CONCOURS COMMUN 2003
DES ÉCOLES DES MINES D'ALBI, ALÈS, DOUAI, NANTES

Épreuve spécifique de Mathématiques
(filière MPSI)

Jeudi 22 mai 2003 de 8h00 à 12h00

Instructions générales :

Les candidats doivent vérifier que le sujet comprend : 4 pages numérotées 1/4, 2/4, 3/4 et 4/4.
Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.
Les candidats colleront sur leur première feuille de composition l'étiquette à code à barres correspondante.

L'emploi d'une calculatrice est interdit

Barème indicatif :
Premier problème environ 1/2 - Deuxième problème environ 1/2

Premier problème

$\mathbb{N}$ désigne l'ensemble des entiers naturels et $\mathbb{R}$ le corps des nombres réels.

Dans tout le problème α désigne un réel strictement supérieur à 1.

On pose : $\mathrm{I}(\alpha) = \displaystyle\int_0^{+\infty} \frac{1}{1+x^{\alpha}}\,dx$.

L'objectif du problème est le calcul de l'intégrale $\mathrm{I}(\alpha)$.

On rappelle que pour a et b dans $\mathbb{R}$ on a les formules :

$$\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2}(\cos(a+b) + \cos(a-b)).$$

$$\sin(a)\cos(b) = \frac{1}{2}(\sin(a+b) + \sin(a-b)).$$

$$\sin(a) - \sin(b) = 2\sin\left(\frac{a-b}{2}\right)\cos\left(\frac{a+b}{2}\right).$$

I. Quelques résultats préliminaires

Pour x dans $\mathbb{R}$ et pour n dans $\mathbb{N}^*$ on pose : $f_n(x) = \sum_{k=1}^{n} \cos(kx)$.

Pour $x \in]0,\pi]$ et pour n dans $\mathbb{N}$ on pose : $g_n(x) = \dfrac{\sin\left((2n+1)\frac{x}{2}\right)}{\sin\left(\frac{x}{2}\right)}$.

1) Etablir la formule : $\forall\, x \in]0,\pi]$, $f_n(x) = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} g_n(x)$.

On pourra, pour ce faire, s'intéresser à la quantité $\sin\left(\frac{x}{2}\right) f_n(x)$.

2) a) En déduire que g_n est prolongeable en une application continue sur $[0,\pi]$.

On note encore g_n l'application ainsi prolongée.

b) Pour n dans $\mathbb{N}$ on pose : $u_n = \int_0^{\pi} g_n(x)\, dx$.

Montrer que la suite (u_n) est constante et préciser sa valeur.

3) Soit $g : [0,\pi] \to \mathbb{R}$ définie par : $\forall\, x \in]0,\pi]$, $g(x) = \dfrac{\cos\left(\frac{x}{\alpha}\right) - 1}{\sin\left(\frac{x}{2}\right)}$ et $g(0) = 0$.

a) Prouver que g est continue en 0.

b) Etablir l'existence et déterminer la valeur de $\lim_{x \to 0, x>0} g'(x)$.

c) Etablir que g est de classe C^1 sur $[0,\pi]$ et préciser $g'(0)$.

II. Etude d'une suite

Pour n dans $\mathbb{N}^*$ on pose : $X_n = \int_0^{\pi} f_n(x) \cos\left(\frac{x}{\alpha}\right) dx$.

4) Pour n dans $\mathbb{N}$ on pose $v_n = \int_0^{\pi} g(x) \sin\left((2n+1)\frac{x}{2}\right) dx$.

Montrer qu'il existe A dans $\mathbb{R}$ tel que : $\forall\, n \in \mathbb{N}^*$, $|v_n| \le \dfrac{A}{2n+1}$.

On pourra, pour ce faire, effectuer une intégration par parties.

5) Etablir que : $\forall\, n \in \mathbb{N}^*$, $X_n = -\frac{\alpha}{2} \sin\left(\frac{\pi}{\alpha}\right) + \frac{1}{2} v_n + \frac{\pi}{2}$.

Montrer que la suite (X_n) est convergente et déterminer sa limite.

