



BANQUE COMMUNE D'ÉPREUVES

Concepteur : EM LYON

Première épreuve (option scientifique)

Code sujet

295

EML__MATS

MATHÉMATIQUES

Mardi 29 avril 2008 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

On confond polynôme et application polynomiale de \mathbb{R} dans \mathbb{R} .

On note E l'ensemble des applications $u : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ continues sur \mathbb{R} et telles que l'intégrale $\int_{-\infty}^{+\infty} (u(x))^2 e^{-x^2} dx$ converge.

On note F le \mathbb{R} -espace vectoriel des applications polynomiales de \mathbb{R} dans \mathbb{R} .

On note, pour tout $n \in \mathbb{N}$, F_n le \mathbb{R} -espace vectoriel des applications polynomiales de \mathbb{R} dans \mathbb{R} de degré inférieur ou égal à n .

Préliminaire : Valeur de l'intégrale de Gauss

En considérant une variable aléatoire suivant une loi normale, justifier :

$$\forall m \in \mathbb{R}, \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-(x-m)^2} dx = \sqrt{\pi}.$$

EM LYON est affiliée à la Chambre de Commerce et de l'Industrie de Lyon.

Partie I : Un produit scalaire sur E

1. Établir, pour tout $(\alpha, \beta) \in [0; +\infty[$: $\alpha\beta \leq \frac{1}{2}(\alpha^2 + \beta^2)$.

2. En déduire que, pour tout $(u, v) \in E^2$, l'intégrale $\int_{-\infty}^{+\infty} u(x)v(x)e^{-x^2} dx$ converge.

On note $(. | .)$ l'application de E^2 dans \mathbb{R} qui, à tout $(u, v) \in E^2$, associe $\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} u(x)v(x)e^{-x^2} dx$.

On notera la présence du facteur $\frac{1}{\sqrt{\pi}}$.

3. a. Démontrer que E est un \mathbb{R} -espace vectoriel.

b. Montrer que l'application $(. | .)$ est un produit scalaire sur E .

4. Démontrer : $F \subset E$.

On note encore $(. | .)$ la restriction à F ou à F_n , pour $n \in \mathbb{N}$, du produit scalaire $(. | .)$ sur E . On admet que cette restriction est encore un produit scalaire sur F ou sur F_n .

On note $\|.\|$ la norme sur E associée au produit scalaire $(. | .)$, définie, pour tout $u \in E$, par :

$$\|u\| = \sqrt{(u | u)}.$$

Partie II : Polynômes d'Hermite

On note w l'application de \mathbb{R} dans \mathbb{R} , de classe C^∞ , définie pour tout $x \in \mathbb{R}$ par $w(x) = e^{-x^2}$.

Pour tout $n \in \mathbb{N}$, on note H_n l'application de \mathbb{R} dans \mathbb{R} définie pour tout $x \in \mathbb{R}$ par

$$H_n(x) = (-1)^n e^{x^2} w^{(n)}(x), \text{ où } w^{(n)} \text{ désigne la dérivée } n\text{-ième de } w.$$

En particulier : $H_0(x) = 1$.

1. Calculer, pour tout $x \in \mathbb{R}$, $H_1(x)$, $H_2(x)$, $H_3(x)$.

Faire figurer les calculs sur la copie.

2. a. Montrer, pour tout $n \in \mathbb{N}$ et tout $x \in \mathbb{R}$:

$$H_{n+1}(x) = 2xH_n(x) - H'_n(x).$$

b. En déduire que, pour tout $n \in \mathbb{N}$, H_n est un polynôme de degré n .

c. Contrôler alors les résultats obtenus en **II.1** et calculer H_4 .

Faire figurer les calculs sur la copie.

3. Déterminer, pour tout $n \in \mathbb{N}$, le coefficient du terme de plus haut degré de H_n .

4. Montrer, pour tout $n \in \mathbb{N}$ et tout $x \in \mathbb{R}$: $H_n(-x) = (-1)^n H_n(x)$.

Qu'en déduit-on, en terme de parité, pour l'application H_n ?

