

Arrêté du 18 mai 1984

B.O. n° 28 (12-7-84)

(Education nationale : bureau DL 3)

Vu A. 4-2-1972 mod. not. par A. 8-5-1981 ; avis du conseil de l'enseignement général et technique du 20-4-1984.

Programmes des classes de mathématiques supérieures et mathématiques spéciales M, M' et P, P'.

Article premier. — Les programmes applicables dans les classes de mathématiques supérieures et de mathématiques spéciales M, M' et P, P' figurent en annexes du présent arrêté.

Art. 2. — Les dispositions de l'arrêté du 4 février 1972 modifié notamment par l'arrêté du 8 mai 1981 susvisé sont abrogées, à l'exclusion de celles concernant les programmes de mathématiques des classes de mathématiques spéciales M, M' et P, P'.

Art. 3. — Le présent arrêté entrera en application à compter de la rentrée scolaire 1984 pour les classes de mathématiques supérieures et à compter de la rentrée scolaire 1985 pour les classes de mathématiques spéciales M, M' et P, P'.

Art. 4. — Le directeur des Lycées est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Pour le ministre et par délégation :

Le directeur des Lycées,

C. PAIR.

(J.O.N.C. du 27 mai 1984)

ANNEXE I

Objectifs généraux et lignes directrices des programmes de mathématiques, de physique, de chimie et de dessin de construction

Présentation des programmes

Les programmes précédents étaient définis par les arrêtés du 4 février 1972 et du 25 février 1977, complétés par les circulaires du 27 avril 1973 et du 25 septembre 1973. En physique et en chimie, ils avaient été modifiés par l'arrêté du 8 mai 1981.

Il était nécessaire de recentrer leurs objectifs et d'infléchir leurs contenus pour tenir compte à la fois de l'évolution scientifique et technique, du bilan des programmes précédents, des demandes des écoles et des modifications de l'organisation de l'enseignement et des programmes au niveau des lycées.

Les nouveaux programmes qui sont présentés ici ont été élaborés à partir d'une réflexion s'étalant sur plus de deux années, pilotée par la commission « relations avec l'amont » de la conférence des grandes écoles et associant toutes les parties intéressées.

Le texte qui suit est organisé en deux parties : la première marque quelques points de repère concernant les finalités et les objectifs généraux de la formation dispensée dans les classes préparatoires concernées ; la seconde précise ces objectifs et trace quelques lignes directrices des contenus pour chacune des disciplines scientifiques : mathématiques, physique, chimie et dessin de construction.

I - Points de repère concernant les finalités et les objectifs

La formation d'ingénieurs et de chercheurs alliant une bonne compétence scientifique à des qualités personnelles éprouvées constitue un élément décisif du développement de la nation. Il convient donc que les classes de mathématiques supérieures et spéciales fournissent une formation de qualité et attirent des candidats de valeur, motivés par les études scientifiques.

Une formation de qualité se définit à la fois par un *bon niveau scientifique des connaissances*, par la *capacité à les mobiliser* dans des problèmes variés et par le *développement des capacités personnelles* des élèves (maîtrise des méthodes de travail et des moyens d'expression et de documentation). Il convient de développer non seulement la capacité à appliquer des connaissances à des problèmes préalablement répertoriés, mais aussi l'aptitude à étudier des problèmes plus globaux ou des questions issues de situations réelles, posées à l'état brut, et à forger les outils théoriques et expérimentaux pour les résoudre.

Les élèves doivent donc disposer d'un temps suffisant pour la réflexion personnelle et les activités de résolution de problèmes. Il convient donc aussi d'éviter toute ambition théorique gratuite et toute technicité excessive pour s'attacher à un meilleur approfondissement de ce qui est essentiel.

1. La formation scientifique

Ces finalités ont des implications importantes pour les objectifs et les contenus de l'enseignement des disciplines scientifiques et pour les activités proposées aux élèves. *Toute la richesse des démarches scientifiques doit être exploitée.* On ne saurait se borner à l'exposé, si parfait soit-il, de théories éventuellement suivies d'applications. Il convient au contraire de *centrer l'enseignement autour de l'étude de phénomènes et de problèmes*, les outils théoriques et expérimentaux étant au service de cette étude. En particulier, il est essentiel que *l'approfondissement théorique ne soit coupé ni des problématiques qui le sous-tendent ni des secteurs d'intervention qui le mettent en jeu de façon opératoire.*

A cet égard, il convient de souligner l'importance capitale des travaux pratiques, aussi bien en mathématiques qu'en sciences physiques : leur fonction ne saurait se réduire à la mise en œuvre d'applications directes du cours ; ils peuvent aussi être utilisés, selon les cas, pour motiver et préparer la mise en théorie, pour constituer un premier contact, de type expérimental, avec des problèmes dont l'étude générale sera effectuée ultérieurement, ou encore pour étudier des problèmes ou des phénomènes mobilisant de manière coordonnée divers chapitres du programme.

En mathématiques, cela signifie aussi que le développement de l'intuition et de la rigueur, loin d'être incompatibles, doivent aller de pair : formuler un problème, expérimenter sur des exemples, conjecturer un résultat, mettre en œuvre des outils théoriques, rédiger une solution rigoureuse, évaluer la pertinence des résultats obtenus au regard du problème posé ne sont que des moments différents d'une même activité.

De même, en physique et en chimie, cela signifie que le développement des qualités d'expérimentation et de raisonnement sont à mener de front : mettre en évidence un phénomène ou un problème, élaborer un dispositif expérimental et des outils théoriques pour l'étudier, préciser la portée des résultats obtenus et leur domaine de validité sont des éléments indissociables de l'activité scientifique. En outre, l'étude de quelques systèmes techniques, assertis de toutes leurs contraintes, pourrait apporter un éclairage synthétique complémentaire du précédent, mettre en évidence l'impact des connaissances fondamentales sur les technologies actuelles et faciliter une prise de conscience des problèmes techniques tels qu'ils se posent réellement.

Enfin, les aspects culturels de l'enseignement des sciences doivent être mis en valeur. Il ne faudrait pas que les impératifs liés aux concours imposent que toute question abordée dans les programmes y soit développée avec une grande technicité, et qu'inversement les aspects culturels soient perdus de vue. Cela nuirait à la qualité de la formation.

2. *Le développement des capacités personnelles*

Il tient une place capitale dans les objectifs de formation et concerne l'ensemble des disciplines ; ainsi, la maîtrise des moyens d'expression écrite et orale, et plus largement de la communication, est, bien sûr, l'objectif essentiel de l'enseignement du français et des langues vivantes, mais doit être aussi un souci majeur pour celui des disciplines scientifiques. De même, il ne faut pas négliger les moyens de documentation (emploi de documents écrits réalisés par les enseignants, emploi de livres, de revues...) ; ils contribuent au développement des capacités d'autonomie.

3. *L'unité de la formation*

Pour aider les élèves à effectuer la synthèse des connaissances acquises dans les différents domaines qu'ils ont étudiés, il est souhaitable de mettre en lumière les interactions des champs de connaissance. La coopération des enseignants d'une même classe ou d'une même discipline et, plus largement, celle de l'ensemble des enseignants d'un cursus donné peut y contribuer de façon efficace, et les initiatives dans ce domaine sont à encourager.

4. *Les facteurs d'évolution des programmes*

Pour l'élaboration des programmes de mathématiques, de physique, de chimie et de dessin de construction, il a été tenu compte de trois facteurs essentiels :

a) *L'évolution des disciplines considérées et, plus largement, l'évolution scientifique et technique*

Dans chaque cas, les propositions ont été faites en fonction non seulement du développement propre du secteur considéré mais aussi de ses interventions dans les autres sciences et techniques, en valorisant les interactions mutuelles.

b) *Le bilan des programmes précédents*

Ces programmes comportaient de nombreux points tout à fait positifs et ont fourni un point d'appui solide pour recentrer et infléchir les objectifs, les contenus et les méthodes d'enseignement, compte tenu aussi des difficultés qui ont pu se présenter au cours de leur mise en œuvre.

c) *L'évolution des formations placées en amont et en aval*

Pour ce qui est de l'amont, il a été tenu compte de la nouvelle organisation de l'enseignement dispensé dans les lycées, qui a pris effet en terminale en septembre 1983, et des modifications de programmes qui l'ont accompagnée.

Pour ce qui est de l'aval, les souhaits exprimés par la conférence des grandes écoles et par la commission des titres d'ingénieur ont joué un rôle de premier plan pour la conception des nouveaux programmes.

Quatre exigences importantes en ont découlé qui, bien entendu, concernent aussi la mise en œuvre de ces nouveaux programmes :

— On a voulu éviter toute rupture brutale entre les formations dispensées en classe de *mathématiques supérieures* et en classe de terminale, en tenant compte de façon réaliste des acquis et des non-acquis des élèves à l'entrée en *mathématiques supérieures*.

— Les programmes de la classé de *mathématiques supérieures* constituent un tronc commun bien équilibré de formation scientifique fondamentale à partir duquel les divers types de formation de seconde année (M', P', M, P, T') introduisent une diversification dans les objectifs et permettent aux élèves de s'orienter en fonction de leurs goûts et de leurs aptitudes.

Aucune des formations de deuxième année ne joue un rôle privilégié dans la définition des objectifs et des contenus de première année.

— Pour chacune des sections de *mathématiques spéciales*, les programmes reflètent à la fois l'unité et la diversité des formations dispensées dans les écoles qui recrutent à partir de ces programmes.

— On a voulu éviter toute surcharge de la masse des contenus et toute ambition théorique excessive : certes, le contenu scientifique de l'enseignement en classes préparatoires doit constituer une base solide et riche ; mais il ne saurait être considéré comme un bagage définitif, même pour la formation scientifique fondamentale. Il s'articule sur les différents cycles de formation des ingénieurs et des chercheurs dispensés dans les écoles.

5. *Les objectifs propres à chaque discipline*

C'est à partir des analyses précédentes que les objectifs majeurs ont pu être dégagés pour chacune des disciplines, sans perdre de vue les interactions qui concourent à l'unité de la formation des élèves. Ils sont précisés dans les parties suivantes de cette annexe, ainsi que par le texte même des programmes et des commentaires, qui font l'objet des annexes II à N.

