



BANQUE COMMUNE D'ÉPREUVES

295

EML__MATS

Concepteur : EMLYON Business School

Première épreuve (option scientifique)

MATHÉMATIQUES

Lundi 27 avril 2009 de 8 heures à 12 heures

Les candidats ne doivent faire usage d'aucun document ; l'utilisation de toute calculatrice et de tout matériel électronique est interdite.

Seule l'utilisation d'une règle graduée est autorisée.

PROBLÈME 1

Partie I - Calcul d'une intégrale

On note (a, b) un couple de réels strictement positifs.

1. Montrer que l'intégrale impropre $\int_0^{+\infty} \frac{e^{-ax} - e^{-bx}}{x} dx$ converge.

2. a. Établir, pour tout (ε, X) appartenant à $]0; +\infty[^2$ tel que $\varepsilon \leq X$:

$$\int_{\varepsilon}^X \frac{e^{-ax}}{x} dx = \int_{a\varepsilon}^{aX} \frac{e^{-y}}{y} dy \quad \text{et} \quad \int_{\varepsilon}^X \frac{e^{-bx}}{x} dx = \int_{b\varepsilon}^{bX} \frac{e^{-y}}{y} dy.$$

(À cet effet, on pourra utiliser des changements de variable.)

b. En déduire, pour tout (ε, X) appartenant à $]0; +\infty[^2$ tel que $\varepsilon \leq X$:

$$\int_{\varepsilon}^X \frac{e^{-ax} - e^{-bx}}{x} dx = \int_{a\varepsilon}^{b\varepsilon} \frac{e^{-y}}{y} dy - \int_{aX}^{bX} \frac{e^{-y}}{y} dy.$$

3. a. Montrer que l'application $h : [0; +\infty[\longrightarrow \mathbb{R}, \quad y \longmapsto h(y) = \begin{cases} \frac{1 - e^{-y}}{y} & \text{si } y \neq 0 \\ 1 & \text{si } y = 0 \end{cases}$

est continue sur $[0; +\infty[$.

- b. En déduire : $\int_{a\varepsilon}^{b\varepsilon} \frac{e^{-y}}{y} dy \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} \ln \frac{b}{a}$.
- c. Établir, pour tout X de $]0; +\infty[$: $\int_0^X \frac{e^{-ax} - e^{-bx}}{x} dx = \ln \frac{b}{a} - \int_{aX}^{bX} \frac{e^{-y}}{y} dy$.
- d. En déduire : $\int_0^{+\infty} \frac{e^{-ax} - e^{-bx}}{x} dx = \ln \frac{b}{a}$.

Partie II - Étude d'un produit scalaire

On note E l'ensemble des applications $f : [0; +\infty[\rightarrow \mathbb{R}$, bornées, de classe C^1 , telles que $f(0) = 0$.

- Démontrer que E est un sous-espace vectoriel de l'espace vectoriel réel des applications de $[0; +\infty[$ dans $\mathbb{R}$.
- On considère les applications f_1, f_2, f_3, f_4 définies, pour tout $x \in [0; +\infty[$, par :
 $f_1(x) = \sin x, \quad f_2(x) = \cos x, \quad f_3(x) = e^x - 1, \quad f_4(x) = 1 - e^{-x}$.
 Pour chacune de ces applications, indiquer, en le justifiant, si elle est ou non un élément de E .

- a. Montrer, pour tout $f \in E$: $\frac{f(x)}{x} \xrightarrow{x \rightarrow 0} f'(0)$.

- b. Montrer que, pour tout $(f, g) \in E^2$, l'intégrale impropre $\int_0^{+\infty} \frac{f(x)g(x)}{x^2} dx$ converge.

On note $(\cdot | \cdot) : E^2 \rightarrow \mathbb{R}, (f, g) \mapsto (f | g) = \int_0^{+\infty} \frac{f(x)g(x)}{x^2} dx$.

- Établir que $(\cdot | \cdot)$ est un produit scalaire sur E .
- Démontrer, pour tout $(f, g) \in E^2$: $(f | g) = \int_0^{+\infty} \frac{f'(x)g(x) + f(x)g'(x)}{x} dx$.
 (À cet effet, on pourra commencer par effectuer une intégration par parties sur un segment.)
- On note, pour tout $\alpha \in]0; +\infty[$, $u_\alpha : [0; +\infty[\rightarrow \mathbb{R}$, définie, pour tout $x \in [0; +\infty[$, par :
 $u_\alpha(x) = 1 - e^{-\alpha x}$.
 - Vérifier : $\forall \alpha \in]0; +\infty[, u_\alpha \in E$.
 - Calculer, pour tout $(\alpha, \beta) \in]0; +\infty[^2$, le produit scalaire $(u_\alpha | u_\beta)$.
 (À cet effet, on pourra utiliser les résultats de **II.5** et **I.3.d**.)
 - Établir, pour tout $(\alpha, \beta) \in]0; +\infty[^2$: $(u_\alpha | u_\beta) > 0$.

Partie III - Étude de densités de variables aléatoires

On note c un réel strictement positif.

On considère l'application $v : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ définie, pour tout réel x , par :

$$v(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq 0 \\ \frac{e^{-c^2x} - e^{-4c^2x}}{x \ln 4} & \text{si } x > 0. \end{cases}$$

- Montrer que v est une densité d'une variable aléatoire réelle.

Soit X une variable aléatoire réelle, à valeurs positives ou nulles, admettant v comme densité.

