



Chambre de Commerce et d'Industrie de Lyon

École Supérieure de Commerce de Lyon

CONCOURS D'ENTRÉE 2000

MATHEMATIQUES

1ère épreuve (option scientifique)

Mardi 2 mai 2000 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.

PREMIER PROBLÈME

Notations :

- n désigne un entier supérieur ou égal à 3 .
- $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ est l'ensemble des matrices carrées d'ordre n à coefficients réels .
 I_n désigne la matrice identité de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$.
 La transposée d'une matrice M est notée tM .

- \mathbb{R}^n est muni du produit scalaire canonique noté $\langle \cdot, \cdot \rangle$ défini par :

$$\text{si } x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ et } y = (y_1, y_2, \dots, y_n), \text{ alors } \langle x, y \rangle = \sum_{k=1}^n x_k y_k.$$

En notant les matrices unicolonnes $X = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ et $Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$ et en confondant les

matrices d'ordre 1 et les scalaires, on a alors $\langle x, y \rangle = {}^tX Y$.

La norme associée à ce produit scalaire est notée $\| \cdot \|$.

- $\mathcal{B} = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ désigne la base canonique de \mathbb{R}^n .
 On rappelle que la matrice de passage P d'une base orthonormale de \mathbb{R}^n à une autre base orthonormale de \mathbb{R}^n vérifie ${}^tP = P^{-1}$.

Les parties I et II sont indépendantes.

Partie I

- On considère les matrices suivantes de $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$:

$$S = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 2 \\ 2 & 5 & 2 \\ 2 & 2 & 5 \end{pmatrix}, \quad P = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} \sqrt{3} & 1 & \sqrt{2} \\ -\sqrt{3} & 1 & \sqrt{2} \\ 0 & -2 & \sqrt{2} \end{pmatrix} .$$

- a. Justifier que S est diagonalisable dans $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$.
 - b. Montrer qu'il existe une matrice diagonale D de $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$ telle que $S = P D {}^tP$.
2. On considère la matrice $M = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}$ de $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$.
- a. Vérifier que $(M - 2I_3)^3 = I_3$.
 - b. M est-elle diagonalisable dans $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$?
 - c. Calculer le produit ${}^tM M$.

Partie II

Soit A une matrice de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$. On note f l'endomorphisme de \mathbb{R}^n associé à la matrice A relativement à la base \mathcal{B} et g l'endomorphisme de \mathbb{R}^n associé à la matrice tA relativement à la base \mathcal{B} .

1. Montrer, pour tout x et tout y de \mathbb{R}^n :

$$\langle g(y), x \rangle = \langle y, f(x) \rangle \text{ puis } \langle (g \circ f)(x), x \rangle = \|f(x)\|^2.$$
2. Montrer que l'endomorphisme $g \circ f$ est symétrique.
3. Montrer que $g \circ f$ est diagonalisable et que ses valeurs propres sont positives ou nulles.
4. Justifier l'existence d'une base orthonormale $\mathcal{B}' = (e'_1, e'_2, \dots, e'_n)$ de \mathbb{R}^n constituée de vecteurs propres de $g \circ f$.

On note Q la matrice de passage de la base \mathcal{B} à la base \mathcal{B}' .

5. Montrer l'existence de n réels positifs ou nuls $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ (non nécessairement distincts) tels

que la matrice diagonale $\Delta = \begin{pmatrix} \mu_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mu_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \mu_n \end{pmatrix}$ de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ vérifie : ${}^tA A = Q \Delta^2 {}^tQ$.

6. Montrer que la famille $(f(e'_1), f(e'_2), \dots, f(e'_n))$ est une famille orthogonale et que pour tout entier j de $\{1, 2, \dots, n\}$, $\|f(e'_j)\| = \mu_j$.
7. Dans cette question, on suppose que A est inversible.
 - a. Vérifier que les nombres réels $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ sont tous non nuls.
 - b. Montrer que la famille $\mathcal{C} = \left(\frac{1}{\mu_1} f(e'_1), \frac{1}{\mu_2} f(e'_2), \dots, \frac{1}{\mu_n} f(e'_n) \right)$ est une base orthonormale de \mathbb{R}^n .
 - c. Soit R la matrice de passage de la base \mathcal{B} à la base \mathcal{C} . Montrer que $A = R \Delta {}^tQ$.

Partie III

Déterminer deux matrices orthogonales Q et R d'ordre 3 et une matrice diagonale Δ d'ordre 3 telles que $M = R \Delta {}^tQ$ où M est la matrice définie dans I.2.