En outre, on a amorcé la prise en compte de l'impact de *l'informatique*. Au niveau des classes préparatoires, son rôle peut être double :

— auxiliaire indispensable pour les disciplines scientifiques et techniques (sciences mathématiques, sciences physiques, dessin de construction...) : outil puissant de calcul, outil de traitement de signaux au sein des dispositifs expérimentaux, outil de simulation et de conception de systèmes physiques ou techniques et composant de systèmes complexes ;

— domaine de formation scientifique et élément de culture ayant une valeur spécifique : organisation et traitement de données, recherche et mise en forme d'algorithmes, construction méthodique de programmes, initiation aux méthodes logiques propres à l'informatique, maîtrise des langages scientifiques et du raisonnement, école de rigueur, outil de contrôle, d'expérimentation et de conception...

Dans l'immédiat, une intention assez modeste signale, pour chacune des disciplines scientifiques, quelques possibilités d'apport de l'informatique et indique quelques activités à mettre en œuvre dans le cadre des travaux pratiques de mathématiques et de sciences physiques. En outre, les initiatives des établissements sont à encourager : bon nombre d'enseignants se sont initiés à l'informatique et peuvent utiliser les ressources matérielles existantes pour valoriser l'apport des démarches informatiques au niveau des classes préparatoires.

III - Lignes directrices des programmes de physique

Un premier objectif du programme est de privilégier l'analyse physique en développant de front les qualités d'expérimentation et de raisonnement. Il est, en effet, essentiel que l'approfondissement théorique ne soit coupé ni des faits expérimentaux ni des problématiques qui le sous-tendent. Il s'agit, en particulier, d'éviter l'écueil traditionnel qui conduit à fabriquer des programmes où la physique risque d'être considérée par les élèves des classes préparatoires comme un enseignement simplement dérivé des mathématiques appliquées. La rédaction du programme, comme celle des commentaires l'accompagnant, a donc été entreprise avec le souci constant d'introduire le sens de l'expérimentation, du concret et de l'approximation. Ce programme tend également à favoriser l'attitude d'esprit propre au physicien, consistant à rechercher par le biais de modèles les paramètres significatifs fondamentaux qui gouvernent les phénomènes étudiés. C'est dans cet esprit que doit être abordé le premier chapitre (aspects cinétiques) du programme de thermodynamique qui se propose, au moyen de modélisations simples, de rendre l'enseignement de la thermodynamique moins abstrait et moins purement conceptuel. De même, l'électronique, nouvelle matière introduite, a été partagée entre les classes de mathématiques supérieures et de mathématiques spéciales, de telle sorte que la partie la plus concrète et la plus initiée par les travaux pratiques soit en place dès la classe de mathématiques supérieures. Enfin, il importe que les aspects culturels ne soient pas sacrifiés au profit de la seule technicité.

Un second objectif de ce programme est de développer les vues synthétiques. Certains modes de raisonnement employés dans la modélisation des phénomènes physiques présentent un caractère assez général et transposable d'un domaine à l'autre. Ainsi, l'étude des phénomènes ondulatoires est spécialement adaptée pour montrer comment les connaissances acquises en électromagnétisme par exemple peuvent être transférées en mécanique et inversement.

Le changement d'état d'esprit voulu dans ce programme se traduit, en particulier, par une modification assez profonde de l'enseignement de la mécanique en seconde année. La mécanique du solide a été significativement réduite au profit d'éléments de mécanique des fluides. La disparition voulue de l'étude de l'opérateur d'inertie a pour but de limiter strictement les développements en mécanique du solide. Il suffira d'illustrer, par des exemples simples et appropriés, les points les plus fondamentaux.

L'électronique, en tant qu'outil privilégié pour le développement scientifique et technique, a pour objectif principal d'étudier les fonctions des systèmes électroniques plutôt que les composants électroniques par eux-mêmes. Cette partie du programme doit être l'occasion de marquer d'une façon plus nette les liens étroits existant entre les sciences physiques et la technologie. Plus généralement, il paraît indispensable, tant pour la formation des ingénieurs que celle des chercheurs, de favoriser une prise de conscience de la nature des problèmes techniques tels qu'ils se posent réellement et de la mobilisation coordonnée des connaissances fondamentales acquises en sciences physiques, ceci afin de maîtriser ces problèmes techniques.

En ce qui concerne les techniques calculatoires, elles ne sont pas négligées, mais elles ne doivent pas devenir une fin en soi. Il convient de souligner à ce sujet que l'outil informatique constitue un puissant moyen de calcul qu'il importe d'utiliser pour exploiter, par exemple, des données expérimentales en travaux pratiques ou bien pour mettre en œuvre un modèle dont la résolution numérique s'avère lourde et complexe.

Enfin, dans le programme et ses commentaires, on ne perd jamais de vue que la règle d'entrée dans les écoles est celle des concours. Les limites du programme sont donc indiquées avec précision, soit par des notes placées en exergue des différentes parties, soit dans les commentaires. Il convient de souligner la nécessité impérieuse de respecter ces limites, aussi bien au niveau de l'enseignement que des concours. Il est certain que tout dépassement entraînerait une surcharge des programmes qui nuirait à la qualité de la formation. Il importe également que le changement d'état d'esprit souligné plus haut trouve sa traduction au niveau des sujets proposés. En particulier, il est souhaité que l'analyse de situations physiques trouve sa place dans des sujets équilibrés.

IV - Présentation du programme de chimie - Exposé des objectifs (succ)

PROGRAMMES ET COMMENTAIRES DE SCIENCES PHYSIQUES

PHYSIQUE

PREAMBULE

Ce programme est fondé sur le désir d'apporter aux futurs élèves des grandes écoles des connaissances de physique générale adaptées à leur vocation scientifique et technique. Il s'appuie sur les programmes de l'enseignement du second degré dont la qualité et l'ambition sont à la mesure d'une solide formation scientifique. On remarquera toutefois que ces derniers programmes ont une orientation « fondamentaliste » assez marquée et n'abordent que légèrement les phénomènes macroscopiques. Par conséquent, les buts recherchés ici sont de divers ordres. Tout d'abord affiner et synthétiser les connaissances déjà acquises en mécanique, électromagnétisme et physique ondulatoire. Ensuite, faire un premier pas en avant dans l'étude des phénomènes macroscopiques en défrichant la thermodynamique, discipline presque totalement nouvelle, en familiarisant les élèves avec la phénoménologie de cette physique et la nature du raisonnement thermodynamique. Ménager une place importante à l'intégration des connaissances acquises, en étudiant la physique de la matière où le lien avec le concret peut être réellement effectué, cependant que toute référence à la physique quantique a été délibérément limitée aux notions indispensables pour les programmes de chimie et de physique de la matière. Enfin, l'électronique, discipline dont il est inutile de souligner l'importance, a été introduite en tant qu'élément nouveau et fondamental. A ce sujet ressort de façon aiguë le rôle important et formateur joué par les travaux pratiques où l'électronique doit avoir une place de premier ordre.

Les unités utilisées seront celles du système international, à l'exclusion de tout autre.

L'étude systématique des « calculs d'incertitude » et des « équations aux dimensions » est exclue du programme. On fera cependant appel aux notions d'incertitude et de coefficients de dimension chaque fois que l'occasion se présentera dans le cours, les exercices, les travaux pratiques ; on distinguera erreurs systématiques et erreurs aléatoires, on introduira sur des exemples les notions d'écart-type et de variance.

Compte tenu des diverses méthodes d'exposition possibles de ce programme, il ne pourra être demandé de questions de cours aux épreuves écrites des concours d'entrée dans les grandes écoles scientifiques.

Les épreuves orales de ces concours peuvent comporter des questions de cours portant exclusivement sur le programme de seconde année. Les problèmes et exercices proposés aux épreuves des concours peuvent porter sur les programmes de première et de deuxième année.

CLASSE DE MATHÉMATIQUES SUPÉRIEURES

A - Physique de la matière - Thermodynamique

Programme

Commentaires

1. Aspects cinétiques de la thermodynamique

Théorie cinétique des gaz parfaits. Définition cinétique de la pression et de la température.

Facteur de Boltzmann.

Limitation du modèle du gaz parfait ; gaz réels. Libre parcours moyen ; notion statistique de section efficace.

Phénomènes de diffusion. Conservation des particules. Loi de Fick. Coefficient d'autodiffusion d'un gaz.

Conduction de la chaleur. Conductivité thermique. Loi de Fourier.

— Cette partie du programme a pour objet de rendre plus claires diverses notions du cours de thermodynamique. Tout développement sur la thermodynamique statistique est strictement hors programme. On utilisera des modélisations simples permettant de dégager les paramètres physiques significatifs des phénomènes étudiés.

— On traitera le modèle du gaz parfait monoatomique.

— Le contexte dans lequel est introduit et sera utilisé le facteur de Boltzmann est celui de la probabilité d'occupation d'un état d'énergie donnée, pour un élément microscopique d'un système, à température imposée, ces éléments étant indépendants et discernables.

— On se bornera à dégager le rôle du volume fini des molécules et des interactions moléculaires en se limitant à l'équation d'état de Van der Waals et au développement du viriel limité aux deux premiers termes :

$$P = \frac{NkT}{V} \left(1 + \frac{N}{V} B(T) + \dots \right).$$

La notion de section efficace différentielle est hors programme.

— L'étude sera limitée à la diffusion unidirectionnelle d'une substance à travers elle-même (autodiffusion de molécules marquées : isotopes, molécules radioactives). On établira, à partir d'un modèle simple, le lien entre le coefficient d'autodiffusion d'un gaz et le libre parcours moyen.

— L'étude sera limitée à la conduction unidirectionnelle dans les corps homogènes et isotropes.

2. Systèmes thermodynamiques

Description des systèmes en équilibre. Systèmes simples, homogènes, isotropes, hétérogènes. Notion de phase.

Variables thermodynamiques. Variables extensives (volume, charge électrique...), variables intensives (pression, température, potentiel électrique, concentration).