2. Montrer que X admet une espérance et calculer $E(X)$ en fonction de c .
3. On note Y la variable aléatoire réelle définie par : $Y = \sqrt{X}$.
 - a. Montrer que Y est une variable aléatoire réelle à densité et calculer une densité de Y .
 - b. Montrer que la variable aléatoire réelle Y admet une espérance et une variance, et déterminer $E(Y)$ et $V(Y)$ en fonction de c .

PROBLÈME 2

Notations et définitions

Soit n un entier supérieur ou égal à 2.

- La matrice identité de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est notée I_n et la matrice nulle de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est notée 0_n .
- Soit $M \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$. On dit que M est nilpotente s'il existe un entier naturel non nul p tel que $M^p = 0_n$.
- Soient $M \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ et λ une valeur propre réelle de M . On note $\text{SEP}(M, \lambda)$ le sous-espace propre de M associé à λ .
- On dit qu'une matrice S de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est symétrique positive lorsqu'elle est symétrique et vérifie :
$$\forall X \in \mathcal{M}_{n,1}(\mathbb{R}), {}^tXSX \geq 0.$$
- Soient $A, R \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$. On dit que R est une racine carrée de A lorsqu'elle vérifie $R^2 = A$.

Le but de ce problème est d'étudier la notion de racine carrée d'une matrice dans quelques cas particuliers.

Partie I - Deux exemples

1. Soient $\theta \in \mathbb{R}$ et $R_\theta = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & -\cos \theta \end{pmatrix}$.

Calculer $(R_\theta)^2$ et en déduire que la matrice I_2 admet une infinité de racines carrées.

2. Montrer que la matrice $\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ n'admet pas de racine carrée.

Partie II - Racines carrées d'une matrice de la forme $I_n + N$ avec N nilpotente

1. Donner le développement limité à l'ordre 3, au voisinage de 0, de $t \mapsto \sqrt{1+t}$.

On note $\sqrt{1+t} = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + o_{t \rightarrow 0}(t^3)$ ce développement limité.

2. Montrer qu'il existe un polynôme Q de $\mathbb{R}[X]$ tel que :

$$1 + X = (a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3)^2 + X^4Q(X).$$

3. Soit $N \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ vérifiant $N^4 = 0_n$. Dédurre de la question précédente une racine carrée de $I_n + N$.

Partie III - Racines carrées d'une matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ admettant n valeurs propres strictement positives et deux à deux distinctes

1. Soient f et g deux endomorphismes de $\mathbb{R}^n$ vérifiant $f \circ g = g \circ f$. On suppose de plus que f admet n valeurs propres réelles deux à deux distinctes.
 - a. Montrer que chaque sous-espace propre de f est stable par g .
 - b. En déduire que tout vecteur propre de f est vecteur propre de g .
 - c. Justifier que f est diagonalisable.
Montrer que, pour toute base $\mathcal{B}$ de $\mathbb{R}^n$ constituée de vecteurs propres de f , la matrice associée à g relativement à la base $\mathcal{B}$ est diagonale. En déduire que g est diagonalisable.
2. Soit A une matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ admettant n valeurs propres réelles strictement positives et deux à deux distinctes.
 - a. Justifier l'existence d'une matrice inversible P de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ telle que la matrice $D = P^{-1}AP$ soit diagonale.
 - b. Donner un exemple de racine carrée de A . (On l'exprimera à l'aide de P et des éléments diagonaux de D .)
 - c. Soit R une racine carrée de A . Vérifier que $AR = RA$.
En déduire que la matrice $P^{-1}RP$ est diagonale.
 - d. Établir que A admet exactement 2^n racines carrées.

Partie IV - Racine carrée symétrique positive d'une matrice symétrique positive de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$

Soit S une matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ symétrique positive.

1. Montrer que toutes les valeurs propres de S sont positives ou nulles.
2. Justifier l'existence d'une matrice orthogonale P de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ telle que la matrice $D = P^{-1}SP$ soit diagonale.
3. Déterminer une racine carrée de S qui soit symétrique positive. (On l'exprimera à l'aide de P et des éléments diagonaux de D .)
4. On veut montrer que S admet une unique racine carrée symétrique positive.
Soit R une matrice symétrique positive telle $R^2 = S$.
 - a. Soit λ une valeur propre de R . Montrer que λ^2 est valeur propre de S et que les sous-espaces propres associés vérifient : $\text{SEP}(R, \lambda) \subset \text{SEP}(S, \lambda^2)$.

On note p le nombre de valeurs propres deux à deux distinctes de R et $\lambda_1, \dots, \lambda_p$ les p valeurs propres deux à deux distinctes de R .

b. Justifier :
$$\bigoplus_{i=1}^p \text{SEP}(R, \lambda_i) \subset \bigoplus_{i=1}^p \text{SEP}(S, \lambda_i^2).$$

c. En déduire :
$$n = \sum_{i=1}^p \dim(\text{SEP}(R, \lambda_i)) \leq \sum_{i=1}^p \dim(\text{SEP}(S, \lambda_i^2)) \leq n.$$

d. Montrer que $\lambda_1^2, \dots, \lambda_p^2$ sont les seules valeurs propres de S et que

$$\forall i \in \{1, \dots, p\}, \quad \text{SEP}(R, \lambda_i) = \text{SEP}(S, \lambda_i^2).$$

e. Montrer que la matrice $P^{-1}RP$ est diagonale.

f. En déduire que S admet une unique racine carrée symétrique positive.