



Sciences et technologie industrielles

Spécialité : Génie Electrotechnique

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.**

Instructions et commentaires de physique appliquée

L'enseignement de physique appliquée est dispensé par un professeur de physique appliquée qui prend en charge, chaque semaine, en Première et 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 séances de TP d'une même classe au cours de deux demi-journées consécutives.

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 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 Electrotechnique, quelques sujets de TP cours sont 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 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.

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 TP cours.

Pour les montages d'électricité ou 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 et d'électronique 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 le graphe typique est donné par le constructeur, on n'omet pas de faire noter les écarts entre les mesures et les valeurs typiques.

Classe de première

A. ENSEIGNEMENTS A TRAITER EN COURS ET EN TRAVAUX PRATIQUES

A.1. Lois générales de l'électricité en courant continu

Programme

A.1.1. Lois relatives aux réseaux : lois des mailles, des nœuds, loi d'ohm pour un dipôle passif, un dipôle actif. Analyse générale d'un circuit.

A.1.2. Utilisation d'une calculatrice. Source de tension, source de courant. Modèle de Thévenin d'un circuit quelconque vu de deux de ses points. Equivalence entre modèle de Thévenin et modèle de Norton

A.1.3. Puissance électrique reçue ou fournie par un dipôle ; loi de Joule pour une résistance ; bilan de puissances pour un dipôle comprenant un électromoteur.

A.1.4. Condensateur ; capacité d'un condensateur ; associations de condensateurs. Energie électrostatique stockée dans un condensateur : $W = \frac{1}{2} CV^2$.

A.1.5. Champ électrique uniforme entre les armatures d'un condensateur plan. Force subie par une charge électrique placée dans un champ électrique. Capacité d'un condensateur plan.

Instructions et commentaires

On privilégie une approche expérimentale.

A.1.1. L'algébrisation des grandeurs électriques ne figure pas au programme des classes du collège. C'est une opération qui doit apparaître aux élèves de Première comme simplifiant les raisonnements relatifs à l'électrocinétique ; elle doit être mise en œuvre dans des cas simples, en choisissant, chaque fois que cela est possible, des sens tels que la majorité des grandeurs considérées soient positives. Son intérêt se dégagera progressivement quand il apparaîtra que, sans elle, il faudrait, dans certains cas, multiplier les schémas ou les cas de figure pour prendre en compte la variation d'un paramètre.

A.1.2. Aucune connaissance sur le théorème de Thévenin n'est exigée, on se limite à des réseaux ne comportant au plus que deux sources non commandées.

On utilise les connaissances acquises par les élèves à l'étude d'un pont de Wheatstone fonctionnant en régime déséquilibré : des résistances réglables peuvent simuler des jauges de contraintes, ou des éléments thermosensibles ; on peut aussi utiliser des capteurs industriels fondés sur ce principe.

A.1.3. Il est possible de traiter cette partie du programme soit dans un chapitre à part, soit en intégrant les notions d'énergie et de puissance à chaque fois que l'occasion se présente lors de l'étude des dipôles passifs ou actifs puis lors de l'étude des circuits. La puissance reçue est une grandeur algébrique, ce qui permet d'en déduire le comportement générateur ou récepteur du dipôle considéré.

A.1.4. Cette partie du programme peut être traitée en totalité en travaux pratiques (TP cours).

La notion de capacité est introduite expérimentalement par utilisation d'un générateur de courant dont la théorie n'est pas à présenter au cours de la leçon correspondante. De même, si l'on utilise un dispositif de décharge automatique, le fonctionnement de ce dernier n'a nullement à être expliqué dans le détail : on se contente d'en indiquer la fonction globale qui consiste à mettre le condensateur étudié en court circuit lorsque la tension de celui-ci atteint un niveau déterminé. Ce court circuit cesse dès que la tension aux bornes du condensateur est inférieure à un certain seuil.

On aura présent à l'esprit que le seul groupement de condensateurs véritablement utilisé est le groupement en parallèle.