Relations expérimentales entre les variables d'un système en équilibre. Existence d'une relation $P-V-T$, coefficients thermoélastiques et calorimétriques c_p , c_v pour les corps purs.

Vitesse d'évolution d'un système : constantes de temps associées aux divers paramètres d'un système évoluant vers un état final d'équilibre.

Notion d'irréversibilité thermodynamique. Cas limite de la réversibilité. Systèmes isolés. Systèmes non isolés : systèmes pour lesquels se produit avec l'extérieur un transfert par exemple de chaleur, de travail mécanique ou électrique, de quantité de mouvement, de matière, de rayonnement, de charge électrique.

3. Premier principe de la thermodynamique

Bilans énergétiques. Energie interne U . Enthalpie H .

4. Deuxième principe de la thermodynamique

Second principe.

Entropie S . Bilan entropique. Exemples simples de processus irréversibles. Définition thermodynamique de la température.

— On s'attachera à dégager le but et l'universalité de la thermodynamique. Le passage d'une description microscopique à une description macroscopique conduit à des grandeurs, moyennes de grandeurs microscopiques, mais de plus nécessite l'introduction de grandeurs thermodynamiques spécifiques (température, entropie). On utilisera des exemples de systèmes les plus variés possibles (fluides, systèmes électrostatiques, électrochimiques, chimiques, machines thermiques...).

— On évitera de s'étendre sur le caractère intensif ou extensif des variables ; on se limitera à une distinction de caractère intuitif entre ces deux catégories de variables.

— On donnera d'autres exemples que les fluides : condensateur plan avec diélectrique, fil élastique... ; on indiquera des phénomènes permettant le repérage des températures.

— On donnera sous forme exclusivement descriptive des exemples de situations pour lesquelles le système peut être considéré comme en équilibre vis-à-vis de certaines variables à constantes de temps brèves et hors d'équilibre vis-à-vis d'une ou plusieurs variables à évolution beaucoup plus lente.

— On décrira en particulier les systèmes en cours de réaction chimique. On appellera systèmes ouverts les systèmes non isolés où il y a transfert de matière avec l'extérieur.

— On se limitera à l'étude des systèmes fermés. On traitera en particulier les détenteurs à énergie interne constante et celles à enthalpie constante. Des exemples de bilan généralisé, incluant l'énergie cinétique macroscopique du système, non comptabilisés dans H , seront donnés.

— On prendra en particulier comme exemples de systèmes les machines thermiques et on introduira la notion de rendement maximal (théorème de Carnot). On complètera l'étude des détenteurs à énergie interne constante et à enthalpie constante.

— Les fonctions F et G , introduites dans le cours de chimie, seront également utilisées sur des exemples simples dans le cours de physique. Les relations de Maxwell ne sont pas au programme.

B - Mécanique

Note. - Aucun problème d'écrit ne pourra porter exclusivement sur la relativité restreinte.

Programme

1. Systèmes de points matériels

Espace et temps d'un observateur. Définition physique d'un point matériel ; état d'un système de points, description de cet état : variables $(\vec{x}_i, \vec{v}_i)$.

Evolution de l'état : principe fondamental de la dynamique. Repères galiléens, principe de relativité.

Composition des mouvements. Référentiels non galiléens, accélérations d'entraînement et de Coriolis ; référentiels en rotation uniforme, référentiels uniformément accélérés et gravitation. Introduction des forces d'inertie.

Energie. Energie cinétique ; travail d'une force, énergie potentielle. Conservation de l'énergie pour un système isolé.

Commentaires

— Les formalismes lagrangien et hamiltonien sont hors programme.

— Les systèmes continus ne seront étudiés qu'en classe de mathématiques spéciales.

Quantité de mouvement. Référentiel du centre de masse. Conservation de la quantité de mouvement totale pour un système isolé.

Moment cinétique. Conservation du moment cinétique.

2. Systèmes de deux points matériels

Référentiel du centre de masse, masse réduite, moment cinétique par rapport au barycentre. Mouvement relatif, réduction du problème à celui d'une particule dans un potentiel. Etats liés, états de diffusion. Collision entre deux particules, notion de section efficace.

3. Etude de quelques cas particuliers

Potentiels centraux.
Potentiel newtonien ; états liés, états de diffusion.

Potentiel harmonique.
Oscillateur amorti, oscillations forcées, résonance.

4. Relativité restreinte

Principe de relativité, référentiels galiléens.

Notion d'événement. Transformation de Lorentz spéciale.
Limite « non relativiste ».

Temps propre, dilatation des temps.

Transformation de Lorentz pour l'énergie et l'impulsion d'une particule libre ; relation fondamentale entre masse, énergie et impulsion pour une particule libre. Relations entre énergie, impulsion, masse et vitesse pour une particule de masse non nulle.

Conservation de l'énergie et de l'impulsion lors de chocs élastiques ou inélastiques entre particules.

5. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique ou dans un champ magnétique uniformes et indépendants du temps

— Les particules seront assimilées à des points matériels.

— On se limitera ici au calcul de la section efficace pour des sphères dures.

— La notion de section efficace différentielle est hors programme.

— Dans tous les cas qui s'y prêtent, on discutera et on utilisera les constantes du mouvement.

— On se limitera à l'étude du mouvement des planètes et de l'expérience de Rutherford en se bornant aux résultats essentiels. L'étude générale du champ de pesanteur terrestre est hors programme.

— L'étude des oscillateurs sera l'occasion d'étudier la stabilité de l'équilibre et de faire ressortir la notion de puits de potentiel. Cette étude pourra être faite parallèlement à celle des circuits parcourus par des courants sinusoïdaux, les analogies électromécaniques seront soulignées et serviront à mettre en relief la très grande portée physique des méthodes utilisées et des résultats obtenus.

— Les oscillateurs couplés sont hors programme.

— Aucune des expériences ni aucun des arguments théoriques menant à l'élaboration de la relativité restreinte ne pourront faire l'objet de questions au concours, ni à l'écrit ni à l'oral.

— Toute démonstration des formules de Lorentz est hors programme.

— On se limitera à des applications simples tirées de la physique des particules. Le phénomène d'aberration est hors programme.

— La connaissance de l'effet Doppler n'est pas exigible des élèves.

— Toute démonstration est hors programme.

— On se bornera à donner la définition d'un quadrivecteur et de sa « norme ». Le formalisme quadrivectoriel (produit « scalaire »...) est hors programme.

— On énoncera ces propriétés de conservation comme un principe, sans donner de démonstration. Dans les applications, on se limitera impérativement aux trois cas suivants :

- désintégration en deux corps d'une particule instable,
- collision élastique de deux particules,
- seuil de production de particules dans une réaction entre deux particules initiales.

— Dans le cas des collisions inélastiques, la nature des particules sera indiquée.

— L'étude portera à la fois sur le cas de la mécanique newtonienne et sur celui de la mécanique relativiste ; toutefois, dans ce dernier cas, et pour un champ électrique, on se limitera au seul mouvement rectiligne.

C - Atome

Programme

1. Structure atomique de la matière

Electron, proton, neutron ; le noyau, nombres Z , A , les isotopes ; constante d'Avogadro, mole, masse atomique.

Commentaires

— Seul un aspect descriptif est demandé. On insistera sur les ordres de grandeur.

2. Quantification de l'énergie pour les systèmes liés

a) Aspects expérimentaux de la quantification en physique atomique, moléculaire et nucléaire.

b) Atomes hydrogénoïdes et atomes à un électron

- Difficultés d'une représentation classique.
- Explication qualitative de l'existence d'une valeur minimale pour l'énergie totale d'une particule dans un potentiel confinant, stabilité de la matière.
- Nombres quantiques n, l, m , notion de fonction d'onde d'espace $\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)$, probabilité de présence de l'électron pour un atome monoélectronique. Orbitales s et p .
- Introduction d'un quatrième nombre quantique : spin de l'électron.

— Le but de ce chapitre n'est pas d'introduire le formalisme de la mécanique quantique mais d'expliquer qualitativement l'origine de la quantification et l'influence des divers paramètres physiques entrant en jeu.

— On se limitera dans les illustrations du comportement ondulatoire de la matière à la présentation qualitative des expériences d'interférences et à la diffraction des particules (électrons, neutrons).

— L'équation de Schrödinger n'est pas au programme. On n'introduira la notion de fonction d'onde que de façon descriptive, en soulignant comment la symétrie sphérique du problème mène à utiliser les nombres quantiques n, l, m . On insistera sur la relation entre ces nombres quantiques et les énergies correspondantes et sur les dégénérescences. L'exemple de la désintégration du tritium, où le changement brusque de la charge du noyau provoque un changement de toutes les fonctions d'onde, pourra l'illustrer. Les connaissances indiquées dans cet alinéa ne sont pas exigibles des élèves.

— Le modèle de Bohr est hors programme. On ne donnera aucune justification théorique de la notion de spin.

D1 - Electricité

Programme

Commentaires

1. Charges et courants : charge élémentaire, distribution continue, densité de charge, densité de courant, conservation de la charge.
2. Loi de Coulomb. Champ électrostatique dans le vide. Potentiel électrostatique. Flux, théorème de Gauss. Expression générale du potentiel et du champ créés par une distribution de charges quelconque statique. Energie potentielle d'interaction d'un système de charges ponctuelles.
3. Dipôle ; champ créé ; action d'un champ électrique uniforme.
4. Conductibilité ; loi d'Ohm.

— Il s'agit ici d'un ensemble rigide de deux charges q et $-q$. Tout développement multipolaire est hors programme.

— On se limitera à la conductibilité électrique des métaux. La théorie des bandes est hors programme.

D2 - Circuits électriques linéaires

Toute cette étude est limitée au régime permanent ou quasi-stationnaire

Programme

Commentaires

1 - Lois de base

Lois de Kirchhoff (mailles et nœuds).

On fera ressortir le caractère fondamental de ces lois. La théorie générale des réseaux est hors programme.

2 - Éléments de circuit

Dipôles R, L et C ; sources de courant, de tension, indépendantes ou liées ; association d'éléments en série, en parallèle ; diviseur de courant, de tension.