Partie III : Lien entre le produit scalaire et les polynômes d'Hermite

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

$$(P' | H_{n-1}) = (P | H_n),$$

où $(. | .)$ est le produit scalaire sur F défini en I.4.

À cet effet, on pourra commencer par effectuer une intégration par parties sur un intervalle fermé borné.

- b. En déduire, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$ et tout $P \in F_{n-1}$: $(P | H_n) = 0$.
- c. En déduire que, pour tout $n \in \mathbb{N}$, la famille (H_0, \dots, H_n) est orthogonale dans F .
2. Établir que, pour tout $n \in \mathbb{N}$, la famille (H_0, \dots, H_n) est une base de F_n .
3. Soit $n \in \mathbb{N}$.
- a. Montrer : $\|H_n\|^2 = (H_n^{(n)} | H_0)$, où $\|\cdot\|$ est définie en I.4.
- b. En déduire la valeur de $\|H_n\|$.

Partie IV : Un endomorphisme symétrique

On note f, g, h les applications définies de F dans F , pour tout $P \in F$, par :

$$f(P) = -P'' + 2XP' + P, \quad g(P) = 2XP - P', \quad h(P) = P'.$$

Ainsi, par exemple, pour tout $P \in F$ et tout $x \in \mathbb{R}$: $(g(P))(x) = 2xP(x) - P'(x)$.

1. Montrer que f est un endomorphisme de F .

On admet que g et h sont aussi des endomorphismes de F , et on note Id_F l'application identique de F .

2. a. Établir : $g \circ h = f - \text{Id}_F$ et $h \circ g = f + \text{Id}_F$.
- b. En déduire : $f \circ g - g \circ f = 2g$.
3. Montrer que, pour tout $\lambda \in \mathbb{R}$ et tout $P \in F$, si $f(P) = \lambda P$, alors $f(g(P)) = (\lambda + 2)g(P)$.
4. a. Calculer $f(H_0)$.
- b. Calculer, pour tout $k \in \mathbb{N}$, $g(H_k)$, et en déduire, pour tout $k \in \mathbb{N}$: $f(H_k) = (2k + 1)H_k$.

5. Établir, pour tout $(P, Q) \in F^2$:

$$(P' | Q') = (f(P) | Q) - (P | Q).$$

À cet effet, on pourra commencer par effectuer une intégration par parties sur un intervalle fermé borné.

6. Soit $n \in \mathbb{N}$.
- a. Montrer : $\forall P \in F_n, f(P) \in F_n$.

On note f_n l'endomorphisme de F_n défini par :

$$\forall P \in F_n, f_n(P) = f(P).$$

- b. Montrer que f_n est un endomorphisme symétrique de F_n .
- c. Donner une base orthonormale de F_n constituée de vecteurs propres de f_n .

Partie V : Intervention d'exponentielles

On note, pour tout $a \in \mathbb{R}$, φ_a l'application de \mathbb{R} dans \mathbb{R} définie, pour tout $x \in \mathbb{R}$, par : $\varphi_a(x) = e^{ax}$.

1. Vérifier, pour tout $a \in \mathbb{R}$: $\varphi_a \in E$.
2. Montrer, pour tout $(a, b) \in \mathbb{R}^2$: $(\varphi_a | \varphi_b) = e^{\left(\frac{a+b}{2}\right)^2}$.
3. Déterminer la nature de la série $\sum_{n \geq 1} \|\varphi_{\sqrt{\ln n}}\|^{-2}$.
4. Montrer que la série $\sum_{n \geq 0} \|\varphi_{\sqrt{n}}\|^{-2}$ converge et calculer sa somme.