Des condensateurs de 1 farad, associés à de petits moteurs à courant continu, permettent de convertir plus de 30 % de l'énergie électrostatique stockée dans un condensateur en énergie potentielle mécanique (mgh).

A.1.5. La théorie et les expériences d'électrostatique sont, pour les élèves, difficilement reliées aux questions relevant de l'électrocinétique. Centré sur l'électrocinétique, le programme exclut donc totalement les références à l'électrostatique classique pour ne conserver que les résultats essentiels de la théorie du champ électrique. On profitera donc de l'étude du condensateur plan pour introduire la notion de champ électrique uniforme, ainsi que de la relation : $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.

On fait remarquer que l'animation de l'écran d'un oscilloscope est une conséquence de cette dernière relation. On utilise à cet effet l'analogie entre champ électrique uniforme et champ de pesanteur uniforme.

A.2. Electromagnétisme

Programme

A.2.1. Champ magnétique. Vecteur champ magnétique. Visualisation des lignes de champ (spectres magnétiques). Mesure de \vec{B} à l'aide d'un capteur.

A.2.2. Mise en évidence d'un champ magnétique par son action sur un faisceau d'électrons, sur un aimant. Force subie par une particule chargée dans un champ magnétique uniforme.

A.2.3. Les courants sources de champ magnétique : proportionnalité (dans l'air) du champ magnétique à l'intensité du courant qui le crée ; expression du champ magnétique produit par un solénoïde infiniment long.

A.2.4. Action d'un champ magnétique uniforme sur un élément de circuit parcouru par un courant : loi de Laplace.

A.2.6. Induction électromagnétique.

Mise en évidence de la f.é.m induite dans un circuit fixe placé dans un champ magnétique variable et dans un circuit que l'on déplace ou que l'on déforme dans un champ magnétique indépendant du temps.

Courant induit, loi qualitative de Lenz.

A.2.7. Inductance propre d'un circuit.

Energie électromagnétique emmagasinée dans un circuit parcouru par un courant : $W=1/2 LI^2$.

A.2.8. Milieux ferro ou ferrimagnétiques.

Vecteur excitation magnétique \vec{H} .

Courbes d'aimantation. Hystérésis. Champ magnétique rémanent et excitation coercitive.

Instructions et commentaires

On fait remarquer aux élèves que le fonctionnement des machines électriques, comme celui des haut parleurs, des appareils de mesures électriques à cadre mobile etc. constitue le champ d'application des lois de cette série de leçons. C'est ce qui permet d'ailleurs de donner à ces différentes lois une illustration expérimentale réaliste qui en fait ressortir le côté concret.

A.2.1. Le vecteur champ magnétique est noté \vec{B} le vecteur excitation magnétique est noté \vec{H}

A.2.2. Le produit vectoriel ne faisant pas partie du programme de mathématiques, cette notion n'est pas utilisée. La théorie du capteur utilisé (effet Hall, magnétorésistance,...) n'est pas au programme. On peut donner la formule de Lorentz, mais elle n'a pas à être mémorisée. La règle d'orientation est donnée.

A.2.3. Il est souhaitable que la partie A.2.3. suive immédiatement la partie A.2.1.

A.2.6. Les élèves n'ont pas à connaître l'expression de la loi de Faraday.

A.2.7. On montre qu'il est parfaitement possible de transformer une bonne partie de l'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine en énergie potentielle mécanique, en utilisant, comme en électrostatique, un petit moteur.

A.2.8. On attire l'attention des élèves sur les qualités extrêmement différentes des matériaux magnétiques "durs" comme ceux qui constituent les aimants, et celles des matériaux "doux" comme ceux qui sont utilisés pour former les tôles des transformateurs.

A.3. Régimes variables

Programme

A.3.1. Grandeurs périodiques non sinusoïdales : caractéristiques générales des grandeurs périodiques (période, fréquence, valeur instantanée, valeur moyenne, valeur efficace).

A.3.2. Régimes sinusoïdaux.

