée aux fonctions utiles au paragraphe B.1.5. Il est conseillé d'étudier ces fonctions au moment où sont présentés les différents éléments du système commandé proposé au paragraphe B.1.5. Les oscillateurs astables ne sont pas au programme.

B.1.5. Paragraphe à traiter en fin d'année scolaire, juste avant le paragraphe B.4 « Variation de la vitesse des moteurs ».

En privilégiant une approche expérimentale des savoirs, l'étude du système commandé proposé se limitera au régime permanent.

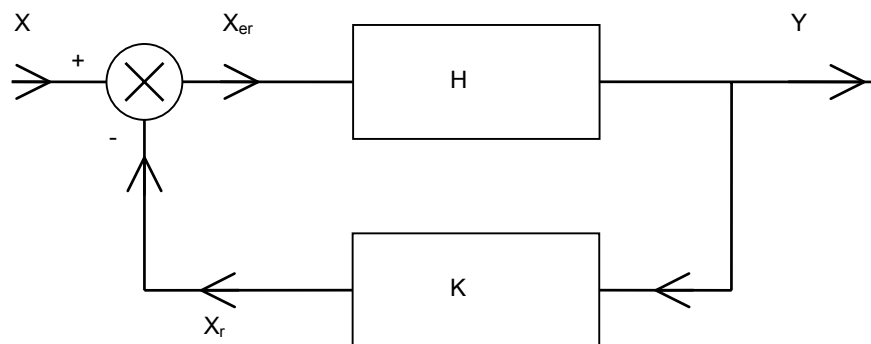
Cependant, on signalera, sans en faire l'étude, la nécessité d'intégrer un dispositif dit de correction pour un fonctionnement satisfaisant.

Les systèmes asservis prennent une importance considérable. Leur mise en œuvre est d'ailleurs explicitement prévue dans le cadre du programme de technologie. Leur présentation théorique, assortie en T.P. d'illustrations spécifiques (asservissement de vitesse d'un petit moteur, par exemple) sera donc effectuée en physique appliquée.

Il s'agit de présenter le schéma ci-dessous où le produit $T = H.K$ est la fonction de transfert de la boucle ouverte. On suppose la chaîne directe strictement unidirectionnelle, le réseau de retour n'en chargeant ni la sortie, ni l'entrée. On se place uniquement dans le cas où les fonctions transferts peuvent être représentées par des grandeurs réelles.

On montre que la fonction de transfert du système en chaîne fermée vaut :

$$T' = \frac{H}{1 + T}$$



Dans la pratique on n'étudie qu'une régulation de vitesse où la grandeur de sortie Y est convertie en une tension X_r qui lui est proportionnelle. La tension d'entrée X, a une valeur fixée (la valeur de consigne), on lui compare la tension X_r. On montre toute l'importance de la tension d'erreur X_{er} = X - X_r.

Toute théorie générale sur la stabilité des systèmes asservis est hors programme. On se limite à des considérations très simples confortées par des observations expérimentales.

B.2. Machines électriques.

PROGRAMME

B.2.0. Flux magnétique à travers une surface. Conservation du flux. F.é.m. d'induction : différents modes de création, expression de la f.é.m induite (loi de Faraday).

B.2.1. Transformateurs.

B.2.1.1. Transformateur monophasé utilisé en régime sinusoïdal à fréquence constante. Modèle du transformateur parfait : impédance ramenée ; générateur équivalent au secondaire. Bornes homologues.

Transformateur réel : pertes ; non linéarité ; rendement.

Linéarisation du transformateur réel : modèle de Thévenin ramené au secondaire. Prédétermination de la tension secondaire grâce à deux essais mettant en jeu une faible puissance.

B.2.1.2. Rôle des transformateurs dans le transport et la distribution de l'énergie électrique.

B.2.2. Machine à courant continu.

B.2.2.1. Organisation ; force électromotrice à vide et en charge ; réversibilité.

B.2.2.2. Fonctionnement en moteur : moteur à excitation indépendante, moteur série.

B.2.2.3. Rendement des moteurs à courant continu.

B.2.3. Champs tournants : production dans l'entrefer d'une machine tournante par un système triphasé de courants circulant dans des enroulements triphasés.

B.2.4. Machine synchrone.

B.2.4.1. Organisation ; force électromotrice ; réversibilité.

B.2.4.2. Fonctionnement en alternateur triphasé.

B.2.4.3. Principe du fonctionnement en moteur synchrone triphasé.

B.2.5. Moteur asynchrone.

Moteur asynchrone triphasé. Organisation, vitesse de synchronisme, glissement, rendement.

Etude simplifiée du fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé lorsque la fréquence de sa tension d'alimentation est constante : caractéristiques ; démarrage.