Le formalisme matriciel des quadripôles est exclu. On insistera sur l'importance et la nécessité d'une convention d'orientation des courants et tensions. La notion d'inductance mutuelle est exclue à ce stade.

3 - Théorèmes de base et modélisation

Théorème de superposition.
Représentation de Norton, de Thévenin.

On mettra en évidence l'utilité de ces représentations pour ramener un circuit linéaire à l'un des circuits modèles précédemment étudiés. On indiquera, pour ces deux représentations, le dipôle équivalent à une source « éteinte ».

4 - Exemples d'applications ; régimes de fonctionnement

Régime continu.

Régime sinusoïdal ; représentation complexe ; impédance ; puissance moyenne ; grandeurs efficaces ; facteur de puissance.

On rappellera la représentation de Fresnel. La notion de puissance réactive et le théorème de Boucherot ne sont pas au programme.

Réponse à une excitation en courant ou en tension :

Réponse permanente sinusoïdale.

Réponse à un échelon : résolution de l'équation différentielle avec conditions initiales.

On étudiera expérimentalement les configurations à deux éléments (R, C) ou (R, L) et au plus à trois éléments (R, L, C).

On introduira la notion de fonction de transfert

$$H(j\omega) = G(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$$

On fera effectuer des tracés expérimentaux en portant en abscisse ω en échelle logarithmique et, en ordonnée, $G(\omega)$ en échelle logarithmique et $\varphi(\omega)$ en échelle linéaire.

La notion de décibels sera introduite ainsi que celle de fréquence de coupure f_c à -3 db.

Le calcul sera effectué pour les circuits à deux éléments (R, C)

On fera effectuer des relevés expérimentaux de réponse $s(t)$. On montrera, uniquement pour les seuls circuits à deux éléments (R, C), que les caractéristiques fondamentales des courbes $s(t)$, $G(\omega)$ et $\varphi(\omega)$ sont liées.

Les élèves devront posséder une bonne maîtrise de ces concepts et outils afin de savoir effectuer le calcul d'un courant ou d'une tension dans un réseau à faible nombre d'éléments de manière efficace, c'est-à-dire par l'utilisation intelligente de théorèmes de base. Cette maîtrise est indispensable pour assimiler avec profit le paragraphe « circuits électroniques » donc on notera que certains aspects peuvent être traités simultanément avec cette partie du programme.

D3 - Circuits électroniques

Une épreuve écrite portant uniquement sur cette rubrique est exclue.

Les travaux pratiques apporteront une contribution fondamentale à l'enseignement de cette partie du programme qui repose sur la pratique de l'amplificateur opérationnel. La formalisation et les concepts seront développés par la suite en classe de mathématiques spéciales.

Programme

Amplificateur opérationnel

Amplificateur opérationnel idéal : défini comme un amplificateur de tension différentiel idéal de gain μ infini.

Amplificateur opérationnel réel

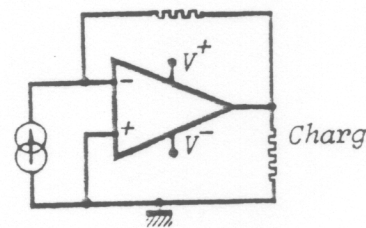
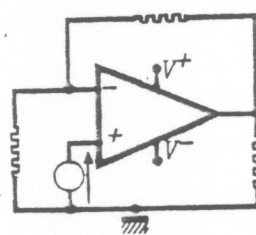
Réalisation d'opérateurs « multiplication par une constante »

Réalisation d'autres opérateurs linéaires à l'aide d'amplificateurs opérationnels :
— inverseur et sommateur

Commentaires

On distinguera les entrées inverseuse et non inverseuse. On se limitera au cas d'alimentation par tensions symétriques. Les limitations non linéaires et les causes de destructions seront évoquées à l'occasion des travaux pratiques.

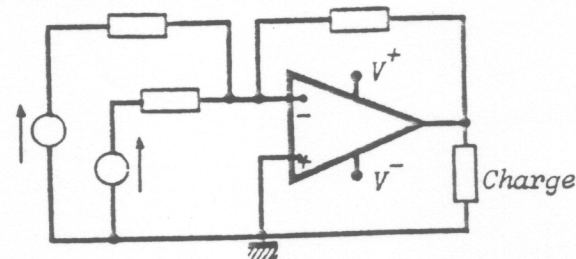
Les circuits de base ci-dessous seront analysés en détail, d'abord dans le cas d'un amplificateur opérationnel idéal, puis, en tenant compte de la valeur finie de μ , dans le cas d'un amplificateur opérationnel réel.



L'existence d'un décalage en sortie, l'influence de la valeur de la résistance de charge ou des résistances de la boucle de rétroaction seront observées en travaux pratiques.

Les opérateurs mentionnés seront présentés en cours et réalisés en travaux pratiques.

On discutera le schéma suivant :



— intégrateur avec remise à zéro par interrupteur.

Exemple d'opérateur non linéaire : comparateur.

On évoquera en travaux pratiques et sans développement le phénomène de dérive de la sortie en fonction du temps. Dans les exercices, on se limitera à des structures du premier ordre dérivées du circuit inverseur en remplaçant les résistances par des circuits R, C série ou parallèle.

CLASSES DE MATHÉMATIQUES SPÉCIALES M M'

A - Mécanique

Le programme de mécanique des systèmes s'appuie sur celui de mécanique des systèmes de *points matériels* des classes de mathématiques supérieures, dans lequel la plupart des concepts cinétiques, dynamiques, énergétiques et théorèmes associés ont été introduits, en les étendant à des situations où la répartition de masse est décrite par une distribution continue.

En ce qui concerne la mécanique des fluides, en vue d'éviter tout débordement de ce programme, il est précisé qu'aucun sujet d'écrit ou question d'oral de concours ne peut porter sur les fluides visqueux.

Pour l'étude du moment cinétique d'un solide indéformable, le commentaire est restrictif et aucun sujet d'écrit ou question d'oral de concours ne peut supposer connues les notions d'opérateur d'inertie ou d'axes principaux.

Programme

Mécanique des systèmes

1. Système matériel. Centre d'inertie.
Champ des vitesses. Énergie cinétique.
2. Forces et couples extérieurs à un système matériel ; forces et couples donnés ; forces et couples de liaison ; action et réaction.
Travail d'un système de forces. Énergie potentielle. Énergie mécanique.
3. Éléments de mécanique des fluides
— Modèle du fluide continu, fluide en équilibre, champ de pression, éléments de statique.

Champ des vitesses. Flux de masse, conservation de la masse.
— Écoulement stationnaire ; ligne et tube de courant.
— Fluide incompressible et sans viscosité.
Equation d'Euler. Relation de Bernoulli.
4. Solides indéformables.
— Contact de deux solides ; frottement de glissement.

— Mouvement d'un solide mobile autour d'un axe fixe.
Moment cinétique.

— Mouvement de la toupie symétrique dans l'approximation gyroscopique.

Commentaires

Les formalismes lagrangien et hamiltonien ne sont pas au programme.

La connaissance des tenseurs n'est pas exigible des élèves.

Les notions de déplacement virtuel et de travail virtuel sont hors programme.

Cette étude pourra servir à faire ressortir la signification concrète des opérateurs vectoriels : divergence, rotationnel.

L'étude dynamique des fluides compressibles est hors programme.

— On citera les trois types de frottement, mais on ne traitera que les lois de Coulomb relatives au frottement de glissement. Aucun problème ou exercice ne sera donné sur le frottement de roulement ou de pivotement. Ce chapitre sera l'occasion de faire ressortir la notion de modélisation et la nécessité d'un traitement phénoménologique du problème physique considéré.

— L'opérateur d'inertie et l'ellipsoïde d'inertie sont hors programme. En vue d'illustrer le fait que la direction du moment cinétique et l'axe de rotation du solide sont en général distincts, on se limitera donc à des exemples simples pour lesquels le moment cinétique est calculable directement.

— L'étude en tant que telle du mouvement d'un solide mobile autour d'un point fixe est hors programme. L'approximation gyroscopique consiste à supposer que la toupie est en rotation suffisamment rapide autour de son axe de symétrie pour que l'on puisse d'emblée, dans l'expression du moment cinétique, négliger le mouvement supposé lent de cet axe.

B - Physique ondulatoire

Cette partie du programme sera étudiée en liaison notamment avec la partie C - Électromagnétisme

L'ordre de présentation est laissé au libre choix du professeur.

Programme

1. Équation d'onde classique à une dimension

Commentaires

— La forme de l'équation d'onde sera établie dans deux cas : ondes électromagnétiques, propagation d'une onde longitudinale dans un fluide.

Forme générale des solutions ; solutions stationnaires ; ondes progressives ; principe de superposition.
Vibrations longitudinales et transversales.
Solutions avec deux conditions aux limites ; modes propres ; superposition de solutions stationnaires, analyse en série de Fourier.
Ondes planes progressives, vecteur d'onde.
Paquet d'ondes.

2. Interférences, diffraction

Interférences non localisées entre deux ondes cohérentes.

Interférences à l'infini entre N ondes cohérentes.
Principe de Huygens-Fresnel ; diffraction à l'infini d'une onde plane par une ouverture rectangulaire, cas de la fente.

3. Optique géométrique

Approximation de l'optique géométrique ; rayons lumineux ; réflexion ; réfraction.
Principe de Fermat, conséquences.
Miroirs sphériques et lentilles sphériques minces dans l'approximation de Gauss.

— On se limitera à une description qualitative et expérimentale.

— On se limitera à une présentation simple de cette notion. En particulier, l'étude des milieux dispersifs n'est pas au programme des classes M, M'.

— Toute étude générale de la cohérence est exclue. On se limitera au cas d'ondes scalaires. En optique, on utilisera la représentation scalaire.

— La théorie des réseaux est hors programme.

— Le principe de Huygens-Fresnel sera simplement énoncé.

— On se bornera à une description qualitative de cette approximation.

— Toute étude générale des systèmes centrés est exclue. La méthode matricielle est hors programme. Le but est de familiariser les élèves avec des montages simples comportant des lentilles et des miroirs. Il est particulièrement recommandé d'utiliser des représentations géométriques.

