

## T.D. XI - Convergence Estimation

### I - Inégalités

Les inégalités de Markov et de Bienaymé-Tchebychev ne sont pas exigibles au concours. Vous pouvez vous référer au cours pour leur formulation.

**Exercice 1. (⚙️)** Une usine fabrique des lampes qui sont défectueuses avec probabilité 10%. On prélève 100 lampes du stock et on note  $Y$  le nombre de lampes défectueuses.

1. Déterminer la loi de  $Y$ .
2. Déterminer  $\mathbf{E}[Y]$ .
3. À l'aide de l'inégalité de Markov, majorer la probabilité qu'il y ait plus de 20 lampes défectueuses.

**Exercice 2. (⚙️)** Le nombre d'appels (durant un intervalle de temps d'une heure) à un centre téléphonique suit une loi de Poisson de paramètre 4.

1. Quel est le nombre moyen d'appels reçus en une heure ?
2. À l'aide de l'inégalité de Markov, majorer la probabilité qu'il y ait plus de 8 appels durant une heure ?

**Exercice 3.** Soit  $\lambda > 0$  et  $X \hookrightarrow \mathcal{P}(\lambda)$ . En utilisant l'inégalité de Bienaymé-Tchebychev, proposer une majoration de  $\mathbf{P}(|X - \lambda| \geq \lambda)$ .

**Exercice 4.** Soit  $(X_1, \dots, X_{100})$  une famille de variables aléatoires indépendantes et de même loi Bernoulli de paramètre  $\frac{1}{4}$ . On pose

$$Y = \sum_{i=1}^{100} X_i.$$

1. Déterminer la loi de  $Y$ .
2. En utilisant l'inégalité de Bienaymé-Tchebychev, proposer une majoration de  $\mathbf{P}(|Y - 25| \geq 10)$ .

### II - Convergence

**Exercice 5. (⚙️)** L'appel de fonction `randint(a, b)` du module `numpy.random` permet de simuler une loi uniforme sur l'ensemble des entiers compris entre  $a$  et  $b - 1$ . Le code suivant affiche la valeur 0.496. Interpréter ce résultat.

```
import numpy.random as rd
N = 1000
s = 0

for i in range(N):
    s = s + rd.randint(0, 2)

print(s/N)
```

**Exercice 6. (⚙️)** L'appel de fonction `random()` du module `numpy.random` permet de simuler une loi uniforme sur l'ensemble des réels compris entre 0 et 1. Le code suivant affiche la valeur 1.98. Interpréter ce résultat.

```
import numpy.random as rd
def X():
    u = rd.random()
    if u < 1/3:
        return -1
    elif u <= (1/3+1/6):
        return 2
    else:
        return 4

N = 1000
s = 0

for i in range(N):
    s = s + X()

print(s/N)
```

### III - Estimation

**Exercice 7.** Soit  $a > 0$ . On note  $f$  la fonction définie par

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < a \\ \frac{3a^3}{t^4} & \text{sinon} \end{cases}.$$

1. Montrer que  $f$  est une densité de probabilité.

Soit  $X$  une variable aléatoire de densité  $f$ .

2. Déterminer  $\mathbf{E}[X]$  et  $\mathbf{V}(X)$ .

Un fabricant de téléphones portables veut étudier l'autonomie de ses téléphones. Étant donné un téléphone pris au hasard et chargé au maximum, on note  $X$  le nombre d'heures écoulées lorsque le téléphone s'éteint. On suppose que  $X$  est une variable aléatoire de densité  $f$ . On allume en même temps  $n$  téléphones pris au hasard que l'on a chargés au maximum et on note  $X_i$  la durée en heures écoulées lorsque le  $i^{\text{e}}$  téléphone s'éteint. On suppose que les variables aléatoires  $X_1, \dots, X_n$  sont indépendantes.

3. Proposer un estimateur ponctuel de  $\frac{3a}{2}$ .

4. On suppose que  $n = 100$  et on mesure  $Y = \sum_{i=1}^{100} X_i = 603$ .

a) À quelle valeur peut-on estimer  $a$  ?

b) Déterminer  $\mathbf{V}(Y)$ .

c) En utilisant l'inégalité de Bienaymé-Tchebychev, majorer  $\mathbf{P}\left(\left|\frac{1}{n}Y - \frac{3a}{2}\right| \geq \varepsilon\right)$ .

**Exercice 8.** Soit  $a > 0$ . On note  $f$  la fonction définie par

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 0 \\ \frac{3t^2}{a^3} & \text{si } 0 \leq t \leq a \\ 0 & \text{si } t > a \end{cases}.$$

1. Montrer que  $f$  est une densité de probabilité.

Soit  $X$  une variable aléatoire de densité  $f$ .

2. Déterminer  $\mathbf{E}[X]$  et  $\mathbf{V}(X)$ .

Soit  $n \geq 2$  et  $X_1, \dots, X_n$  des variables aléatoires indépendantes et de même loi que  $X$ . On pose  $Y_n = \frac{4}{3n} \sum_{k=1}^n X_k$ .

3. Calculer  $\mathbf{E}[Y_n]$  puis  $\mathbf{V}(Y_n)$ .

4. À l'aide de l'inégalité de Bienaymé-Tchebychev, montrer que pour tout  $\varepsilon > 0$ ,  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \mathbf{P}(|Y_n - a| \geq \varepsilon) = 0$ .

**Exercice 9.** On note  $N$  le nombre total de loups dans le massif alpin. On cherche à estimer  $N$  à l'aide de différents protocoles. On commence par prélever 10 loups que l'on munit d'une puce puis qu'on relâche. On suppose que la population de loups n'évolue pas et que la probabilité de prélever un loup pucé est toujours égale à  $\frac{10}{N}$ .

**1. Premier protocole.** On prélève successivement 30 loups en relâchant à chaque fois le loup prélevé. On note  $X$  le nombre de loups pucés prélevés.

a) Reconnaître la loi de  $X$ .

b) Donner l'espérance et la variance de  $X$  en fonction de  $N$ .

c) Montrer que  $\frac{X}{300}$  est un estimateur ponctuel de  $\frac{1}{N}$ .

**2. Second protocole.** On prélève successivement des loups en les relâchant à chaque fois jusqu'à ce qu'on trouve un loup pucé. On note  $Y$  le nombre de loups prélevés lorsqu'on trouve le premier loup pucé.

a) Reconnaître la loi de  $Y$ .

b) Donner l'espérance et la variance de  $Y$  en fonction de  $N$ .