EMLyon 2015 - option eco

Exercice 1

Dans tout l'exercice, $(\Omega, \mathcal{A}, P)$ désigne un espace probabilisé et toutes les variables aléatoires considérées seront supposées définies sur cet espace.

Partie I : Loi exponentielle

Dans toute cette partie, λ désigne un réel strictement positif.

1. Donner une densité, la fonction de répartition, l'espérance et la variance d'une variable aléatoire suivant une loi exponentielle de paramètre λ.
2. Justifier que les intégrales suivantes convergent et donner leurs valeurs :
$$\int_0^{+\infty} e^{-\lambda x}dx, \qquad \int_0^{+\infty} xe^{-\lambda x}dx.$$
3. (a) Soit U une variable aléatoire suivant la loi uniforme sur $[0,1[$. Quelle est la loi de la variable aléatoire $V = -\dfrac{1}{\lambda}\ln(1-U)$.

   (b) Ecrire une fonction en Scilab qui, étant donné un réel λ strictement positif, simule la loi exponentielle de paramètre λ.

On considère une suite $(X_n)_{n\in\mathbb{N}^*}$ de variables aléatoires indépendantes suivant toutes la loi exponentielle de paramètre 1. Pour tout n de $\mathbb{N}^*$, on définit la variable aléatoire $T_n = \max(X_1, ..., X_n)$ qui, à tout ω de Ω, associe le plus grand des réels $X_1(\omega), ..., X_n(\omega)$ et on note f_n la fonction définie sur $\mathbb{R}$ par :
$$\forall x \in \mathbb{R}, \qquad f_n(x) = \begin{cases} ne^{-x}(1-e^{-x})^{n-1} & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}.$$

Partie II : Loi de la variable aléatoire T_n

4. (a) Calculer, pour tout n de $\mathbb{N}^*$ et pour tout x de $\mathbb{R}^{+*}$, la probabilité $P(T_n \leq x)$.

   (b) En déduire que, pour tout n de $\mathbb{N}^*$, T_n est une variable aléatoire à densité, admettant pour densité la fonction f_n.
5. (a) Montrer que, pour tout n de $\mathbb{N}^*$, la variable aléatoire T_n admet une espérance.

   (b) Déterminer l'espérance $E(T_1)$ de T_1 et l'espérance $E(T_2)$ de T_2.
6. (a) Vérifier : $\quad \forall n \in \mathbb{N}^*, \quad \forall x \in \mathbb{R}^+, \quad f_{n+1}(x) - f_n(x) = -\dfrac{1}{n+1} f'_{n+1}(x).$

   (b) Montrer ensuite, à l'aide d'une intégration par parties :
$$\forall n \in \mathbb{N}^*, \quad \int_0^{+\infty} x(f_{n+1}(x) - f_n(x))dx = \frac{1}{n+1}\int_0^{+\infty} f_{n+1}(x)dx.$$

   (c) En déduire, pour tout n de $\mathbb{N}^*$, une relation entre $E(T_{n+1})$ et $E(T_n)$, puis une expression de $E(T_n)$ sous forme d'une somme.

Partie III : La loi du premier dépassement

Dans toute cette partie, a désigne un réel strictement positif.

On définit la variable aléatoire N égale au plus petit entier n de $\mathbb{N}^*$ tel que $X_n > a$ si un tel entier existe, et égale à 0 sinon.

7. Justifier l'égalité : $(N = 0) = \displaystyle\bigcap_{k=1}^{+\infty}(X_k \leq a)$.
8. Montrer : $\quad \forall n \in \mathbb{N}^*, \ P(N = n) = (1-e^{-a})^{n-1}e^{-a}$.
9. Déterminer l'espérance $E(N)$ et la variance $V(N)$ de N.

On s'intéresse maintenant à la variable aléatoire Z, définie pour tout ω de Ω par :
$$Z(\omega) = \begin{cases} X_N(\omega) & \text{si } N(\omega) \neq 0 \\ 0 & \text{si } N(\omega) = 0 \end{cases}.$$

10. Justifier $P(Z \leq a) = 0$.

11. Soit $x \in]a, +\infty[$.
    (a) Soit $n \in \mathbb{N}^*$. Justifier l'égalité d'événements :

$$((N = n) \cap (Z \leq x)) = \begin{cases} (a < X_1 \leq x) & \text{si } n = 1 \\ (T_{n-1} \leq a) \cap (a < X_n \leq x) & \text{si } n \geq 2 \end{cases}.$$

    En déduire la probabilité $P((N = n) \cap (Z \leq x))$.
    (b) Montrer alors : $P(Z \leq x) = 1 - e^{a-x}$.
12. (a) Montrer que la variable aléatoire $Z - a$ suit une loi exponentielle dont on précisera le paramètre.
    (b) En déduire l'existence et la valeur de $E(Z)$, ainsi que l'existence et la valeur de $V(Z)$.

Exercice 2

Dans cet exercice, on pourra utiliser l'encadrement suivant : 2 ¡ e ¡ 3.