6) Montrer que : $\forall\, n \in \mathbb{N}^*$, $X_n = \frac{\alpha}{2} \sin\left(\frac{\pi}{\alpha}\right) \sum_{k=1}^{n} (-1)^k \left[\dfrac{1}{1+\alpha k} + \dfrac{1}{1-\alpha k}\right]$.

III. Détermination de la valeur de $I(\alpha)$

On adopte la notation $\beta = \dfrac{1}{\alpha}$ et pour $t \in]0,1]$ on pose : $\varphi(t) = \dfrac{t^{\beta-1}}{1+t}$ et $\psi(t) = \dfrac{t^{-\beta}}{1+t}$.

7) a) Justifier l'existence de $I(\alpha)$.

b) Montrer que les applications φ et ψ sont intégrables sur $]0,1]$.

Dans toute la suite on pose : $J(\beta) = \int_0^1 \varphi(t)\, dt$ et $K(\beta) = \int_0^1 \psi(t)\, dt$.

8) a) Montrer que : $\forall\, a \in]0,1[\,,\ \displaystyle\int_a^1 \frac{1}{1+x^\alpha}\,dx = \beta\int_{a^\alpha}^1 \varphi(t)\,dt$. On pourra poser $t = x^\alpha$.

En déduire la formule : $\displaystyle\int_0^1 \frac{1}{1+x^\alpha}\,dx = \beta\, J(\beta)$.

b) Montrer que : $\forall\, A \in]1,+\infty[\,,\ \displaystyle\int_1^A \frac{1}{1+x^\alpha}\,dx = \beta\int_{A^{-\alpha}}^1 \psi(t)\,dt$.

En déduire la formule : $\displaystyle\int_1^{+\infty} \frac{1}{1+x^\alpha}\,dx = \beta\, K(\beta)$.

9) Pour n dans $\mathbb{N}$ et t dans $\mathbb{R}$ on pose : $\sigma_n(t) = \displaystyle\sum_{k=0}^{n} (-1)^k t^k$.

Pour n dans $\mathbb{N}^*$ et t dans $]0,1]$ on pose : $\varphi_n(t) = \sigma_n(t)\, t^{\beta-1}$ et $\psi_n(t) = \sigma_{n-1}(t)\, t^{-\beta}$.

a) Montrer que : $\forall\, n \in \mathbb{N}\,,\ \forall\, t \in [0,1]\,,\ \left|\sigma_n(t) - \dfrac{1}{1+t}\right| \le t^{n+1}$.

b) Montrer que : $\forall\, n \in \mathbb{N}^*\,,\ \forall\, t \in]0,1]\,,\ |\varphi_n(t)| \le 2\varphi(t)$ et $|\psi_n(t)| \le 2\psi(t)$.

c) Montrer que pour tout n dans $\mathbb{N}^*$ φ_n et ψ_n sont intégrables sur $]0,1]$.

10) Pour n dans $\mathbb{N}^*$ on pose : $J_n(\beta) = \displaystyle\int_0^1 \varphi_n(t)\,dt$ et $K_n(\beta) = \displaystyle\int_0^1 \psi_n(t)\,dt$.

a) Montrer que : $\displaystyle\lim_{n\to+\infty} J_n(\beta) = J(\beta)$ et $\displaystyle\lim_{n\to+\infty} K_n(\beta) = K(\beta)$.

b) Exprimer $J_n(\beta) + K_n(\beta)$ à l'aide de X_n et de α.

c) Montrer que : $I(\alpha) = \dfrac{\pi}{\alpha \sin\left(\dfrac{\pi}{\alpha}\right)}$.

Second Problème

$\mathbb{R}$ désigne le corps des nombres réels et $\mathbb{C}$ le corps des nombres complexes.

$M_2(\mathbb{C})$ désigne l'ensemble des matrices carrées d'ordre 2 à coefficients dans $\mathbb{C}$.

On pose : $I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, $J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$, $K = \begin{bmatrix} 0 & i \\ i & 0 \end{bmatrix}$ et $L = \begin{bmatrix} -i & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$.

I. Etude d'une symétrie

On notera bien, que dans toute cette partie, $M_2(\mathbb{C})$ est muni de sa structure de $\mathbb{C}$-algèbre.