Partie VI : Une limite de probabilité conditionnelle

Soit la fonction Φ définie sur $]0; +\infty[$ par :

$$\forall x \in]0; +\infty[, \quad \Phi(x) = \int_x^{+\infty} e^{-t^2} dt.$$

1. Montrer que Φ est de classe C^1 sur $]0; +\infty[$ et déterminer sa dérivée Φ' .
2. Soient G et K les fonctions définies sur $]0; +\infty[$ par :
$$\forall x \in]0; +\infty[, \quad G(x) = \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{2x^3}\right) \frac{e^{-x^2}}{2} \quad \text{et} \quad K(x) = \frac{e^{-x^2}}{2x}.$$
 - a. Déterminer les limites des fonctions Φ , G et K en $+\infty$.
 - b. Déterminer les sens de variation des fonctions $G - \Phi$ et $\Phi - K$.
 - c. En déduire : $\forall x \in]0; +\infty[, \quad G(x) \leq \Phi(x) \leq K(x)$.
 - d. Montrer : $\Phi(x) \underset{x \rightarrow +\infty}{\sim} \frac{e^{-x^2}}{2x}$.

3. Soit X une variable aléatoire normale d'espérance égale à 0 et d'écart-type égal à $\frac{1}{\sqrt{2}}$.
 - a. Pour tout réel x strictement positif, exprimer la probabilité $P(X \leq x)$ à l'aide de la fonction Φ .
 - b. Soit c un réel strictement positif.
Pour tout réel x , on considère la probabilité conditionnelle $P_{(X > x)}(X \leq x + c)$.
Montrer : $\lim_{x \rightarrow +\infty} P_{(X > x)}(X \leq x + c) = 1$.



ANNALES DE MATHEMATIQUES 2008

EM-LYON 2008 VOIE S

CORRIGE

PRELIMINAIRES

Soit X une variable aléatoire qui suit la loi normale de paramètres m, σ^2 . Une densité de X est φ définie par : $\forall x \in \mathbb{R}, \varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right)$ et l'on a $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x)dx = 1$ par définition d'une densité.

Prenons $\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}}$; l'égalité $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x)dx = 1$ s'écrit $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-(x-m)^2)dx = 1$, soit

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-(x-m)^2)dx = \sqrt{\pi}$$

PARTIE I : Un produit scalaire sur E

1) _____

$\forall (\alpha, \beta) \in \mathbb{R}^2, (\alpha - \beta)^2 = \alpha^2 + \beta^2 - 2\alpha\beta \geq 0$, donc $\alpha\beta \leq \frac{1}{2}(\alpha^2 + \beta^2)$

2) _____

On a alors, pour tout réel x $|u(x)v(x)| = |u(x)||v(x)| \leq \frac{1}{2}(u^2(x)+v^2(x))$ d'après l'inégalité précédente et en tenant compte que $(|z|)^2 = z^2$ pour tout réel z . Multiplions les deux termes de cette inégalité par $\exp(-x^2) > 0$, on obtient

$$|u(x)v(x)| \exp(-x^2) \leq \frac{1}{2}(u^2(x) + v^2(x)) \exp(-x^2) = \frac{1}{2}u^2(x) \exp(-x^2) + \frac{1}{2}v^2(x) \exp(-x^2).$$

Puisque u et v appartiennent à E , les intégrales $\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2}u^2(x) \exp(-x^2)dx$ et

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2}v^2(x) \exp(-x^2)dx$$
 convergent ;

par linéarité des intégrales convergentes $\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2}(u^2(x) + v^2(x)) \exp(-x^2)dx$ converge et par le théorème de comparaison des fonctions continues positives, l'inégalité

$$|u(x)v(x)| \exp(-x^2) \leq \frac{1}{2}(u^2(x) + v^2(x)) \exp(-x^2) = \frac{1}{2}u^2(x) \exp(-x^2) + \frac{1}{2}v^2(x) \exp(-x^2)$$

implique :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |u(x)v(x)| \exp(-x^2)dx \text{ est convergente.}$$

L'intégrale $\int_{-\infty}^{+\infty} u(x)v(x) \exp(-x^2)dx$ est absolument convergente, donc convergente