Partie I : Etude d'une fonction

On considère l'application $\varphi : \mathbb{R} \to \mathbb{R}, x \mapsto \varphi(x) = x^2 e^x - 1$.

1. Dresser le tableau de variations de φ, en précisant la limite de $varphi$ en $-\infty$, sa valeur en 0 et sa limite en $+\infty$.
2. Etablir que l'équation $e^x = \dfrac{1}{x^2}$, d'inconnue $x \in]0, +\infty[$, admet une solution et une seule, notée α, et que α appartient à l'intervalle $\left]\dfrac{1}{2}; 1\right[$.

On considère l'application $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}, x \mapsto f(x) = x^3 e^x$, et la suite réelle $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ définie par : $u_0 = 1$ et $\forall n \in \mathbb{N},\ u_{n+1} = f(u_n)$.

Partie II : Etude d'une suite

3. Montrer : $\forall n \in \mathbb{N}, \quad u_n \geq 1$.
4. Etablir que la suite $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ est croissante.
5. Quelle est la limite de u_n lorsque l'entier n tend vers l'infini ?

Partie III : Etude d'une série

6. Montrer que la série $\displaystyle\sum_{n \geq 1} \frac{1}{f(n)}$ converge. On note $S = \displaystyle\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{f(n)}$.
7. Montrer : $\forall n \in \mathbb{N}^*, \left| S - \sum_{k=1}^{n} \dfrac{1}{f(k)} \right| \leq \dfrac{1}{(e-1)e^n}$.
8. En déduire une fonction en Scilab qui calcule une valeur approchée de S à 10^{-4} près.

Partie IV : Etude d'une fonction de deux variables

On considère l'ouvert $U =]0, +\infty[\times \mathbb{R}$ de $\mathbb{R}^2$ et l'application de classe C^2 suivante :

$$g : U \to \mathbb{R}, (x, y) \mapsto g(x, y) = \frac{1}{x} + e^x - y^2 e^y.$$

10. Représenter graphiquement l'ensemble U.
11. Calculer, pour tout (x, y) de U, les dérivées partielles premières de g en (x, y).
12. Montrer que g admet deux points critiques et deux seulement, et que ceux-ci sont $(\alpha, 0)$ et $(\alpha, -2)$, où α est le réel défini à la question 2.
13. Est-ce que g admet un extremum local en $(\alpha, 0)$?
14. Est-ce que g admet un extremum local en $(\alpha, -2)$?
15. Est-ce que g admet un extremum global sur U ?

Exercice 3

Soit E un espace vectoriel de dimension 3. On note 0_E le vecteur nul de E.
On note i l'application identité de E, et θ l'application constante nulle de E dans E :

$$i : E \to E, x \mapsto x \quad \text{et} \quad \theta : E \to E, x \mapsto 0_E.$$

On considère un endomorphisme f de E tel que :

$$f \neq \theta, \qquad f^2 + i \neq \theta, \qquad f \circ (f^2 + i) = \theta,$$

où f^2 désigne $f \circ f$.

1. (a) Montrer que f n'est pas bijectif.

   (b) En déduire que 0 est valeur propre de f, puis montrer qu'il existe u appartenant à E tel que :

$$u \neq 0_E \quad \text{et} \quad f(u) = 0_E.$$

Soit v_1 appartenant à E tel que : $v_1 \neq 0_E$ et $f(v_1) = 0_E$.

2. Montrer : $Sp(f) = \{0\}$.
3. Est-ce que f est diagonalisable ?
4. Montrer que $f^2 + i$ n'est pas bijectif, puis en déduire qu'il existe v appartenant à E tel que :

$$v \neq 0_E \quad \text{et} \quad f^2(v) = -v.$$

Soit v_2 appartenant à E tel que : $v_2 \neq 0_E$ et $f^2(v_2) = -v_2$. On note $v_3 = f(v_2)$.

5. Montrer : $f(v_3) = -v_2$.
6. (a) Montrer que la famille $\mathcal{B} = (v_1, v_2, v_3)$ est une base de E.

   (b) Déterminer une matrice C de f dans la base $\mathcal{B}$.

On considère les matrices suivantes : $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ et $B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$,
et le sous-espace vectoriel $\mathcal{F}$ de $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$ engendré par (A, B, C), c'est-à-dire :

$$\mathcal{F} = \{aA + bB + cC ; (a, b, c) \in \mathbb{R}^3\}.$$

7. Déterminer la dimension de $\mathcal{F}$.
8. Montrer : $\{M \in \mathcal{M}_3(\mathbb{R}) ; CM = MC\} = \mathcal{F}$.
9. (a) Pour tout $(a, b, c) \in \mathbb{R}^3$, calculer la matrice $(aA + bB + cC)^2$.

   (b) En déduire une matrice M de $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$ telle que : $M^2 = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & -12 \\ 0 & 12 & 5 \end{pmatrix}$.

10. On note $g = f^2 - i$.
    Montrer que g est bijectif et exprimer g^{-1} à l'aide de f et i.