

## T.D. VII - Variables aléatoires discrètes infinies

### I - Modélisation & Lois géométriques

**Exercice 1. (✱)** Une urne contient 3 boules rouges et 5 boules noires indistinguables au toucher. On effectue avec remise des tirages dans l'urne jusqu'à obtenir une boule rouge. On note  $T$  le numéro du premier tirage où une boule rouge apparaît.

Quelle est la loi de  $T$ ? Préciser l'espérance et la variance de  $T$ .

**Exercice 2. (✱)** Une urne contient 2 boules rouges et 3 boules noires indistinguables au toucher. On effectue avec remise des tirages dans l'urne jusqu'à obtenir une boule noire. On note  $T$  le numéro du premier tirage où une boule noire apparaît.

Quelle est la loi de  $T$ ? Préciser l'espérance et la variance de  $T$ .

**Exercice 3. (✱)** Un dé équilibré à 6 faces est lancé successivement 2 fois. On note  $S$  la variable aléatoire égale à la somme des résultats obtenus au cours de ces deux lancers.

1. Quelle est la loi de  $S$ ?

On appelle *manche* l'expérience réalisée précédemment. Un joueur décide de jouer jusqu'à obtenir un 7 lors d'une manche. On note  $T$  la variable aléatoire égale au nombre de manches jouées quand le joueur s'arrête.

2. Quelle est la loi de  $T$ ? Préciser l'espérance et la variance de  $T$ .

**Exercice 4. (✱)** On dispose d'une pièce qui renvoie Pile avec probabilité  $\frac{1}{3}$  et Face avec probabilité  $\frac{2}{3}$ . On lance la pièce successivement 4 fois et on note  $X$  le nombre de piles obtenus.

1. Quelle est la loi de  $X$ ?

On appelle *manche* l'expérience réalisée précédemment. Un joueur décide de jouer jusqu'à obtenir au moins 2 piles lors d'une manche. On note  $T$  la variable aléatoire égale au nombre de manches jouées quand le joueur s'arrête.

2. Quelle est la loi de  $T$ ? Préciser l'espérance et la variance de  $T$ .

**Exercice 5. (✱)** On dispose d'une urne numérotée 1 et contenant 2 boules rouges et 3 boules noires et d'une urne numérotée 2 contenant 1 boule rouge et 4 boules noires. On dispose également d'une pièce équilibrée.

On appelle *partie* l'expérience suivante : on lance la pièce de monnaie ; si elle renvoie Pile, on tire une boule de l'urne numérotée 1 ; sinon, on tire une boule de l'urne numérotée 2.

1. On note  $R$  l'événement « la boule tirée est rouge ». Déterminer  $\mathbf{P}(R)$ .

Un joueur répète des parties en remettant à chaque fois la boule tirée dans son urne d'origine, jusqu'à ce qu'il obtienne une boule rouge. On note  $T$  le rang de la partie où il s'arrête.

2. Déterminer la loi de  $T$ . Préciser l'espérance et la variance de  $T$ .

**Exercice 6. (✱)** On dispose de 3 urnes numérotées de 1 à 3. Pour tout  $k \in \llbracket 1, 3 \rrbracket$ , l'urne numéro  $k$  contient  $k$  boules rouges et  $4 - k$  boules noires.

L'expérience consiste à choisir une urne « au hasard » puis à y tirer une boule.

1. On note  $N$  l'événement « la boule tirée est noire ». Déterminer  $\mathbf{P}(N)$ .

Un joueur répète des expériences en remettant à chaque fois la boule tirée dans son urne d'origine, jusqu'à ce qu'il obtienne une boule noire. On note  $T$  le rang de la partie où il s'arrête.

2. Déterminer la loi de  $T$ . Préciser l'espérance et la variance de  $T$ .

## II - Autour de la loi géométrique

**Exercice 7.** Soit  $X$  une variable aléatoire telle que

$$\forall n \geq 1, \mathbf{P}([X = n]) = \frac{2}{5} \times \left(\frac{3}{5}\right)^{n-1}.$$

1. Reconnaître la loi de  $X$ . En déduire son espérance et sa variance.
2. Soit  $n \geq 1$ . Déterminer  $\mathbf{P}([X \leq n])$ .

**Exercice 8.** Soit  $T$  une variable aléatoire à valeurs dans  $\mathbb{N}$  telle que

$$\forall k \in \mathbb{N}, \mathbf{P}([T = k]) = \frac{1}{3} \times \left(\frac{2}{3}\right)^k.$$

On pose  $Y = T + 1$ .

1. Déterminer  $Y(\Omega)$ , puis, pour tout  $k \in Y(\Omega)$ , exprimer  $\mathbf{P}([Y = k])$  en fonction de  $\mathbf{P}([T = k - 1])$ .
2. Reconnaître la loi de la variable aléatoire  $Y$ . Préciser son espérance et sa variance.
3. En déduire l'espérance et la variance de  $T$ .