Pour $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ dans $M_2(\mathbb{C})$ on pose : $\sigma(A) = \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$ et $\tau(A) = a + d$.

11) a) Montrer que σ est une symétrie du $\mathbb{C}$-espace vectoriel $M_2(\mathbb{C})$.

b) Etablir que (I,J,K,L) est une base du $\mathbb{C}$-espace vectoriel $M_2(\mathbb{C})$ puis donner la matrice de l'endomorphisme σ dans cette base.

12) On considère A et B dans $M_2(\mathbb{C})$.

a) Montrer que : $\sigma(AB) = \sigma(B)\,\sigma(A)$.

b) Justifier l'égalité : $A\sigma(A) = \det(A)\, I$.

c) Montrer que si A est inversible alors $\sigma(A)$ l'est aussi.
Exprimer les matrices $\sigma(A)^{-1}$ et $\sigma(A^{-1})$ en fonction de A.

13) a) Vérifier que τ est une forme linéaire sur le $\mathbb{C}$-espace vectoriel $M_2(\mathbb{C})$.

b) Soit A dans $M_2(\mathbb{C})$. Exprimer $\sigma(A)$ à l'aide des matrices A, I et du complexe $\tau(A)$.

II. Une $\mathbb{R}$-algèbre célèbre : l'algèbre des quaternions

On notera bien, que dans toute cette partie, $M_2(\mathbb{C})$ est muni de sa structure de $\mathbb{R}$-algèbre.

A tout couple (z_1,z_2) de nombres complexes on associe la matrice $M(z_1, z_2) = \begin{bmatrix} z_1 & -\overline{z}_2 \\ z_2 & \overline{z}_1 \end{bmatrix}$.

On désigne par H l'ensemble des matrices de $M_2(\mathbb{C})$ de la forme $M(z_1, z_2)$, le couple (z_1,z_2) décrivant $\mathbb{C}^2$.

14) a) Montrer que toute matrice de H s'écrit de manière unique sous la forme $\alpha I + \beta J + \gamma K + \delta L$ où α, β, γ, δ sont des réels.

b) En déduire que H est un sous espace vectoriel du $\mathbb{R}$-espace vectoriel $M_2(\mathbb{C})$.

Préciser une base et la dimension du $\mathbb{R}$-espace vectoriel H.

c) Montrer que H est stable pour le produit matriciel.

d) Montrer que H est une $\mathbb{R}$-algèbre. La $\mathbb{R}$-algèbre H est-elle commutative ?

15) a) Vérifier que : $\forall A \in H$, $\sigma(A) \in H$ et $\det(A) \in \mathbb{R}^+$.

b) Montrer qu'une matrice non nulle de H est inversible et que son inverse est dans H.

c) Vérifier que $(H \setminus \{0\}, \times)$ est un groupe.

16) Montrer que si deux entiers naturels peuvent tous deux s'écrire comme une somme de quatre carrés d'entiers naturels alors il en est de même de leur produit.

On pourra exprimer $\det(M(z_1, z_2))$ comme une somme de quatre carrés de réels.

III. Un produit scalaire et une projection orthogonale

Pour A et B dans H on pose : $(A \mid B) = \frac{1}{4}\tau(A\sigma(B) + B\sigma(A))$.

17) On considère A et B dans H.

a) Prouver que $(A \mid B) \in \mathbb{R}$. On pourra utiliser la question 5)a).

b) Montrer que $(A \mid A) = \det(A)$.

c) Etablir que $(\cdot \mid \cdot)$ est un produit scalaire sur le $\mathbb{R}$-espace vectoriel H.

18) Vérifier que (I,J,K,L) est une base orthonormale de H.

19) On pose $F = \{A \in H \mid \tau(A) = 0\}$.

a) Montrer que F est un hyperplan du $\mathbb{R}$-espace vectoriel H. En donner une base.

b) Montrer que : $F^\perp = \left\{\alpha I, \alpha \in \mathbb{R}\right\}$.

c) On désigne par π la projection orthogonale sur F.

Montrer que : $\forall A \in H$, $\pi(A) = \frac{1}{2}(A - \sigma(A))$.

FIN DU SUJET