

FTML Exercices 1

Pour le 1er mars 2023

TABLE DES MATIÈRES

1	Probabilités et statistiques	1
1.1	P1	1
1.1.1	Enoncé	1
1.1.2	Solution	1
1.2	P2	2
1.2.1	Enoncé	2
1.2.2	Solution	2
1.3	P3	3
1.3.1	Enoncé	3
1.3.2	Solution	3
2	Calcul différentiel	4
2.1	C1	4
2.1.1	Enoncé	4
2.1.2	Solution	4

1 PROBABILITÉS ET STATISTIQUES

1.1 P1

1.1.1 Enoncé

Calculer l'espérance et la variance des variables aléatoires réelles suivantes.

— X_1 de loi uniforme sur $[0, 1]$.

— X_2 de loi uniforme sur $[-1, 1]$.

1.1.2 Solution

X_1 et X_2 sont des variables à densité. Pour tout x dans leur support, $p_{X_1}(x) = 1$, et $p_{X_2}(x) = \frac{1}{2}$.

$$\begin{aligned}
 E[X_1] &= \int_0^1 x p_{X_1}(x) dx \\
 &= \int_0^1 x dx \\
 &= \left[\frac{x^2}{2} \right]_0^1 \\
 &= \frac{1}{2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
E[X_2] &= \int_{-1}^1 x p_{X_2}(x) dx \\
&= \int_{-1}^1 x \frac{1}{2} dx \\
&= \frac{1}{2} \left[\frac{x^2}{2} \right]_{-1}^1 \\
&= 0
\end{aligned} \tag{2}$$

On dit que X_2 est **centrée**.

1.2 P2

1.2.1 Enoncé

Calculer l'espérance et la matrice de variance-covariance du vecteur aléatoire suivant

$$Y = (Y_1, Y_2) \tag{3}$$

où

- Y_1 suit une loi de Bernoulli de paramètre p
- Y_2 suit une loi normale $\mathcal{N}(\mu, \sigma)$.
- On suppose Y_1 et Y_2 indépendantes.

1.2.2 Solution

Puisque Y_1 et Y_2 sont indépendantes, on sait que les termes non-diagonaux sont nuls. Il suffit donc de calculer les variances de Y_1 et Y_2 .

On sait que la variance de Y_2 est σ^2 car c'est une loi normale (https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_normale).

Calculons la variance de Y_1 (https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Bernoulli). Son espérance vaut $E[Y_1] = 1 \times p + 0 \times (1 - p) = p$. Pour calculer la variance on utilise le théorème de transfert.

Si X est une variable réelle à densité p_X , alors sous certaines hypothèses (qui sont vérifiées ici)

$$E[f(X)] = \int_{x \in \mathbb{R}} f(x) p_X(x) dx \tag{4}$$

Appliqué à Y_2 , cela donne :

$$\begin{aligned}
\text{Var}[Y_1] &= E[(Y_1 - E[Y_1])^2] \\
&= (1 - p)^2 \times p + (0 - p)^2 \times (1 - p) \\
&= p(1 - p)(p + 1 - p) \\
&= p(1 - p)
\end{aligned} \tag{5}$$

Finalement

$$\text{Var}(Y) = \begin{pmatrix} p(1-p) & 0 \\ 0 & \sigma^2 \end{pmatrix}$$

1.3 P3

1.3.1 *Enoncé*

Calculer l'espérance et la matrice de variance-covariance du vecteur aléatoire suivant

$$Z = (Z_1, Z_2) \quad (6)$$

où

- Z_1 suit une loi uniforme sur $[1, 2]$
- $Z_2 = Z_1^2$.

1.3.2 *Solution*

On a $E[Z_1] = \frac{3}{2}$. On utilise à nouveau le théorème de transfert pour $E[Z_2]$.

$$\begin{aligned} E[Z_2] &= \int_1^2 x^2 p_{X_1}(x) dx \\ &= \left[\frac{x^3}{3} \right]_1^2 \\ &= \frac{7}{3} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Cov}(Z_1, Z_2) &= \int_1^2 \left(x - \frac{3}{2}\right) \left(x^2 - \frac{7}{3}\right) dx \\ &= \int_1^2 x^3 - \frac{7}{3}x - \frac{3}{2}x^2 + \frac{7}{2} dx \\ &= \left[\frac{x^4}{4} \right]_1^2 - \frac{7}{3} \left[\frac{x^2}{2} \right]_1^2 - \frac{3}{2} \left[\frac{x^3}{3} \right]_1^2 + \frac{7}{2} \\ &= \frac{15}{4} - \frac{7}{3} \times \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \times \frac{7}{3} + \frac{7}{2} \\ &= \frac{15}{4} - 7 + \frac{7}{2} \\ &= \frac{15}{4} - \frac{14}{4} \\ &= \frac{1}{4} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(Z_1) &= \int_1^2 \left(x - \frac{3}{2}\right)^2 dx \\ &= \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} u^2 du \\ &= \left[\frac{u^3}{3} \right]_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{12} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
\text{Var}(Z_2) &= \int_1^2 \left(x^2 - \frac{7}{3}\right)^2 dx \\
&= \int_1^2 x^4 - \frac{14}{3}x^2 + \frac{49}{9} dx \\
&= \left[\frac{x^5}{5}\right]_1^2 - \frac{14}{3}\left[\frac{x^3}{3}\right]_1^2 + \frac{49}{9} \\
&= \frac{31}{5} - \frac{14}{3} \cdot \frac{7}{3} + \frac{49}{9} \\
&= \frac{31}{5} - \frac{98}{9} + \frac{49}{9} \\
&= \frac{31}{5} - \frac{49}{9} \\
&= \frac{31 \times 9 - 49 \times 5}{45} \\
&= \frac{34}{45}
\end{aligned} \tag{10}$$

As the variance matrix is symmetric, we have :

$$\text{Var}(Z) = \begin{pmatrix} \frac{1}{12} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} & \frac{34}{45} \end{pmatrix}$$

2 CALCUL DIFFÉRENTIEL

2.1 C1

2.1.1 Enoncé

Calculer le gradient en tout point des applications suivantes.

$$f_1 = \begin{cases} \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R} \\ (x, y) \mapsto 3 \end{cases}$$

$$f_2 = \begin{cases} \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R} \\ (x, y) \mapsto x^3 + \sin y \end{cases}$$

$$f_3 = \begin{cases} \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R} \\ (x, y) \mapsto x^3 \sin y \end{cases}$$

$$f_4 = \begin{cases} \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R} \\ (x, y, z) \mapsto x^2 y (z + 2) \end{cases}$$

2.1.2 Solution

$$\forall (x, y) \in \mathbb{R}^2,$$

$$\nabla_{(x,y)} f_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$H_{(x,y)} f_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\forall (x, y) \in \mathbb{R}^2,$$

$$\nabla_{(x,y)} f_2 = \begin{pmatrix} 3x^2 \\ \cos y \end{pmatrix}$$

f4) Soit $x \in \mathbb{R}^d$ et $h \in \mathbb{R}^d$.

$$\begin{aligned}
 \|x + h\|^2 &= \langle x + h, x + h \rangle \\
 &= \langle x, x \rangle + 2\langle x, h \rangle + \langle h, h \rangle \\
 &= \|x\|^2 + \langle 2x, h \rangle + \|h\|^2 \\
 &= \|x\|^2 + \langle 2x, h \rangle + o(h)
 \end{aligned} \tag{11}$$

Ainsi

$$\nabla_x f = 2x \tag{12}$$