C - Electromagnétisme

Une épreuve écrite portant *uniquement* sur le rayonnement est exclue.

Programme

Commentaires

1. Electrostatique

Equilibre électrostatique d'un conducteur dans le vide : théorème de Coulomb.

Condensateurs.
Energie d'un condensateur.

— On introduira à propos du condensateur plan la densité volumique d'énergie $\frac{\epsilon_0}{2} E^2$.

2. Magnétostatique dans le vide

Champ magnétique défini par son action sur des courants. Force de Lorentz, force de Laplace. Action d'un champ magnétique uniforme sur un circuit filiforme indéformable, moment magnétique, énergie potentielle d'interaction, couple.

Les courants comme sources du champ magnétique. Champ créé par une distribution stationnaire de courants. Loi de Biot et Savart. Conservation du flux de $\vec{B}$. Potentiel vecteur $\vec{A}$. Expression du potentiel — vecteur créé par une distribution stationnaire de courants. Théorème d'Ampère.

Equations locales du champ magnétostatique.
Dipôle magnétique : signification physique.
Champ créé, actions subies.

— Le potentiel scalaire magnétique est hors programme.

3. Induction

Champ électromoteur d'induction ; f.e.m. d'induction pour un circuit ou une portion de circuit filiformes.

Induction mutuelle de deux circuits ; induction propre.
Energie magnétique.
Expression de la loi de Faraday sous forme locale.

— On considérera le cas du déplacement d'un circuit dans un champ magnétique stationnaire et le cas d'un circuit fixe dans un champ magnétique variable.

— On se limitera au cas de deux circuits filiformes.

4. Equations de Maxwell

Equations de Maxwell.

Energie électromagnétique, puissance échangée entre un champ électromagnétique et des porteurs de charges libres.
Vecteur de Poynting, densité d'énergie électromagnétique.

— Le formalisme quadridimensionnel et les transformations relativistes des champs sont hors programme.

5. Propagation

Equation de propagation des champs électrique et magnétique dans le vide. Transversalité des champs.
Caractère vectoriel des ondes électromagnétiques, états de polarisation.

Comportement, sous incidence normale, d'une onde électromagnétique au voisinage d'un conducteur.
Limite du conducteur parfait.

6. Rayonnement

Champ électromagnétique rayonné à grande distance par un dipôle électrique.
Puissance rayonnée.

Approximation locale par une onde plane.

— Les potentiels retardés sont hors programme.

— On indiquera l'action d'une lame quart d'onde et d'une lame demi-onde sur un état de polarisation rectiligne. On supposera les lames « idéales », c'est-à-dire sans absorption. Toute étude de leur structure, de leur fonctionnement et de leur réalisation pratique est hors programme.

— On énoncera sans démonstration la formule donnant le champ électromagnétique rayonné à grande distance, dont la connaissance ne pourra être exigée ni aux épreuves écrites ni aux épreuves orales.
La théorie générale du rayonnement est hors programme.
Toute étude des antennes est hors programme.

D - Circuits électroniques

L'enseignement de l'électronique a débuté en classe de mathématiques supérieures. Il a été volontairement axé sur le concret, et il s'est appuyé sur des travaux de laboratoire devant familiariser les élèves avec la pratique de l'amplificateur opérationnel.

Le programme de mathématiques spéciales, partant de cet acquis expérimental, introduit le formalisme et les concepts de base qui sont essentiels pour *modéliser* un circuit électronique, dans le double objectif de sa *conception* et de son *analyse*.

A nouveau, et à ce second stade, les travaux pratiques jouent dans cette initiation un rôle primordial.

Programme

Commentaires

Concepts essentiels

Signal, source, opérateur, charge.
Opérateur unidirectionnel.

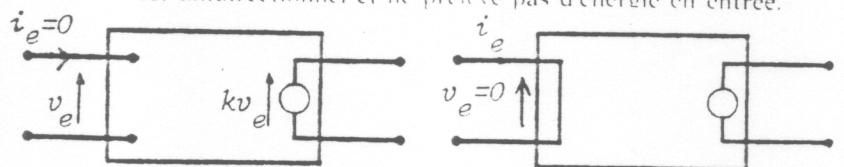
Dans cette présentation, on adopte les restrictions suivantes : le signal est l'amplitude instantanée d'une tension ou d'un courant ; la source est modélisée par sa représentation de Thévenin ou de Norton ; l'opérateur unidirectionnel est constitué par un (ou des) dipôle(s) d'entrée et un dipôle de sortie ; il existe (ou non) une liaison commune (masse) entre la (ou les) entrée(s) et la sortie ; la charge est une résistance pure. Ce paragraphe est une introduction à traiter brièvement.

Opérateurs « multiplication par une constante »

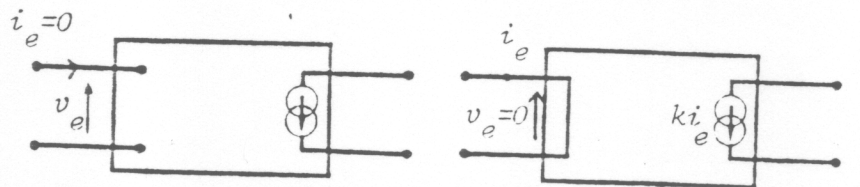
Opérateurs idéaux : définition par les modèles à source liée.

Gain en puissance. Nécessité d'un apport d'énergie.

Un opérateur « multiplication par une constante » idéal réalisé une des quatre fonctions représentées sur les figures ci-dessous. Il est unidirectionnel et ne prélève pas d'énergie en entrée.



Amplificateur de tension idéal



Amplificateur de courant idéal

Le nom usuel d'amplificateur est restreint aux opérateurs dont les signaux d'entrée et de sortie sont de même type et dont le coefficient multiplicatif, sans dimension, est, en valeur absolue, supérieur à l'unité.

A l'occasion des travaux pratiques, et uniquement pour l'amplificateur de tension, le professeur introduira des méthodes de calcul ou de mesure du décalage en sortie, du coefficient multiplicatif et des résistances d'entrée et de sortie. Compte tenu de

Opérateurs réels unidirectionnels.

Modèle de l'opérateur (par schéma équivalent) : existence éventuelle de décalage en sortie, résistances d'entrée et de sortie.

Rétroaction

Introduction à la rétroaction

Cette notion sera introduite à partir du schéma-bloc suivant, comportant deux opérateurs de proportionnalité *idéaux* et un soustracteur.

Notion de stabilité.

Cas où $\mu\beta$ est très supérieur à 1.

Application aux circuits électriques

Analyse des deux circuits avec rétroaction et identification au schéma-bloc.

l'existence possible d'un décalage, le calcul (ou la mesure) s'effectue vis-à-vis des variations. On ne prendra pas d'exemples d'opérateurs non unidirectionnels tels que la valeur de la résistance de charge intervienne dans celle de la résistance d'entrée et, de même, tels que la valeur de la résistance de la source intervienne dans celle de la résistance de sortie. Le professeur mettra en évidence les limitations linéaires (bande passante) et non linéaires (saturation en tension et éventuellement en courant de sortie, vitesse de balayage).

Les coefficients multiplicatifs μ et β sont réels.

On traitera en exercice le cas où $s = \mu\varepsilon + \text{constante}$.

On étudiera également le cas où la sortie de l'opérateur (μ) est solution de l'équation différentielle linéaire à coefficients constants :

$$\tau_0 \frac{ds}{d\tau} + s(t) = \mu_0 \varepsilon(t)$$

Les coefficients μ_0 et τ_0 sont positifs.

On introduit lors de cette étude la notion de produit gain $\times$ bande passante.

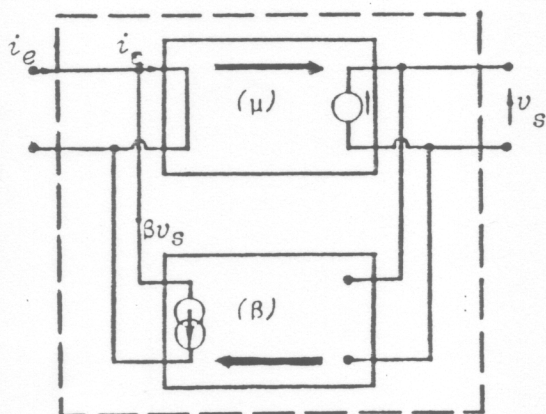
Aucune autre généralisation à d'autres types d'opérateurs ne sera effectuée.

La notion de stabilité sera introduite à partir de l'étude précédemment effectuée dans le cas où entrée et sortie de l'opérateur (μ) sont liées par l'équation :

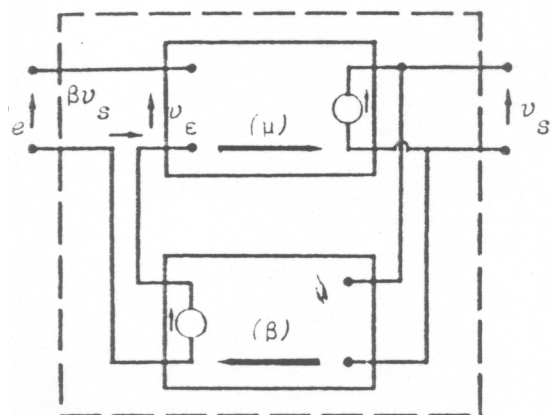
$$\tau_0 \frac{ds}{d\tau} + s(t) = \mu_0 \varepsilon(t)$$

et où β est positif ou négatif.