A.3.2.1. Pulsation d'une grandeur sinusoïdale ; intensité et tension efficace.

A.3.2.2. Représentations algébrique et géométrique (vecteurs de Fresnel), puis complexe des grandeurs sinusoïdales.

A.3.2.3. Dipôles linéaires élémentaires en régime sinusoïdal. Loi d'Ohm, impédance, admittance.

A.3.2.4. Puissance en régime sinusoïdal. Puissance instantanée. Puissance active. Puissance apparente. Puissance réactive. Facteur de puissance. Théorème de Boucherot. Wattmètres.

Instructions et commentaires

A.3.1. Il importe que la définition de la valeur efficace d'une grandeur périodique soit donnée pour la première fois en dehors de tout contexte sinusoïdal, de manière à éviter que ne se crée chez les élèves un réflexe simplificateur et réducteur conduisant à de lourdes erreurs.

Les calculs seront effectués dans les cas simples (signaux carrés, de rapport cyclique différent de $\frac{1}{2}$ ou fonctions périodiques en escalier). De tels signaux sont fournis par des générateurs de fonctions ou par des maquettes précâblées ; des voltmètres convenables permettent de vérifier la bonne concordance entre calculs et mesure ou d'interpréter les différences.

On met l'accent sur les appareils numériques qui, pour indiquer la valeur efficace X d'une grandeur $x(t)$, suivent point par point la démarche mathématique, à savoir : transformation de la grandeur $x(t)$ en son carré $x^2(t)$, puis élaboration de la valeur moyenne X^2 de $x^2(t)$, et enfin extraction de la racine carrée de X^2 . On signale que les appareils ferromagnétiques, encore utilisés, mais peu sensibles, répondent à la valeur efficace de l'intensité du courant qui parcourt leur cadre.

A.3.2.1. On effectue la démonstration de l'expression donnant la valeur efficace d'une grandeur sinusoïdale d'amplitude donnée sans le formalisme de l'intégration. On fait observer que la plupart des appareils (numériques ou analogiques) donnent correctement les valeurs efficaces des grandeurs sinusoïdales qui leur sont appliquées, alors qu'ils indiquent des valeurs erronées dans le cas de grandeurs revêtant d'autres formes. Ceci, parce qu'ils sont, en fait, sensibles à la valeur moyenne de la valeur absolue de la grandeur appliquée et non à sa valeur efficace.

A.3.2.2. Il faut privilégier l'utilisation des vecteurs de Fresnel qui suffit pour étudier les différents convertisseurs du programme de terminale. Il faut rester très modeste quant à l'utilisation de la notation complexe. Elle ne peut se faire qu'en étroite collaboration avec le professeur de mathématiques.

On peut écrire les grandeurs variant sinusoïdalement en fonction du temps sous diverses formes :

$A\sqrt{2} \cos(\omega t + \alpha)$, $A\sqrt{2} \sin(\omega t - \beta)$, etc. La phase d'une telle grandeur est l'argument de la fonction sinusoïdale utilisée: $(\omega t + \alpha)$, $(\omega t - \beta)$, selon le cas. La phase origine est la valeur de la phase lorsque la variable t est nulle : c'est (α) dans le premier cas, $(-\beta)$ dans l'autre.

Bien entendu, quand plusieurs grandeurs sinusoïdales synchrones sont étudiées, on choisit la même écriture générale pour les décrire toutes, et, en général, la phase origine de l'une d'elles, prise pour référence, est choisie nulle. Seules, en effet, les différences de phase, ou les déphasages sont importants. Cependant, pour que chacun puisse utiliser la même formule $Q = U I \sin \varphi$ donnant la puissance réactive (absorbée par un dipôle décrit par la convention récepteur ou fournie par un dipôle décrit par la convention générateur), on ne peut faire n'importe quel choix : dans cette expression, φ est la différence de phase $[\alpha(u) - \alpha(v)]$, ou déphasage (ou encore retard) de l'intensité $i(t)$ par rapport à la tension $u(t)$.