Instructions et commentaires

L'étude des machines suppose bien évidemment que leurs circuits magnétiques soient pris en compte et modélisés. Le programme ne prévoit pas de séance spécifique sur le magnétisme en général, l'essentiel ayant été vu dans le cadre de la première année ; cependant de nombreux thèmes (transformateurs, courbe donnant la f.é.m à vide d'une machine à courant continu, d'un alternateur, existence de pertes par hystérésis, etc.) donneront l'occasion au professeur de revenir sur ce sujet difficile mais fondamental.

Selon le problème étudié, on modélisera diversement (mais explicitement) le cycle d'hystérésis représentant graphiquement la correspondance entre H et B selon que l'on néglige à la fois l'hystérésis et la saturation, ou que l'on désire garder un modèle linéaire qui se prête aux calculs, tout en rendant compte des pertes dans le fer, ou que la saturation est le phénomène essentiel.

B.2.0. On affirme que le flux de \vec{B} à travers une surface limitée par un contour ne dépend en fait que du contour et non de la surface considérée. Cette propriété trouve une application, en particulier, dans le calcul du flux embrassé par une spire du bobinage d'une machine électrique.

On donne aux élèves l'expression de la loi de Faraday.

En l'absence de milieu ferromagnétique, le flux Φ à travers un circuit est proportionnel à l'intensité i du courant qui parcourt ce dernier. Cette propriété reste vraie, dans la limite de saturation du circuit magnétique pour des bobines à noyau ferro ou ferrimagnétique. On montre à l'oscilloscope, ou à l'ordinateur, les effets de la fém d'auto-induction qui prend naissance lorsque i varie.

B.2.1.1. Il s'agit de présenter sous une forme moderne et générale les résultats classiques de l'étude des transformateurs monophasés. Dès lors que le modèle du circuit magnétique est linéaire, le transformateur, au secondaire, est équivalent à un générateur de Thévenin possédant une f.é.m E_S et une impédance Z_S .

Des essais spécifiques (à vide et en court-circuit) permettent de déterminer E_S et Z_S .

L'expression de Z_S dans le cas où, de surcroît, on néglige le courant absorbé à vide par le transformateur ($n_1 i_1 + n_2 i_2 = 0$) n'est pas supposée connue des élèves. Une question sur ce sujet au baccalauréat doit donc faire l'objet d'un protocole d'approche.

B.2.1.2. L'étude des transformateurs triphasés n'est pas au programme. Si les élèves, lors des travaux pratiques, ou à l'atelier, en utilisent, le professeur de physique appliquée en dit quelques mots et en présente les propriétés essentielles. Leur rôle est mis en évidence en ce qui concerne le transport et la distribution de l'énergie électrique.

B.2.2. Afin d'éviter une rupture dans l'enseignement des machines alternatives, il est conseillé de traiter ce paragraphe après le paragraphe B.2.5.

L'intérêt pédagogique des génératrices à courant continu est important, mais leur intérêt économique est pratiquement nul : le fonctionnement d'une machine à courant continu en génératrice est actuellement limité aux phases de récupération de ce qui est normalement un moteur. L'étude spécifique des génératrices à courant continu est donc hors programme.

On privilégie l'écriture $E=K \cdot \Phi \cdot \Omega$, $T=K \cdot \Phi \cdot I$

On veille à ce que les travaux pratiques des élèves soient en accord avec le cours ; autrement dit, il faut que le laboratoire d'électrotechnique comporte des sources de courant continu aisément réglable, de manière que l'on puisse régler la vitesse des moteurs à courant continu dans une large gamme de fréquences de rotation.

B.2.4. Du point de vue théorique, on se limite aux alternateurs à entrefer régulier (alternateur à pôles lisses) et, en charge, l'on distingue deux types de fonctionnement de l'alternateur :

- En l'absence de toute saturation et de toute non-linéarité, le modèle monophasé équivalent se compose d'un générateur de f.é.m \underline{E}_S telle que $E_S = E_V (i_e)$, et d'impédance interne $\underline{Z}_S = jL\omega$ (on négligera l'influence de la résistance des enroulements statoriques). Cette impédance est alors indépendante du point de fonctionnement. Ce fonctionnement est privilégié.
- En présence de saturation, on décrit l'alternateur par un modèle monophasé de même type. La f.é.m synchrone \underline{E}_S , cependant, n'est plus alors égale à la f.é.m à vide $E_V (i_e)$ correspondant au même courant d'excitation (elle lui est en général largement supérieure), et l'impédance synchrone \underline{Z}_S dépend du fonctionnement étudié. Dans ce cas, aucun modèle n'est supposé connu des élèves, en particulier, le vocable « diagramme de Ben Eschenbourg » n'a pas à être connu des élèves : c'est l'auteur d'un sujet d'examen portant sur ce thème qui doit expliciter le modèle choisi.

