

ingl \triangleright **Exercice 0 - Durée de vie et temps d'attente**

On considère n lampes, $n \in \mathbb{N}$. La durée de vie (en années) d'une lampe est une variable aléatoire absolument continue dont la densité f est définie sur \mathbb{R} par

$$f: t \mapsto \frac{1}{16}te^{-\frac{t}{4}}1_{[0;+\infty[}(t)$$

On suppose que les lampes évoluent de manière indépendante.

Pour tout entier $i \in \{1, \dots, n\}$, on note X_i la variable aléatoire égale à la durée de vie de la i -ème lampe.

1. Déterminer la fonction de répartition de la variable aléatoire X_1 .

On note F_{X_1} la fonction de répartition de la variable aléatoire X_1 . Par définition,

$$\begin{aligned} \forall t \in \mathbb{R}, F_{X_1}(t) &= \int_{-\infty}^t f(x)dx \\ &= \begin{cases} 0 & \text{si } t < 0 \\ \int_0^t \frac{1}{16}xe^{-\frac{x}{4}}dx & \text{si } t \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

c'est-à-dire pour $t \in \mathbb{R}^+$,

$$\begin{aligned} F_{X_1}(t) &= \left[\frac{-1}{4}xe^{-\frac{x}{4}} \right]_0^t + \int_0^t \frac{1}{4}e^{-\frac{x}{4}}dx \quad \text{par une I.P.P.} \\ &= \frac{-1}{4}te^{-\frac{t}{4}} + [-e^{-\frac{x}{4}}]_0^t \\ &= 1 - e^{-\frac{t}{4}} \left(\frac{t}{4} + 1 \right) \end{aligned}$$

Finalement on a :

$$\forall t \in \mathbb{R}, \quad F_{X_1}(t) = \left(1 - e^{-\frac{t}{4}} \left(\frac{t}{4} + 1 \right) \right) 1_{[0;+\infty[}(t)$$

2. Un appareil de type A comporte 6 lampes, toutes nécessaires à son fonctionnement.

On note $T = \min_{i \in \{1, \dots, 6\}} (X_i)$.

- (a) Que modélise la variable aléatoire T ?

La variable aléatoire T modélise la durée de fonctionnement de l'appareil de type A .

- (b) Déterminer la loi de T .

On détermine la fonction de répartition de T :

$$\forall t \in \mathbb{R}, \quad F_T(t) = \mathbb{P}(T \leq t).$$

Si $t \leq 0$, $F(t) = 0$. Soit $t \in \mathbb{R}^+$. Alors

$$\begin{aligned}
F_T(t) &= \mathbb{P}\left(\min_{i \in \{1, \dots, 6\}} (X_i) \leq t\right) \\
&= 1 - \mathbb{P}\left(\min_{i \in \{1, \dots, 6\}} (X_i) > t\right) \\
&= 1 - \mathbb{P}(\{X_1 > t\} \cap \dots \cap \{X_6 > t\}) \\
&= 1 - \prod_{i=1}^6 \mathbb{P}(X_i > t) \quad \text{par indépendance des } (X_i)_{i \in \{1, \dots, 6\}} \\
&= 1 - \mathbb{P}(X_1 > t)^6 \quad \text{car les } (X_i)_{i \in \{1, \dots, 6\}} \text{ sont de même loi} \\
&= 1 - (1 - F_{X_1}(t))^6.
\end{aligned}$$

En utilisant la question 1, on en déduit que :

$$\forall t \in \mathbb{R}, \quad F_T(t) = \left(1 - e^{-\frac{3t}{2}} \left(1 + \frac{t}{4}\right)^6\right) \mathbf{1}_{[0;+\infty]}(t).$$

- (c) Calculer la probabilité que l'appareil de type A fonctionne de manière continue pendant au moins 4 ans à partir de sa mise en marche, sans changer de lampe.

On cherche à déterminer la probabilité $P(T \geq 4)$:

$$P(T \geq 4) = 1 - P(T < 4) = 1 - F_T(4) = 2^6 e^{-6} \simeq 0.1586.$$

La probabilité que l'appareil de type A fonctionne de manière continue pendant au moins 4 ans à partir de sa mise en marche est d'environ 15.86%.

3. Un appareil de type B fonctionne avec une lampe seulement. On dispose cette fois d'une lampe de remplacement.
- (a) Soit U la variable aléatoire donnant la durée de fonctionnement d'un appareil de type B en ayant remplacé une fois la lampe aussitôt qu'elle est en panne. Exprimer U en fonction de X_1 et X_2 .

D'après l'énoncé, $U = X_1 + X_2$.

- (b) Déterminer la loi de U .

Comme U est une somme de deux variables aléatoires indépendantes de densité

f , une densité de U se calcule à l'aide du produit de convolution : pour $s \in \mathbb{R}$,

$$\begin{aligned}
f_U(s) &= f * f(s) \\
&= \int_{\mathbb{R}} f(s-x)f(x)dx \\
&= \frac{1}{16^2} e^{-\frac{s}{4}} \mathbf{1}_{[0;+\infty[}(s) \int_0^s x(s-x)dx \\
&= \frac{1}{16^2} e^{-\frac{s}{4}} \mathbf{1}_{[0;+\infty[}(s) \left[\frac{1}{2}x^2s - \frac{1}{3}x^3 \right]_{x=0}^{x=s} \\
&= \frac{1}{16^2} e^{-\frac{s}{4}} \mathbf{1}_{[0;+\infty[}(s) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right) s^3 \\
&= \frac{1}{16^2 \times 6} s^3 e^{-\frac{s}{4}} \mathbf{1}_{[0;+\infty[}(s) \\
&= \frac{1}{1536} s^3 e^{-\frac{s}{4}} \mathbf{1}_{[0;+\infty[}(s),
\end{aligned}$$

ce qui détermine la loi de U .

4. On dispose de 4 appareils de type B , sans aucune lampe de remplacement. On met en marche ces 4 appareils simultanément. On note V le temps durant lequel au moins un des 4 appareils fonctionne.
- (a) Exprimer V en fonction de X_1, X_2, X_3, X_4 .

D'après l'énoncé, $V = \max_{i \in \{1, \dots, 4\}} (X_i)$.

- (b) En déduire la loi de V .

Pour tout $t \in \mathbb{R}$, on a :

$$\begin{aligned}
F_V(t) &= \mathbb{P}(\max_{i \in \{1, \dots, 4\}} (X_i) \leq t) \\
&= \mathbb{P}(\{X_1 \leq t\} \cap \dots \cap \{X_4 \leq t\}) \\
&= \prod_{i=1}^4 \mathbb{P}(X_i \leq t) \quad \text{par indépendance des } (X_i)_{i \in \{1, \dots, 4\}} \\
&= F_{X_1}(t)^4 \quad \text{car les } (X_i)_{i \in \{1, \dots, 4\}} \text{ sont de même loi} \\
&= \left(1 - e^{-\frac{t}{4}} \left(1 + \frac{t}{4}\right)\right)^4 \mathbf{1}_{[0;+\infty[}(t)
\end{aligned}$$