On remarquera que cela correspond indifféremment, en particulier, aux deux couples d'expressions :

$$u = U\sqrt{2} \cos(\omega t), i = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \varphi)$$

dans laquelle u est choisie pour référence (c'est la plus utilisée en électrotechnique), $i = I\sqrt{2} \cos(\omega t)$,

$u = U\sqrt{2} \cos(\omega t + \varphi)$ dans laquelle i est la référence.

A.3.2.3. Après l'étude des régimes sinusoïdaux, les élèves maîtrisent le formalisme de Fresnel et savent utiliser les grandeurs complexes dans des cas simples. Ils connaissent les impédances complexes des dipôles élémentaires. Ne pas utiliser exagérément la notation complexe.

A.3.2.4. Le " théorème de Boucherot ", dont la réputation a été quelque peu embellie par l'enseignement de l'électricité, ne fait que traduire de simples propriétés algébriques ou vectorielles. On insiste sur le fait que son application doit être limitée aux seuls régimes purement sinusoïdaux (excitation sinusoïdale et systèmes linéaires pour lesquels les courants et les tensions sont tous sinusoïdaux). L'utilisation de plus en plus fréquente de semi-conducteurs, conduit à des régimes où les courants (et/ou les tensions), ne sont pas sinusoïdaux, aussi la notion de puissance réactive, valable seulement en régime sinusoïdal, perd-elle quelque peu d'importance. En revanche la notion de facteur de puissance, défini par le rapport $\frac{P}{S}$, non nécessairement reliée au déphasage d'une grandeur par rapport à une autre, reste fondamentale.

B. ENSEIGNEMENTS A TRAITER EN TRAVAUX PRATIQUES

B.1. Régimes variables

Programme

B.1.1. Régimes transitoires.

B.1.1.1. Etude expérimentale de la charge d'un condensateur à travers une résistance.

B.1.1.2. Etude expérimentale de l'établissement du courant dans une bobine.

B.1.1.3. Etude expérimentale de la charge et de la décharge d'un condensateur dans un circuit inductif.

B.1.2. Enoncé de la propriété selon laquelle une grandeur périodique non sinusoïdale $x(t)$, de fréquence f , peut être considérée comme la somme d'une composante continue, d'une composante sinusoïdale de fréquence f [fondamental de $x(t)$], et d'autres composantes sinusoïdales de fréquences multiples de f [harmoniques de $x(t)$].

Instructions et commentaires

B.1.1. Après une étude expérimentale, le professeur établit des équations différentielles qui régissent les phénomènes étudiés. Il ne les résout pas. Il montre qualitativement et, si possible, quantitativement, qu'il y a bien concordance entre certaines de leurs implications et les observations : les équations différentielles rendent aisément compte des valeurs initiales et finales des courants et tensions, des valeurs de leurs dérivées initiales et finales, etc.

Lorsque les élèves auront acquis d'autres connaissances mathématiques, l'étude des propriétés des fonctions exponentielles du temps leur confirmeront d'une autre manière ce qu'ils auront découverts expérimentalement en cette première année.

B.1.1.1. On fait remarquer que, dans un circuit fermé comportant une résistance, l'écriture de la loi des mailles montre que le courant est nécessairement limité, car un des termes de l'équation (Ri) ne peut être infini alors que les autres sont finis. De ce fait, la charge d'un condensateur ne peut varier brusquement, pas plus par conséquent que la différence de potentiel entre ses armatures.

B.1.1.2. De la même manière, on montre que, dans un circuit fermé, les différences de potentiel étant finies, le flux φ à travers un circuit ne peut varier brusquement, ce qui entraîne l'absence de discontinuité pour la force magnétomotrice totale qui crée le flux φ

B.1.1.3. Ne faire qu'une étude qualitative. D'excellents logiciels permettent actuellement d'enregistrer et d'étudier sans calculs préalables, les fonctions du temps $i(t)$, $u_L(t)$ ou $u_C(t)$ obtenues en déchargeant un condensateur dans un circuit inductif.

