

Conception : EMLYON Business School

1<sup>ère</sup> épreuve (option scientifique)

## MATHÉMATIQUES

Mardi 29 avril 2014 de 8 heures à 12 heures

*La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.*

*Les candidats sont invités à encadrer dans la mesure du possible les résultats de leurs calculs.*

*Ils 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.*

*Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il la signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il sera amené à prendre.*

### PROBLÈME 1

On note  $E$  le  $\mathbb{R}$ -espace vectoriel des applications de  $\mathbb{R}$  dans  $\mathbb{R}$  continues,  $E_1$  le  $\mathbb{R}$ -espace vectoriel des applications de  $\mathbb{R}$  dans  $\mathbb{R}$  de classe  $C^1$ . On remarquera que  $E_1$  est inclus dans  $E$ .

On note, pour tout élément  $f$  de  $E$ ,  $T(f)$  l'application de  $\mathbb{R}$  dans  $\mathbb{R}$  définie, pour tout  $x \in \mathbb{R}$ , par :

$$T(f)(x) = \frac{1}{2} \int_{x-1}^{x+1} f(t) dt.$$

#### Partie I : Propriétés générales de $T$

1. Établir que, pour tout élément  $f$  de  $E$ ,  $T(f)$  appartient à  $E_1$  et que, pour tout  $x \in \mathbb{R}$  :

$$(T(f))'(x) = \frac{1}{2}(f(x+1) - f(x-1)).$$

On note  $T : E \rightarrow E$  l'application qui, à  $f$ , associe  $T(f)$ .

2. Montrer que  $T$  est un endomorphisme de  $E$ .

3. Est-ce que  $T$  est surjectif ?

4. Soit  $f \in E$ . Montrer que, si  $f$  est paire (respectivement impaire), alors  $T(f)$  est paire (respectivement impaire).

À cet effet, on pourra utiliser le changement de variable  $u = -t$  dans une intégrale.

5. Soit  $f \in E$ . Montrer que, si l'intégrale  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt$  converge, alors  $T(f)(x)$  tend vers 0 lorsque  $x$  tend vers  $+\infty$  et lorsque  $x$  tend vers  $-\infty$ .

6. On note  $s : \mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$  l'application qui, à tout  $t \in \mathbb{R}$ , associe  $s(t) = \sin(\pi t)$ .  
Calculer  $T(s)$ . Est-ce que  $T$  est injectif?

**Partie II : Premier exemple**

On note, pour tout  $a \in \mathbb{R}$  :  $f_a : \mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$ ,  $t \longmapsto f_a(t) = e^{at}$ .

7. Calculer, pour tout  $a \in \mathbb{R}$  et tout  $x \in \mathbb{R}$ ,  $T(f_a)(x)$ .

On note :  $\varphi : \mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$ ,  $a \longmapsto \varphi(a) = \begin{cases} \frac{e^a - e^{-a}}{2a} & \text{si } a \neq 0 \\ 1 & \text{si } a = 0. \end{cases}$

8. Établir :  $\forall a \in \mathbb{R}$ ,  $T(f_a) = \varphi(a)f_a$ .
9. Montrer que  $\varphi$  est dérivable sur  $\mathbb{R}$  et calculer, pour tout  $a \in \mathbb{R}$ ,  $\varphi'(a)$ .  
Étudier, selon  $a \in \mathbb{R}$ , le signe de  $e^a(a - 1) + e^{-a}(a + 1)$ .  
En déduire les variations de  $\varphi$  et tracer l'allure de sa représentation graphique.
10. En déduire que, pour tout  $\lambda \in [1; +\infty[$ , il existe  $f \in E - \{0\}$  tel que :  $T(f) = \lambda f$ .

**Partie III : Deuxième exemple**

On note :  $h : \mathbb{R} \longrightarrow \mathbb{R}$ ,  $t \longmapsto h(t) = \frac{1}{|t| + 1}$ .

11. Vérifier  $h \in E$  et calculer, pour tout  $x \in \mathbb{R}$ ,  $T(h)(x)$ .  
À cet effet, on remarquera que  $h$  est paire, et on distinguera les cas  $0 \leq x \leq 1$  et  $1 < x$ .
12. Étudier les variations de  $T(h)$  et tracer l'allure de sa représentation graphique.  
On précisera les tangentes aux points d'abscisses 0 et 1. On donne  $\ln 2 \approx 0,69\dots$ ,  $\ln 3 \approx 1,10\dots$
13. Est-ce que la réciproque du résultat obtenu dans la question 5. est vraie, c'est-à-dire, est-ce que, pour tout élément  $f$  de  $E$ , si  $T(f)(x)$  tend vers 0 lorsque  $x$  tend vers  $+\infty$  et lorsque  $x$  tend vers  $-\infty$ , alors l'intégrale  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt$  converge?