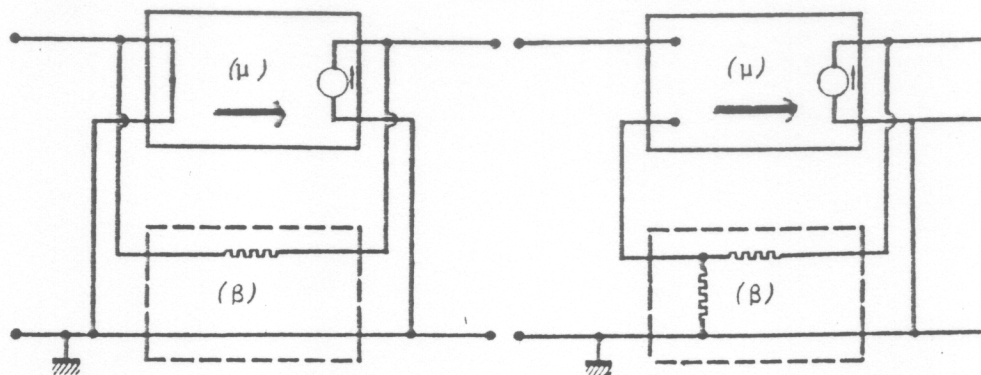
L'étude des conditions d'oscillation est hors programme, de même que l'étude des critères de stabilité algébriques ou graphiques utilisant la notion de fonction de transfert.



On remarquera que la condition (μ) idéal permet d'utiliser pour (β) un opérateur non idéal (et même non unidirectionnel). On se bornera à l'analyse des deux schémas particuliers suivants, et l'on n'effectuera aucune généralisation :

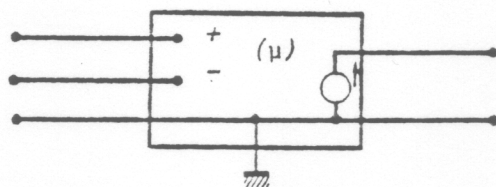


Cas où (β) est un réseau résistif.



Lors de l'analyse de ces schémas, on évoquera le problème de liaison-masse et on introduira la notion d'amplificateur différentiel :

En conclusion de cette étude, on justifiera les circuits à amplificateurs opérationnels étudiés en classe de mathématiques supérieures.



CLASSES DE MATHÉMATIQUES SPÉCIALES P ET P'

A - Mécanique

Le programme de mécanique des systèmes s'appuie sur celui de mécanique des systèmes de *points matériels* des classes de mathématiques supérieures, dans lequel la plupart des concepts cinétiques dynamiques, énergétiques et théorèmes associés ont été introduits, en les étendant à des situations où la répartition de masse est décrite par une distribution continue.

En ce qui concerne la mécanique des fluides, en vue d'éviter tout débordement de ce programme, il est précisé qu'aucun sujet d'écrit ou question d'oral de concours ne peut porter sur les fluides visqueux.

Pour l'étude du moment cinétique d'un solide indéformable, le commentaire est restrictif et aucun sujet d'écrit ou question d'oral de concours ne peut supposer connues les notions d'opérateur d'inertie ou d'axes principaux.

Programme

Mécanique des systèmes

1. Système matériel. Centre d'inertie.
Champ des vitesses. Énergie cinétique.
2. Forces et couples extérieurs à un système matériel ; forces et couples donnés ; forces et couples de liaison ; action et réaction.
Travail d'un système de forces. Énergie potentielle. Énergie mécanique.
3. Éléments de mécanique des fluides
 - Modèle du fluide continu, fluide en équilibre, champ de pression, éléments de statique.
 - Champ des vitesses. Flux de masse, conservation de la masse.
 - Écoulement stationnaire ; ligne et tube de courant.
 - Fluide incompressible et sans viscosité.
Equation d'Euler. Relation de Bernoulli.

Commentaires

Les formalismes lagrangien et hamiltonien ne sont pas au programme.

La connaissance des torseurs n'est pas exigible des élèves.

Les notions de déplacement virtuel et de travail virtuel sont hors programme.

Cette étude pourra servir à faire ressortir la signification concrète des opérateurs vectoriels : divergence, rotationnel.

L'étude dynamique des fluides compressibles est hors programme.

4. Solides indéformables

- Contact de deux solides ; frottement de glissement.
- Mouvement d'un solide mobile autour d'un axe fixe. Moment cinétique.
- Mouvement de la toupie symétrique dans l'approximation gyroscopique.

- On citera les trois types de frottement, mais on ne traitera que les lois de Coulomb relatives au frottement de glissement. Aucun problème ou exercice ne sera donné sur le frottement de roulement et de pivotement. Ce chapitre sera l'occasion de faire ressortir la notion de modélisation et la nécessité d'un traitement phénoménologique du problème physique considéré.
- L'opérateur d'inertie et l'ellipsoïde d'inertie sont hors programme. En vue d'illustrer le fait que la direction du moment cinétique et l'axe de rotation du solide vont en général distincts, on se limitera donc à des exemples simples pour lesquels le moment cinétique est calculable directement.
- L'étude en tant que telle du mouvement d'un solide mobile autour d'un point fixe est hors programme. L'approximation gyroscopique consiste à supposer que la toupie est en rotation suffisamment rapide autour de son axe de symétrie, pour que l'on puisse d'emblée, dans l'expression du moment cinétique, négliger le mouvement supposé lent de cet axe.

B - Physique ondulatoire

Cette partie du programme sera étudiée en liaison notamment avec la partie C - Electromagnétisme.

L'ordre de présentation est laissé au libre choix du professeur

Programme

Commentaires

1. Equation d'onde classique à une dimension

Forme générale des solutions ; solutions stationnaires ; ondes progressives ; principe de superposition. Vibrations longitudinales et transversales.

Solution avec deux conditions aux limites ; modes propres ; superposition de solutions stationnaires, analyse en série de Fourier. Ondes planes progressives, vecteur d'onde. Paquet d'ondes.

— La forme de l'équation d'onde sera établie dans deux cas : ondes électromagnétiques, propagation d'une onde longitudinale dans un fluide.

— On se limitera à une description qualitative et expérimentale.

2. Interférences, diffraction

Interférences non localisées entre deux ondes cohérentes.

Interférences à l'infini entre N ondes cohérentes : réseaux plans, pouvoir dispersif et pouvoir de résolution.

Principe de Huygens-Fresnel ; diffraction à l'infini d'une onde plane par une ouverture rectangulaire, cas de la fente. Rôle de la diffraction en pratique dans l'utilisation des réseaux et dans le pouvoir séparateur des instruments d'optique.

— Toute étude générale de la cohérence est exclue. On se limitera au cas d'ondes scalaires. En optique, on utilisera la représentation scalaire.

— Le principe de Huygens-Fresnel sera simplement énoncé.

3. Optique géométrique

Approximation de l'optique géométrique ; rayons lumineux ; réflexion, réfraction.

Principe de Fermat, conséquences.

Miroirs sphériques et lentilles sphériques minces dans l'approximation de Gauss.

— On se bornera à une description qualitative de cette approximation.

— Toute étude générale des systèmes centrés est exclue. La méthode matricielle est hors programme. Le but est de familiariser les élèves avec des montages simples comportant des lentilles et des miroirs. Il est particulièrement recommandé d'utiliser des représentations géométriques. L'étude du prisme sera faite en travaux pratiques.

C - Electromagnétisme

Une épreuve portant uniquement sur les phénomènes de rayonnement est exclue.

Programme

Commentaires

1. Electrostatique

Equilibre électrostatique d'un conducteur dans le vide : théorème de Coulomb. Condensateurs.

Energie d'un condensateur.

2. Magnétostatique dans le vide

Champ magnétique défini par son action sur des courants. Force de Lorentz, force de Laplace. Action d'un champ magnétique uniforme sur un circuit filiforme indéformable, moment magnétique, énergie potentielle d'interaction, couple.

Les courants comme sources du champ magnétique. Champ créé par une distribution stationnaire de courants. Loi de Biot et Savart. Conservation du flux de $\vec{B}$. Potentiel vecteur $\vec{A}$. Expression du potentiel vecteur créé par une distribution stationnaire de courants. Théorème d'Ampère.

Equations locales du champ magnétostatique.

Dipôle magnétique : signification physique.

Champ créé, actions subies.

3. Induction

Champ électromoteur d'induction ; f.e.m. d'induction pour un circuit ou une portion de circuit filiformes.

Induction mutuelle de deux circuits ; induction propre.

Energie magnétique.

Expression de la loi de Faraday sous forme locale.

4. Equations de Maxwell

Equations de Maxwell.

Energie électromagnétique, puissance échangée entre un champ électromagnétique et des porteurs de charges libres. Vecteur de Poynting, densité d'énergie électromagnétique.

5. Propagation

Equation de propagation des champs électrique et magnétique dans le vide. Transversalité des champs. Caractère vectoriel des ondes électromagnétiques, états de polarisation.

Comportement, sous incidence normale, d'une onde électromagnétique au voisinage d'un conducteur. Limite du conducteur parfait.

6. Rayonnement

Champ électromagnétique rayonné à grande distance par un dipôle électrique. Puissance rayonnée.

Approximation locale par une onde plane.

— On introduira, à propos du condensateur plan, la densité

$$\text{volumique d'énergie } \frac{\epsilon_0}{2} E^2.$$

— Le potentiel scalaire magnétique est hors programme.

— On considérera le cas du déplacement d'un circuit dans un champ magnétique stationnaire et le cas d'un circuit fixe dans un champ magnétique variable.

— On se limitera au cas de deux circuits filiformes.

— Le formalisme quadridimensionnel et les transformations relativistes des champs sont hors programme.

— Les potentiels retardés sont hors programme.

— On indiquera l'action d'une lame quart d'onde et d'une lame demi-onde sur un état de polarisation rectiligne. On supposera les lames « idéales », c'est-à-dire sans absorption. Toute étude de leur structure, de leur fonctionnement et de leur réalisation pratique est hors programme.

— On énoncera sans démonstration la formule donnant le champ électromagnétique rayonné à grande distance, dont la connaissance ne pourra être exigée ni aux épreuves écrites ni aux épreuves orales.

La théorie générale du rayonnement est hors programme. Toute étude des antennes est hors programme.

D - Circuits électroniques

L'enseignement de l'électronique a débuté en classe de mathématiques supérieures. Il a été volontairement axé sur le concret et il s'est appuyé sur des travaux de laboratoire devant familiariser les élèves avec la pratique de l'amplificateur opérationnel.

Le programme de mathématiques spéciales, partant de cet acquis expérimental, introduit le formalisme et les concepts de base qui sont essentiels pour *modéliser* un circuit électronique, dans le double objectif de sa *conception* et de son *analyse*.