B.1.2. Le fait qu'un signal périodique alternatif non sinusoïdal puisse être considéré comme la somme d'un fondamental et d'harmoniques sinusoïdaux, suffit à justifier l'importance que prend, en classe de première, l'étude des régimes sinusoïdaux. Il convient cependant de rester prudent quant à l'utilisation de termes mathématiques que les élèves ne peuvent en aucun cas dominer : on ne parle donc pas de théorème de Fourier, ni de série de Fourier et, bien entendu, on ne soulève aucun problème mathématique lié à la convergence des séries de Fourier.

On montre expérimentalement la réalité de cette possibilité de décomposition ; de même, la construction, point par point, sur l'écran d'un ordinateur, ou sur le papier à l'aide d'une calculatrice, de la courbe résultant de l'addition d'un certain nombre de sinusoïdes bien choisies sera la bienvenue. A cet égard, il n'est pas superflu, non plus, de faire vérifier point par point aux élèves que la somme de deux fonctions sinusoïdales de même fréquence f est encore une fonction sinusoïdale.

B.2. Régimes sinusoïdaux

Programme

Associations de dipôles. Résonance.

Instructions et commentaires

Seules les associations en série sont au programme. Une séance de TP cours, où les élèves manipulent effectivement, mesurent valeurs efficaces et déphasages etc. est beaucoup plus efficace qu'un cours traditionnel.

B.3. Fonctions de L'électronique

Programme

B.3.1. Introduction à la conversion de tension alternative en tension continue.

B.3.1.1. Diodes, redressement monophasé non commandé.

B.3.1.2. Filtrage par condensateur. Régulateurs de tension.

B.3.2. Introduction à la fonction amplification : amplification de tension par utilisation d'amplificateurs opérationnels, amplification de courant par transistors.

B.3.3. Introduction à la commutation : transistor fonctionnant en interrupteur commandé ; analyse de quelques propriétés des opérateurs logiques intégrés du commerce.

B.3.4. Introduction à la transmission de signaux non galvaniques : émetteurs, supports de transmission, récepteurs optoélectroniques.

Instructions et commentaires

B.3.1. Le but de l'étude du redressement n'est pas d'apprendre par cœur telle ou telle relation, mais de se familiariser avec les raisonnements qui permettent d'analyser correctement le fonctionnement de circuits comprenant des éléments non linéaires comme les diodes.

Les propriétés des régulateurs seront analysées puis utilisées pour construire des dispositifs simples possédant une fonction globale plus élaborée que la régulation de tension fixe. Le fait que telle tension disponible entre deux points d'un régulateur soit régulée, peut par exemple être mis à profit pour obtenir entre deux autres points une tension ou un courant régulés réglables.

B.3.2. A propos des amplificateurs opérationnels, on profite du TP cours pour donner quelques notions de base concernant la rétroaction et son influence sur la stabilité d'un montage contenant un ou des amplificateurs, en faisant constater expérimentalement l'influence des réactions que l'on peut effectuer à l'aide des entrées inverseuse et non-inverseuse. La présentation des transistors à jonctions, permet de montrer que le problème de l'amplification peut se régler en plusieurs temps : amplification de tension où les courants mis en jeu demeurent faibles, puis amplification de puissance pouvant conduire à des courants plus importants.

B.3.3. Cette étude restera simple. Il s'agit, puisque l'électronique n'est pas logique ou analogique, mais qu'elle combine en général les deux technologies, de montrer aux élèves que dans le domaine de l'électronique logique, également, des principes physiques essentiels sont mis en œuvre et qu'ils conditionnent l'usage des circuits correspondants.

B.3.4. Cette partie du programme est destinée à ouvrir l'horizon des élèves. Des ensembles (diode émettrice, fibre optique, transistor photodétecteur), sont disponibles à faible coût dans le commerce. On en fera étudier les caractéristiques électriques.