**Exercice 9.** Soit  $T$  une variable aléatoire à valeurs dans  $\mathbb{N}$  telle que

$$\forall k \in \mathbb{N}, \mathbf{P}([T = k]) = \frac{1}{5} \times \left(\frac{4}{5}\right)^k.$$

On pose  $Y = T + 1$ .

1. Déterminer  $Y(\Omega)$ , puis, pour tout  $k \in Y(\Omega)$ , exprimer  $\mathbf{P}([Y = k])$  en fonction de  $\mathbf{P}([T = k - 1])$ .
2. Reconnaître la loi de la variable aléatoire  $Y$ . Préciser son espérance et sa variance.
3. En déduire l'espérance et la variance de  $T$ .

**Exercice 10. (Loi sans mémoire,  $\Rightarrow$ )** On considère une variable aléatoire  $X$  à valeurs dans  $\mathbb{N}^*$  telle que

$$\forall n \geq 1, \mathbf{P}_{[X > n-1]}([X = n]) = \frac{2}{3}.$$

Pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$ , on pose  $u_n = \mathbf{P}([X > n])$ . Soit  $n \geq 1$ .

1. Justifier que

$$[X > n - 1] = [X = n] \cup [X > n].$$

2. En déduire que  $u_{n-1} - u_n = \mathbf{P}([X = n])$ .
3. Montrer que  $\mathbf{P}_{[X > n-1]}([X > n]) = \frac{u_n}{u_{n-1}}$ .
4. Montrer par ailleurs que

$$\mathbf{P}_{[X > n-1]}([X > n]) = 1 - \mathbf{P}_{[X > n-1]}([X = n]).$$

5. En déduire que  $u_n = \frac{1}{3}u_{n-1}$ .
6. Exprimer la valeur de  $u_n$  en fonction de  $n$  puis reconnaître la loi de  $X$ .
7. Exprimer  $\mathbf{P}([X \leq n])$  en fonction de  $n$ .

**Exercice 11. ( $\Rightarrow$ )** Soit  $X_1, X_2$  deux variables aléatoires indépendantes de même loi de probabilité géométrique de paramètre  $\frac{2}{3}$ . On note  $Z$  la variable aléatoire égale au maximum de  $X_1$  et de  $X_2$ .

1. Montrer que  $[Z \leq n] = [X_1 \leq n] \cap [X_2 \leq n]$ .
2. En déduire la valeur de  $\mathbf{P}([Z \leq n])$ .
3. Pour tout  $n$  entier naturel non nul, en remarquant que  $\mathbf{P}([Z = n]) = \mathbf{P}([Z \leq n]) - \mathbf{P}([Z \leq n - 1])$ , déterminer  $\mathbf{P}([Z = n])$ .
4. Vérifier que  $\sum_{n=1}^{+\infty} \mathbf{P}([Z = n]) = 1$ .

**Exercice 12.** Soit  $Y$  une variable aléatoire telle que,

$$\forall k \in \mathbb{N}, \mathbf{P}([Y = k]) = e^{-k} - e^{-(k+1)}.$$

On pose  $Z = Y + 1$ .

1. Vérifier que  $\sum_{k=0}^{+\infty} \mathbf{P}([Y = k]) = 1$ .
2. Reconnaître la loi de  $Z$  puis en déduire son espérance et sa variance.
3. En déduire l'espérance et la variance de  $Y$ .
4. On considère la matrice  $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & Y \end{pmatrix}$ . Calculer la probabilité que  $M$  soit inversible.

**Exercice 13.** ( $\rightarrow$ ) Soit  $X$  et  $Y$  deux variables aléatoires indépendantes qui suivent une loi géométrique de paramètre  $\frac{1}{3}$ .

1. En utilisant le système complet d'événements  $([Y = k])_{k \in \mathbb{N}^*}$ , montrer que

$$\mathbf{P}([X = Y]) = \sum_{k=1}^{+\infty} \mathbf{P}([X = k]) \times \mathbf{P}([Y = k]).$$

2. Calculer  $\sum_{k=1}^{+\infty} \left(\frac{2}{3}\right)^{2k-2}$ .
3. En déduire  $\mathbf{P}([X = Y])$ .

### III - Autour de la loi de Poisson

**Exercice 14.** ( $\otimes$ ) Un serveur téléphonique ouvre sa ligne chaque minute. Chaque minute, la probabilité qu'il prenne un client est constante et égale à  $\frac{1}{12}$ . On note  $X$  le nombre d'appels auxquels le serveur a répondu en 1 heure.

1. Déterminer la loi de  $X$ , son espérance  $\mathbf{E}[X]$  et sa variance  $\mathbf{V}(X)$ .
- On suppose qu'on peut approcher la loi de la variable aléatoire  $X$  par la loi d'une variable aléatoire  $Z$  suivant une loi de Poisson de même

espérance que  $X$ . On considère la table de la loi de Poisson de paramètre 5 suivante :

$k$	0	1	2	3	4	5	6
$\mathbf{P}([Y = k])$	0,006	0,034	0,084	0,140	0,175	0,175	0,146

2. Déterminer la valeur du paramètre de cette loi de Poisson.
3. Déterminer des valeurs approchées de  $\mathbf{P}([X \leq 3])$  puis  $\mathbf{P}([X \geq 4])$ .