B.2.4.3. Pour le principe du moteur synchrone, on conserve le diagramme simplifié (on suppose nulle la résistance R d'une phase d'un enroulement statorique).

Le moteur synchrone autopiloté n'est pas au programme.

B.2.5. Le moteur asynchrone est encore appelé moteur à induction ; le stator y joue en effet le rôle d'inducteur (création de champ) et d'induit. Le couple maximal y est dû uniquement au flux qui traverse un enroulement du stator.

La justification qualitative de la condition $U/f = \text{cte}$ pour une alimentation par onduleur à fréquence variable pourra être présentée dans le paragraphe B4.

Ce qui suit est à faire au paragraphe B4 :

On montre qualitativement que l'onduleur alimentant un moteur asynchrone dont on veut faire varier la vitesse, doit satisfaire à la condition : $U/f = \text{Cte}$.

B.3. Electronique de puissance

PROGRAMME

B.3.1. Conversion alternatif - continu.

B.3.1.1. Redressement non commandé : pont monophasé à quatre diodes : intérêt du lissage inductif en électrotechnique.

B.3.1.2. Redressement commandé : pont monophasé à 4 thyristors. Pont monophasé mixte à deux thyristors ayant une cathode commune et deux diodes.

B.3.2. Conversion continu - continu.

B.3.2.1. Conversion de tension continue en courant continu : fonctionnement simplifié du hacheur série en conduction ininterrompue.

B.3.3. Conversion continu - alternatif.

Principe des onduleurs autonomes et assistés.

Instructions et commentaires

Le programme est strictement limitatif : aucun dispositif autre que ceux qui sont mentionnés dans le programme ne pourra être supposé connu des élèves.

B.3.1. En première année, les élèves ont rencontré un montage redresseur (pont monophasé à diodes avec condensateur de filtrage) qui réalise en fait la conversion de tension alternative en tension continue fixe (l'ensemble redresseur-condensateur est équivalent à un générateur de tension) : on affirme que ce montage ne peut être utilisé que pour des intensités de charge limitées et qu'il pose des problèmes supplémentaires en redressement commandé. C'est donc le redressement avec lissage inductif qui est étudié en deuxième année. Dans l'étude de tous les montages du programme, on privilégie le fonctionnement où le courant dans la charge est ininterrompu et où l'ensemble secteur + redresseur + bobine est par conséquent équivalent à un générateur de courant (conversion de tension alternative en courant continu) : seuls les résultats concernant ce type de fonctionnement doivent être considérés comme des connaissances fondamentales que les élèves ont à acquérir.

Les ponts triphasés ne sont pas au programme.

Pour le redressement commandé, et dans le cas de la conduction ininterrompue, on montre que la valeur moyenne de la tension redressée est une fonction décroissante de l'angle de retard à l'amorçage : $V_{co} \cos \theta$ pour un pont réversible, $V_{co} (1 + \cos \theta)/2$ pour un pont mixte

Ces deux résultats (et eux seuls) pourront être considérés comme connus des élèves, leur démonstration ne pourra faire l'objet d'une question écrite au baccalauréat.

B.3.2. L'étude des interrupteurs électroniques n'est pas au programme.

B.3.2.1. Les approximations que l'on peut effectuer étant clairement définies, les élèves doivent pouvoir retrouver seuls les résultats essentiels correspondant au cas de la conduction ininterrompue. En travaux pratiques notamment, ils rencontrent le cas de la conduction interrompue qui fait l'objet d'observations précises, mais les résultats n'ont pas à en être mémorisés.

Le hacheur parallèle n'est pas au programme.

B.3.3. Seul le fonctionnement d'un onduleur autonome à deux transistors doit être connu des élèves mais un autre dispositif pourra leur être présenté en travaux pratiques (même dans ce cas, on se gardera d'étudier le fonctionnement de la commande). Sans traiter le théorème de superposition ni parler de Fourier, on pourra indiquer qu'une tension alternative de fréquence f peut être considérée comme la somme de plusieurs tensions sinusoïdales de fréquences multiples de cette fréquence et que suivant la nature de la charge soumise à cette tension, l'intensité du courant qui la traverse peut-être pratiquement sinusoïdale. Quel que soit le dispositif étudié en T. P., on mettra en évidence, à côté des phases actives, les phases de récupération qui imposent à la source continue la propriété de réversibilité.

B.4. Variation de la vitesse des moteurs

PROGRAMME

Principales caractéristiques mécaniques des charges entraînées.

Variation de la vitesse :

- d'un moteur à courant continu,
- d'un moteur à courant alternatif.

Instructions et commentaires

Ce thème doit permettre une synthèse des connaissances acquises dans les domaines de l'électrotechnique et de l'électronique de puissance.