A nouveau, et à ce second stade, les travaux pratiques jouent dans cette initiation un rôle primordial.

Programme

Concepts essentiels

Signal, source, opérateur, charge.
Opérateur unidirectionnel.

Commentaires

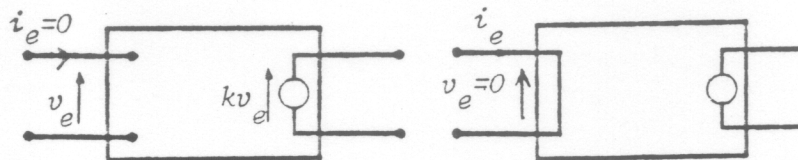
Dans cette présentation, on adopte les restrictions suivantes : le signal est l'amplitude instantanée d'une tension ou d'un courant ; la source est modélisée par sa représentation de Thévenin ou de Norton ; l'opérateur unidirectionnel est constitué par un (ou des) dipôle(s) d'entrée et un dipôle de sortie ; il existe (ou non) une liaison commune (masse) entre la (ou les) entrée(s) et la sortie ; la charge est une résistance pure. Ce paragraphe est une introduction à traiter brièvement.

Opérateurs « multiplication par une constante »

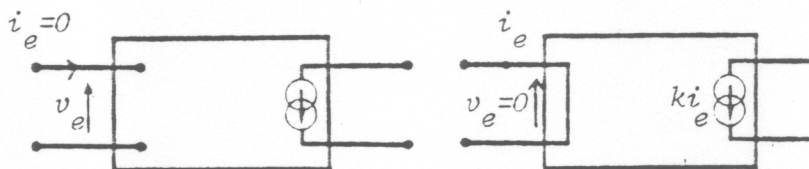
Opérateurs idéaux : définition par les modèles à source liée.

Gain en puissance. Nécessité d'un apport d'énergie.

Un opérateur « multiplication par une constante » idéal réalise une des quatre fonctions représentées sur les figures ci-dessous. Il est unidirectionnel et ne prélève pas d'énergie d'entrée.



Amplificateur de tension idéal



Amplificateur de courant idéal.

Opérateurs réels unidirectionnels.

Modèle de l'opérateur (par schéma équivalent) : existence éventuelle de décalage en sortie, résistances d'entrée et de sortie.

Le nom usuel d'amplificateur est restreint aux opérateurs dont les signaux d'entrée et de sortie sont de même type et dont le coefficient multiplicatif, sans dimension, est, en valeur absolue, supérieur à l'unité.

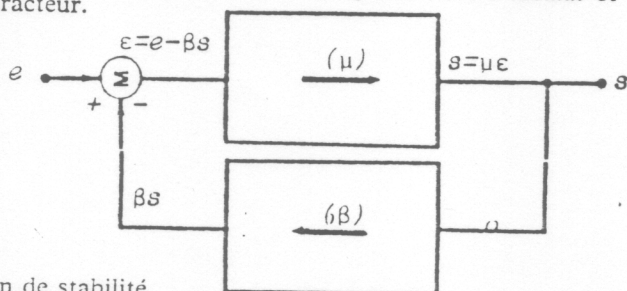
A l'occasion des travaux pratiques, et uniquement pour l'amplificateur de tension, le professeur introduira des méthodes de calcul ou de mesure du décalage en sortie, du coefficient multiplicatif et des résistances d'entrée et de sortie. Compte tenu de l'existence possible d'un décalage, le calcul (ou la mesure) s'effectue vis-à-vis des variations. On ne prendra pas d'exemples d'opérateurs non unidirectionnels tels que la valeur de la résistance de charge intervienne dans celle de la résistance d'entrée et, de même, tels que la valeur de la résistance de la source intervienne dans celle de la résistance de sortie.

Le professeur mettra en évidence les limitations linéaires (bande passante) et non linéaires (saturation en tension et éventuellement en courant de sortie, vitesse de balayage).

Rétroaction

Introduction à la rétroaction.

Cette notion sera introduite à partir du schéma-bloc suivant, comportant deux opérateurs de proportionnalité idéaux et un soustracteur.



Notion de stabilité.

Cas où $\mu\beta$ est très supérieur à 1.

Les coefficients multiplicatifs μ et β sont réels.

On traitera en exercice le cas où $s = \mu\epsilon + \text{constante}$.

On étudiera également le cas où la sortie de l'opérateur (μ) est solution de l'équation différentielle linéaire à coefficients constants :

$$t_0 \frac{ds}{dt} + s(t) = \mu_0 \epsilon(t)$$

Les coefficients μ_0 et t_0 sont positifs.

On introduira lors de cette étude la notion de produit gain $\times$ bande passante.

Aucune autre généralisation à d'autres types d'opérateurs ne sera effectuée.

La notion de stabilité sera introduite à partir de l'étude précédemment effectuée dans le cas où entrée et sortie de l'opérateur (μ) sont liées par l'équation :

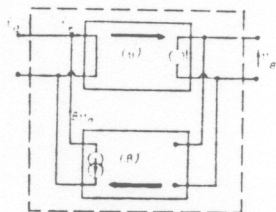
$$t_0 \frac{ds}{dt} + s(t) = \mu_0 \epsilon(t)$$

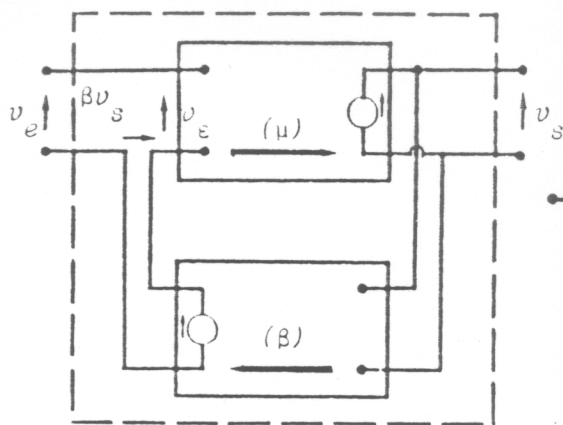
et où β est positif ou négatif.

L'étude des conditions d'oscillation est hors programme, de même que l'étude des critères de stabilité algébriques ou graphiques utilisant la notion de fonction de transfert.

Application aux circuits électriques.

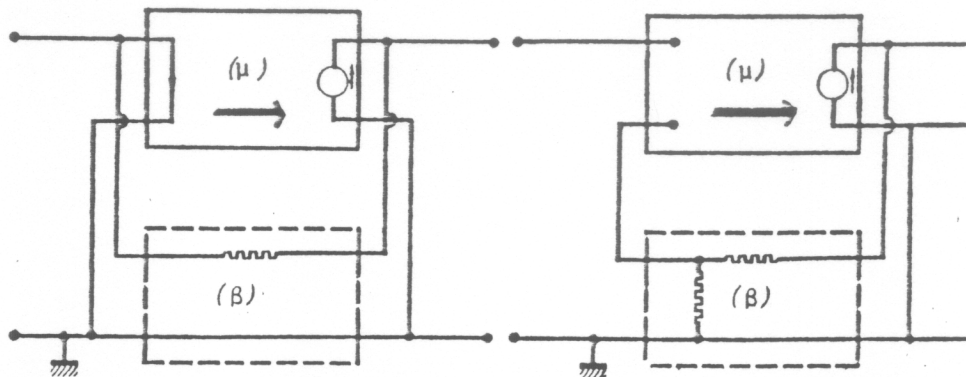
Analyse des deux circuits avec rétroaction et identification au schéma-bloc.



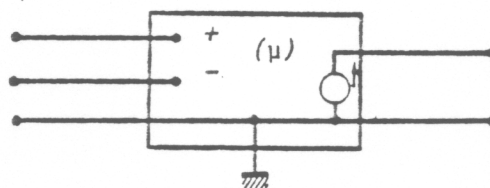


Cas où (β) est un réseau résistif.

On remarquera que la condition (μ) idéal permet d'utiliser pour (β) un opérateur non idéal (et même non unidirectionnel). On se bornera à l'analyse des deux schémas particuliers suivants, et l'on n'effectuera aucune généralisation :



Lors de l'analyse de ces schémas, on évoquera le problème de liaison-masse et on introduira la notion d'amplificateur différentiel :



En conclusion de cette étude, on justifiera les circuits à amplificateurs opérationnels étudiés en classe de mathématiques supérieures.

E - Milleux

Programme

1. Milieux diélectriques

- Notions sur les processus microscopiques de polarisation : polarisation électronique, atomique et ionique, polarisation d'orientation.
- Champ électrique macroscopique. Vecteur polarisation macroscopique. Distribution macroscopique de charges équivalentes ; densité de courant équivalente dans le cas d'une polarisation variable dans le temps.

Approximation linéaire ; susceptibilité.
Vecteur $\vec{D}$.

Relations de passage entre deux milieux.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu diélectrique, linéaire, homogène, isotrope et non magnétique ; dispersion ; absorption ; indice complexe ; vitesse de phase ; vitesse de groupe.

2. Milieux magnétiques

Sources microscopiques du champ magnétique. Moment magnétique et moment cinétique. Précession de Larmor.
Champ magnétique macroscopique $\vec{B}$. Vecteur aimantation macroscopique. Courants macroscopiques équivalents. Vecteur $\vec{H}$.
Aimantation induite ; susceptibilité magnétique ; perméabilité.
Diamagnétisme. Paramagnétisme.

Ferromagnétisme. Etude macroscopique. Aimantation spontanée. Hystérésis. Importance pratique du ferromagnétisme.

Commentaires

- Toute étude thermodynamique des propriétés des milieux diélectriques est hors programme.
- Les aspects dynamiques seront abordés et illustrés à l'aide du modèle de la « charge élastiquement liée » pour la polarisation électronique et du modèle de Debye avec l'introduction d'un temps de relaxation pour la polarisation d'orientation.
- On introduira le champ macroscopique comme une moyenne spatiale du champ microscopique sans toutefois soulever les difficultés méthodologiques que pose cette moyenne.
- On introduira la notion de champ local et on admettra l'expression de Lorentz pour les milieux denses isotropes.
- On se limitera au cas des milieux isotropes.
- Aucune dénomination n'est imposée pour le vecteur $\vec{D}$.