**Exercice 15.** ( $\otimes$ ) Une entreprise produit 100 ampoules par seconde. On suppose que chaque ampoule a une probabilité de 5% d'être défectueuse. On note  $X$  la variable aléatoire égale au nombre d'ampoules défectueuses par seconde.

1. Déterminer la loi de  $X$  puis préciser son espérance et sa variance.

On suppose qu'on peut approcher la loi de la variable aléatoire  $X$  par la loi d'une variable aléatoire  $Z$  suivant une loi de Poisson de même espérance que  $X$ .

2. Déterminer la valeur du paramètre de cette loi de Poisson.
3. À l'aide de la table de valeurs ci-dessous, calculer une valeur approchée de  $\mathbf{P}([X \geq 10])$ .

#### Fonction de répartition de la loi de Poisson de paramètre $\lambda$ .

Par exemple, si  $U$  suit une loi de Poisson de paramètre  $\lambda = 3$ , alors  $\mathbf{P}([U \leq 4]) = 0,815$ .

$\lambda \backslash k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,368	0,135	0,05	0,018	0,007	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,736	0,406	0,199	0,092	0,040	0,017	0,007	0,003	0,001	0,000
2	0,920	0,677	0,423	0,238	0,125	0,062	0,030	0,014	0,006	0,003
3	0,981	0,857	0,647	0,433	0,265	0,151	0,082	0,042	0,021	0,010
4	0,996	0,947	0,815	0,629	0,440	0,285	0,173	0,100	0,055	0,030
5	0,999	0,983	0,916	0,785	0,616	0,446	0,301	0,191	0,116	0,067
6	1	0,995	0,966	0,889	0,762	0,606	0,450	0,313	0,207	0,130
7	1	0,999	0,988	0,949	0,867	0,744	0,599	0,453	0,324	0,220
8	1	1	0,996	0,979	0,932	0,847	0,729	0,593	0,456	0,333
9	1	1	0,999	0,992	0,968	0,916	0,830	0,717	0,587	0,458
10	1	1	1	0,997	0,986	0,957	0,901	0,816	0,706	0,583

## IV - Autres lois

**Exercice 16.** On considère une variable aléatoire  $X$  à valeurs dans  $\mathbb{N}$  telle que

$$\begin{cases} \mathbf{P}([X = 0]) &= \frac{1}{2}, \\ \mathbf{P}([X = j]) &= \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2}\right)^j, \forall j \geq 1. \end{cases}$$

On admet que  $\sum_{k=1}^{+\infty} kx^{k-1} = \frac{1}{(1-x)^2}$ .

Déterminer l'espérance de  $X$ .

**Exercice 17.** Soit  $X$  une variable aléatoire à valeurs dans  $\mathbb{N}$  telle que,

$$\forall k \in \mathbb{N}^*, \mathbf{P}([X = k]) = \frac{1}{k(k+1)}.$$

1. Simplifier  $\frac{1}{k} - \frac{1}{k+1}$ .
2. Vérifier que  $\sum_{k=1}^{+\infty} \mathbf{P}([X = k]) = 1$ .
3. En déduire la valeur de  $\mathbf{P}([X = 0])$ .
4. Montrer que, pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$ ,  $\mathbf{P}([X > n]) = \frac{1}{n+1}$ .

**Exercice 18.** Soit  $X$  une variable aléatoire telle que

$$\forall n \geq 2, \mathbf{P}([X = n]) = \frac{4(n-1)}{3^n}.$$

On admet que pour tout  $x \in [0, 1[$ ,

$$\sum_{k=1}^{+\infty} kx^k = \frac{x}{(1-x)^2} \text{ et } \sum_{k=1}^{+\infty} k^2 x^k = \frac{x(x+1)}{(1-x)^3}.$$

1. Vérifier que  $\sum_{n=2}^{+\infty} \frac{4(n-1)}{3^n} = 1$ .
2. Calculer l'espérance de  $X$ .

**Exercice 19.** Soit  $Y$  une variable aléatoire à valeurs dans  $\mathbb{N}^* \setminus \{1\}$  telle que

$$\forall n \geq 2, \mathbf{P}([Y = n]) = \left(\frac{2}{3}\right)^{n-2} - \left(\frac{1}{2}\right)^{n-2}.$$

On admet que pour tout  $x \in [0, 1[$ ,

$$\sum_{n=1}^{+\infty} nx^{n-1} = \frac{1}{(1-x)^2}.$$

1. Calculer  $\sum_{n=2}^{+\infty} \mathbf{P}([Y = n])$ .
2. Calculer  $\mathbf{E}[Y]$ .