**Partie IV : Recherche d'extrémums locaux pour une fonction réelle de deux variables réelles**

On note :  $F : ]1; +\infty[ \longrightarrow \mathbb{R}$ ,  $x \longmapsto F(x) = \ln(x + 2) - \ln(x)$ ,

de sorte que  $F(x) = 2T(h)(x)$ , où  $h$  a été définie dans la partie III, et on note :

$$H : ]1; +\infty[^2 \longrightarrow \mathbb{R}, \quad (x, y) \longmapsto H(x, y) = F(x) + F(y) - 2F(xy).$$

14. Montrer que  $H$  est de classe  $C^1$  sur  $]1; +\infty[^2$  et calculer les dérivées partielles premières de  $H$  en tout  $(x, y) \in ]1; +\infty[^2$ .
15. Établir que  $H$  admet un point critique et un seul, que l'on calculera.  
On note  $(x_0, y_0)$  les coordonnées de ce point critique.
16. On admet que  $H$  est de classe  $C^2$  sur  $]1; +\infty[^2$  et que

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}(x_0, y_0) = \frac{\partial^2 H}{\partial y^2}(x_0, y_0) \approx -1,2 \cdot 10^{-2} \quad \text{et} \quad \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y}(x_0, y_0) \approx -4,5 \cdot 10^{-2}.$$

Est-ce que  $H$  admet un extrémum local sur  $]1; +\infty[^2$ ?

## Partie V : Transformée d'une densité

Soit  $f \in E$ . On suppose, dans cette partie, que  $f$  est une densité.

17. Montrer, pour tout  $(A, B)$  de  $\mathbb{R}^2$  :

$$\int_A^B T(f)(x) dx = \frac{1}{2} \int_{B-1}^{B+1} (B-x)f(x) dx - \frac{1}{2} \int_{A-1}^{A+1} (A-x)f(x) dx + \frac{1}{2} \int_{A+1}^{B+1} f(x) dx + \frac{1}{2} \int_{A-1}^{B-1} f(x) dx.$$

18. Montrer :  $\forall B \in \mathbb{R}, \left| \frac{1}{2} \int_{B-1}^{B+1} (B-x)f(x) dx \right| \leq T(f)(B)$ .

En déduire la limite de  $\frac{1}{2} \int_{B-1}^{B+1} (B-x)f(x) dx$  lorsque  $B$  tend vers  $+\infty$ .

19. Établir que  $T(f)$  est aussi une densité.

## PROBLÈME 2

Dans tout le problème,  $n$  désigne un entier naturel supérieur ou égal à 2.

Pour tout  $i$  de  $\llbracket 1; n \rrbracket$ , on note  $V_i$  la matrice colonne de  $\mathbf{M}_{n,1}(\mathbb{R})$  dont tous les coefficients sont nuls, sauf celui de la  $i$ -ième ligne qui est égal à 1. On admet que la famille  $(V_i)_{i \in \llbracket 1; n \rrbracket}$  est une base de  $\mathbf{M}_{n,1}(\mathbb{R})$ .

Pour tout  $(i, j)$  de  $\llbracket 1; n \rrbracket^2$ , on note  $E_{i,j} = V_i {}^t V_j$ . Ainsi, pour tout  $(i, j)$  de  $\llbracket 1; n \rrbracket^2$ , la matrice  $E_{i,j}$  est la matrice carrée de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  dont tous les coefficients sont nuls, sauf celui à l'intersection de la  $i$ -ième ligne et de la  $j$ -ième colonne qui est égal à 1. On admet que la famille  $(E_{i,j})_{(i,j) \in \llbracket 1; n \rrbracket^2}$  est une base de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ .

On note  $I_n$  la matrice identité de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ .

Soit  $A$  une matrice quelconque de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  telle que, pour tout  $\lambda$  de  $\mathbb{R}$ ,  $A \neq \lambda I_n$ .

On considère l'application  $\Phi_A$  de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  dans  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  définie par :

$$\forall M \in \mathbf{M}_n(\mathbb{R}), \Phi_A(M) = AM - MA.$$

### Partie I : Quelques généralités

1. Montrer que  $\Phi_A$  est un endomorphisme de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ .
2. Calculer  $\Phi_A(I_n)$ . L'endomorphisme  $\Phi_A$  est-il injectif? surjectif?

### Partie II : Étude d'un cas particulier

On suppose, dans cette partie seulement, que  $n = 2$  et  $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$ .

3. Justifier que la matrice  $A$  est diagonalisable dans  $\mathbf{M}_2(\mathbb{R})$  et donner les valeurs propres de  $A$ .

On note  $\mathcal{B}$  la base de  $\mathbf{M}_2(\mathbb{R})$  constituée des quatre matrices suivantes :

$$E_{1,1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad E_{1,2} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad E_{2,1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad E_{2,2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

4. Écrire la matrice de  $\Phi_A$  dans la base  $\mathcal{B}$ , puis calculer le rang de cette matrice.
5. Déterminer les valeurs propres de  $\Phi_A$  et montrer que  $\Phi_A$  est diagonalisable.