DEUXIÈME PROBLÈME

Dans tout ce problème, a est un réel tel que $0 < a < 1$.

I - Calcul d'une somme et d'une intégrale

1. Pour tout $n \in \mathbb{N}^*$ et tout $x \in [0; \pi]$, on note :

$$C_n(x) = \sum_{k=1}^n \cos(kx).$$

a. Montrer, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$ et tout $x \in [0; \pi]$:

$$1 + 2C_n(x) = \sum_{k=-n}^n e^{ikx}.$$

b. Etablir, pour tout nombre complexe z tel que $z \neq 1$:

$$\sum_{k=-n}^n z^k = z^{-n} \frac{1 - z^{2n+1}}{1 - z}.$$

c. En déduire, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$ et tout $x \in]0; \pi]$:

$$\frac{1}{2} + C_n(x) = \frac{\sin\left(\left(n + \frac{1}{2}\right)x\right)}{2 \sin\left(\frac{x}{2}\right)}.$$

2. Soit $n \in \mathbb{N}^*$. Montrer que l'intégrale $J_n = \int_0^\pi \frac{\sin\left(\left(n + \frac{1}{2}\right)x\right)}{2 \sin\left(\frac{x}{2}\right)} dx$ existe et calculer sa valeur.

On note $\varphi : [0; \pi] \rightarrow \mathbb{R}$ l'application définie par :

$$\varphi(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x = 0 \\ \frac{\cos(ax) - 1}{\sin\left(\frac{x}{2}\right)} & \text{si } x \in]0; \pi] \end{cases}.$$

3. Montrer que φ est de classe C^1 sur $[0; \pi]$ et calculer $\varphi'(0)$.

4. On note, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$: $I_n = \int_0^\pi \varphi(x) \sin\left(\left(n + \frac{1}{2}\right)x\right) dx$.

Montrer, grâce à une intégration par parties, que I_n tend vers 0 quand l'entier n tend vers l'infini.

II - Calcul de la somme d'une série

On note, pour $n \in \mathbb{N}^*$: $u_n = \int_0^\pi \cos(ax) \cos(nx) dx$.

1. Montrer, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$:

$$\sum_{k=1}^n u_k = -\frac{\sin(\pi a)}{2a} + \frac{1}{2}I_n + J_n.$$

2. En déduire que la série $\sum_{n \geq 1} u_n$ converge, et calculer sa somme (on pourra utiliser les résultats de I. 2. et I. 4.).

3. Calculer, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, u_n en fonction de a et de n .

4. Etablir :

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2(-1)^{n-1}a}{n^2 - a^2} = \frac{\pi}{\sin(\pi a)} - \frac{1}{a} .$$

III - Calcul d'une intégrale

Dans cette partie, α désigne un réel tel que $\alpha > 1$.

1. Justifier l'existence de l'intégrale $\int_0^{+\infty} \frac{dt}{1+t^\alpha}$.

On note : $F(\alpha) = \int_0^{+\infty} \frac{dt}{1+t^\alpha}$, $G(\alpha) = \int_0^1 \frac{dt}{1+t^\alpha}$, $H(\alpha) = \int_1^{+\infty} \frac{dt}{1+t^\alpha}$.

2.a. Montrer, pour tout réel t de $[0; 1]$ et tout n de \mathbb{N} :

$$\frac{1}{1+t^\alpha} = \sum_{k=0}^n (-1)^k t^{k\alpha} + (-1)^{n+1} \frac{t^{(n+1)\alpha}}{1+t^\alpha} .$$

b. Montrer que $\int_0^1 \frac{t^{(n+1)\alpha}}{1+t^\alpha} dt$ tend vers 0 lorsque l'entier n tend vers l'infini.

c. En déduire que la série $\sum_{k \geq 0} \frac{(-1)^k}{k\alpha + 1}$ converge et que : $G(\alpha) = \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(-1)^k}{k\alpha + 1}$.

3.a. En utilisant le changement de variable défini par $u = t^{1-\alpha}$, montrer :

$$H(\alpha) = \frac{1}{\alpha - 1} G\left(\frac{\alpha}{\alpha - 1}\right),$$

et en déduire :

$$H(\alpha) = \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n\alpha - 1} .$$

b. Etablir :

$$F(\alpha) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{n-1}}{n^2\alpha^2 - 1} .$$

4. En utilisant le résultat de II. 4., établir finalement :

$$F(\alpha) = \frac{\frac{\pi}{\alpha}}{\sin \frac{\pi}{\alpha}} .$$