- Toute étude thermodynamique des propriétés des milieux magnétiques est hors programme.
- Toute étude quantique est hors programme.

- On introduira le champ magnétique macroscopique comme une moyenne spatiale du champ microscopique.
- Aucune dénomination n'est imposée pour le vecteur $\vec{H}$.

- On interprétera le diamagnétisme à partir de la précession de Larmor. Pour le paramagnétisme, on traitera le modèle de Langevin ou un modèle à deux niveaux.

- L'étude des circuits magnétiques est hors programme.

Note de service n° 84-229 du 2 juillet 1984

(Education nationale : bureau DL 3)

Texte adressé aux recteurs, aux inspecteurs d'académie et aux chefs d'établissement.

Travaux pratiques de sciences physiques dans les classes de mathématiques supérieures et de mathématiques spéciales M, M', T', P, P'.

Les élèves des classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques doivent pouvoir atteindre un bon niveau de connaissances et de savoir-faire dans le domaine expérimental, compte tenu du temps imparti aux travaux pratiques dans chacune des sections. Pour que ce but soit atteint, il convient que les sujets de travaux pratiques proposés leur permettent d'acquérir une bonne maîtrise des appareils et des méthodes figurant au programme et les habituent à les utiliser en faisant preuve d'initiative et d'esprit critique. On doit s'efforcer de développer chez eux une bonne faculté d'adaptation à un problème qui peut être nouveau, à condition qu'il soit présenté de façon progressive. La nouveauté peut résider dans le phénomène étudié, dans la méthode particulière ou dans l'appareillage. Dans cette hypothèse, la séance doit comporter non seulement la manipulation proprement dite, mais aussi des temps de réflexion, de construction intellectuelle, de retour en arrière, d'échanges avec le professeur.

C'est pourquoi ce dernier choisira les sujets d'étude plus en fonction de leurs qualités formatrices qu'en fonction des phénomènes particuliers qui en constituent le support. Aidé par un commentaire suffisamment précis, surtout si le sujet traité fait intervenir un concept nouveau (ou un appareil nouveau), l'élève sera amené à réfléchir, à comprendre le phénomène par une série d'hypothèses, de vérifications expérimentales, qui exigeront de lui initiative, savoir-faire, rigueur, honnêteté intellectuelle. La séance de travaux pratiques donnera lieu, le plus souvent, à une synthèse écrite comportant, sous une forme succincte, l'indication et l'exploitation des résultats. A cet égard, on attachera de l'importance à leur présentation graphique.

Une trop grande exigence sur le savoir théorique et expérimental ne pourrait que conduire à une inflation qui irait à l'encontre du but recherché. La liste figurant en annexe à la présente note de service définit le programme maximal. A dessein, elle ne fixe pas une liste de travaux pratiques à exécuter, mais elle indique les méthodes expérimentales ainsi que les appareils accompagnés de leurs spécifications techniques qui seront utilisés au cours des séances de travaux pratiques.

Les professeurs de mathématiques supérieures et de mathématiques spéciales feront exécuter les travaux pratiques dans un esprit conforme à la présente note de service.

Les épreuves de travaux pratiques demandées aux concours d'admission de certaines grandes écoles seront établies à partir de cette liste, à compter de la session 1986. Ces épreuves, qui pourront faire appel aux connaissances acquises pendant les deux années de préparation, devront tenir compte de l'esprit dans lequel aura été dispensé l'enseignement, conformément aux indications de la présente note de service. Elles devront permettre de juger non seulement le savoir-faire mais aussi le sens critique, l'initiative, le réflexe et le comportement des candidats devant les réalités expérimentales ; un compte rendu leur sera demandé.

Les candidats ne seront pas censés connaître des méthodes et des appareils autres que ceux figurant dans la liste donnée en annexe. S'ils étaient appelés à en utiliser d'autres, toutes les indications nécessaires devraient leur être fournies.

L'examineur devra pondérer son exigence concernant la connaissance d'un même appareil ou d'une même méthode, selon l'option du concours, en tenant compte de l'horaire des travaux pratiques dans chacune des sections (deux heures en M et M', cinq heures en P et P').

Par l'importance donnée à cette épreuve, on souhaite, en particulier, continuer à améliorer dans l'esprit des candidats la relation qu'ils ont à faire entre le cours et les travaux pratiques et leur donner le goût des sciences expérimentales même s'ils n'en découvrent, à ce stade, que quelques-unes des méthodes.

Les dispositions de la présente note de service entreront en vigueur à la rentrée scolaire 1984 pour les classes de mathématiques supérieures et à la rentrée scolaire 1985 pour les classes de mathématiques spéciales M, M', T', P, P'.

Pour le ministre et par délégation :

Le directeur des Lycées,

C. PAIR.

ANNEXE

Physique

Les épreuves de travaux pratiques dans les concours porteront sur l'ensemble des thèmes que devront avoir étudiés les élèves tant en mathématiques supérieures qu'en mathématiques spéciales.

Nota. - Dans toute cette annexe, les astérisques (*) signalent des restrictions qui pourront porter :

— soit sur un appareil : auquel cas on ne saura exiger que le candidat connaisse plus que le principe de fonctionnement et l'utilisation sommaire ;

— soit sur les méthodes : alors on ne saura exiger que leur principe très général.

I - Classes de mathématiques supérieures

1°) Thèmes et méthodes que doivent avoir étudiés les élèves

a) Mesures courantes d'impédance, d'intensité, de tension, de fréquence et de déphasage, par appareils analogiques ou numériques et par oscilloscope. Tracé de caractéristiques.

b) (*) Méthodes de zéro : pont de Wheatstone et méthode d'opposition en courant continu.

c) (*) Mesures des grandeurs caractéristiques d'un système oscillant.

d) Mesures courantes des paramètres caractéristiques d'un montage amplificateur de tension : gain en tension, résistances d'entrée et de sortie, fréquences de coupure à -3 dB ; niveau de saturation en tension et vitesse de balayage. (L'amplificateur de tension est réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel et de résistances associées.)

e) Réalisation et caractérisation d'opérateurs linéaires à amplificateur opérationnel tels qu'amplificateur de tension, inverseur, sommateur, intégrateur ; exemple d'opérateur non linéaire : comparateur.

f) Mesure d'une conductivité thermique.

2°) Appareils

Utilisation et spécifications des appareils suivants :

Oscilloscope

Entrées continu et alternatif ; sensibilités verticale et horizontale, fonctionnement en X Y ; vitesse de balayage ; existence et utilisation d'une synchronisation ; limitations d'utilisation dues à l'existence de fréquences de coupures et d'une impédance d'entrée.

Générateur de signaux

Gamme de fréquences ; signaux sinusoïdaux et périodiques ; impédance de sortie ; tension de sortie.

Alimentation stabilisée tension-courant

Gammes de tension et de courant : limitations en tension et en courant.

Voltmètre, ampèremètre, multimètre analogiques ou numériques

Type d'appareil ; résistance interne ; calibres ; fonctionnement en ohmmètre.

Boîtes de résistances

Précision ; intensité maximale.

Boîtes de capacité

Précision ; tension maximale.

() Thermocouple*

II - Classes de mathématiques spéciales M, M', T'

1°) Thèmes et méthodes que doivent avoir étudiés les élèves

1.1. *Circuits électriques et électroniques*

Les thèmes des paragraphes a) à e) de la classe de mathématiques supérieures seront approfondis. En particulier, on prédéterminera et modélisera les circuits relatifs aux opérateurs linéaires et on mettra en évidence le principe de la rétroaction. On signalera les précautions d'emploi relatives aux amplificateurs opérationnels.

1.2. *Optique*

a) Formation d'images par un système optique simple.

b) Expériences simples d'interférences à deux ondes.

c) Production et analyse d'une lumière totalement polarisée (rectiligne, elliptique et circulaire).

2°) Appareils

A la liste des appareils électriques et électroniques établie pour la classe de mathématiques supérieures, il convient d'ajouter la liste suivante pour l'optique :

Lentilles et miroirs plans et () sphériques.*

Collimateur.

() Viseur à frontale fixe et viseur dioptrique.*

Polariseur, lames $\lambda/4$ et $\lambda/2$.

() Lampes spectrales ; (*) Laser (précaution d'emploi).*

1°) Thèmes et méthodes que doivent avoir étudiés les élèves

1.1. *Circuits électriques et électroniques*

a) Les thèmes des paragraphes a) à e) de la classe de mathématiques supérieures seront repris en vue de leur approfondissement. En particulier, le paragraphe e), relatif à la réalisation d'opérateurs, fera l'objet de prédétermination et de modélisation des circuits. L'étude de la rétroaction sera faite. Les caractérisations et précautions d'emploi des opérateurs à amplificateur opérationnel seront mises en évidence.

b) (*) Méthodes de ponts en courant alternatif sinusoïdal.

1.2. *Optique et physique ondulatoire*

a) Pointés longitudinaux et transversaux, mesures d'angles et de longueurs.

b) Expériences simples d'interférences à deux ondes et à ondes multiples.

c) Production et analyse d'une lumière totalement polarisée (rectiligne, elliptique et circulaire).

d) Diffraction par une ouverture rectangulaire.

2°) **Appareils**

A la liste des appareils électriques et électroniques établie pour la classe de mathématiques supérieures, il convient d'ajouter la liste suivante :

(*) *Transformateur d'isolement ; autotransformateur.*

(*) *Détecteurs photoélectriques.*

Lentilles ; dioptries et miroirs, sphériques ou plans.

(*) *Viseur à frontale fixe et viseur dioptrique.*

Lunette autocollimatrice.

Collimateur.

Goniomètre (réglage et mise en œuvre).

(*) *Spectroscope à prisme et à réseau.*

Réseaux par transmission et réflexion.

Interféromètre de Michelson (réglage et mise en œuvre).

Polariseurs : lames $\lambda/4$ et $\lambda/2$.

(*) *Lampes spectrales.* (*) *Laser (précautions d'emploi).*