### Partie III : Étude du cas où $A$ est diagonalisable

On suppose, dans cette partie seulement, que la matrice  $A$  est diagonalisable dans  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ .

6. Montrer que  ${}^tA$  est diagonalisable dans  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  et que  $A$  et  ${}^tA$  ont les mêmes valeurs propres.
7. Soient  $X, Y \in \mathbf{M}_{n,1}(\mathbb{R})$  tels que  $X$  (resp.  $Y$ ) est un vecteur propre de  $A$  (resp. de  ${}^tA$ ).  
Montrer que  $X {}^tY$  est un vecteur propre de  $\Phi_A$ .
8. Soient  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  et  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  deux bases de  $\mathbf{M}_{n,1}(\mathbb{R})$ .  
On note  $\mathcal{F}$  la famille  $\mathcal{F} = (X_i {}^tY_j)_{(i,j) \in \llbracket 1;n \rrbracket^2}$ .  
Montrer que, pour tout  $(i, j)$  de  $\llbracket 1;n \rrbracket^2$ ,  $V_i {}^tV_j$  appartient au sous-espace vectoriel de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  engendré par  $\mathcal{F}$ , et en déduire que la famille  $\mathcal{F}$  est une base de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ .
9. Établir que  $\Phi_A$  est diagonalisable.
10. Montrer que l'ensemble des valeurs propres de  $\Phi_A$  est l'ensemble des différences  $\lambda - \mu$  lorsque  $\lambda$  et  $\mu$  décrivent les valeurs propres de  $A$ .

### Partie IV : Étude d'un sous-espace propre de $\Phi_A$ associé à une valeur propre non nulle

Soient  $\lambda$  une valeur propre non nulle de  $\Phi_A$  et  $T \in \mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  un vecteur propre associé ; on a alors :

$$\Phi_A(T) = \lambda T \quad \text{et} \quad T \neq 0.$$

11. À l'aide d'un raisonnement par récurrence, montrer :  $\forall k \in \mathbb{N}, \Phi_A(T^k) = \lambda k T^k$ .
12. En raisonnant par l'absurde, montrer qu'il existe un entier  $q$  de  $\mathbb{N}^*$  tel que :  $T^q = 0$  et  $q \leq n^2$ .

On note  $p$  l'entier de  $\mathbb{N}^*$  tel que  $T^p = 0$  et  $T^{p-1} \neq 0$ .

13. Justifier qu'il existe  $X \in \mathbf{M}_{n,1}(\mathbb{R})$  tel que  $T^{p-1}X \neq 0$ .  
Montrer que la famille  $(X, TX, \dots, T^{p-1}X)$  est libre dans  $\mathbf{M}_{n,1}(\mathbb{R})$ , et en déduire :  $p \leq n$ .

### Partie V : Étude du cas où $A$ est symétrique

On suppose, dans cette partie seulement, que la matrice  $A$  est symétrique ; il existe donc une matrice  $P \in \mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  orthogonale telle que  $P^{-1}AP$  est diagonale. On note  $C_1, C_2, \dots, C_n$  les colonnes de  $P$ .

Pour toutes matrices  $M = (m_{i,j})_{(i,j) \in \llbracket 1;n \rrbracket^2}$  et  $N = (n_{i,j})_{(i,j) \in \llbracket 1;n \rrbracket^2}$  de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ , on définit :

$$(M | N) = \sum_{(i,j) \in \llbracket 1;n \rrbracket^2} m_{i,j} n_{i,j}.$$

14. Montrer que l'application  $(. | .)$  est un produit scalaire sur  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ .
15. Montrer :  $\forall (M, N) \in \mathbf{M}_n(\mathbb{R})^2, (M | N) = (M {}^tN | I_n)$ .
16. Pour tout  $(i, j)$  de  $\llbracket 1;n \rrbracket^2$ , calculer  ${}^tC_i C_j$ .
17. Pour tout  $(i, j)$  de  $\llbracket 1;n \rrbracket^2$ , déterminer les coefficients diagonaux de la matrice  $C_i {}^tC_j$  et en déduire la valeur de  $(C_i {}^tC_j | I_n)$ .
18. Pour tout  $(i, j, k, \ell)$  de  $\llbracket 1;n \rrbracket^4$ , calculer  $(C_i {}^tC_j | C_k {}^tC_\ell)$ .
19. On considère la famille  $\mathcal{G} = (C_i {}^tC_j)_{(i,j) \in \llbracket 1;n \rrbracket^2}$  de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$ .

Montrer que  $\mathcal{G}$  est une base orthonormée pour le produit scalaire  $(. | .)$  de  $\mathbf{M}_n(\mathbb{R})$  et que  $\mathcal{G}$  est constituée de vecteurs propres de  $\Phi_A$ .