Les variables aléatoires continues

I) les variables aléatoires continues:

$X : \Omega \to \mathbb{R}$ est une variable aléatoire qui n'est pas discrète (ses valeurs ne sont pas dénombrables)

- Comment définir sa loi?
- C'est l'application $\mathbb{P}_X : \{[a;b] \,/\, (a;b) \in \mathbb{R}^2\} \longrightarrow [0;1]$

$$[a;b] \longmapsto \mathbb{P}(X \in [a;b])$$

- par convention: $\forall x \in \mathbb{R},\ \mathbb{P}_X(\{x\}) = \mathbb{P}(X = x) = 0$ Contrairement à 1 variable aléatoire discrète.

II) Les densités de probabilité:

*** déf:** C'est 1 fonction définie sur $\mathbb{R}$ à valeur dans $\mathbb{R}^+$

ET continue sur $\mathbb{R}$ (OU parfois continue sur $\mathbb{R}$ sauf en 1 nombre fini de points)

ET telle que: $\displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\,dx = 1$

*** X est 1 variable aléatoire qui admet f pour densité:** $\forall (a;b) \in \mathbb{R}^2,\ \mathbb{P}(X \in [a;b]) = \displaystyle\int_a^b f(x)\,dx$

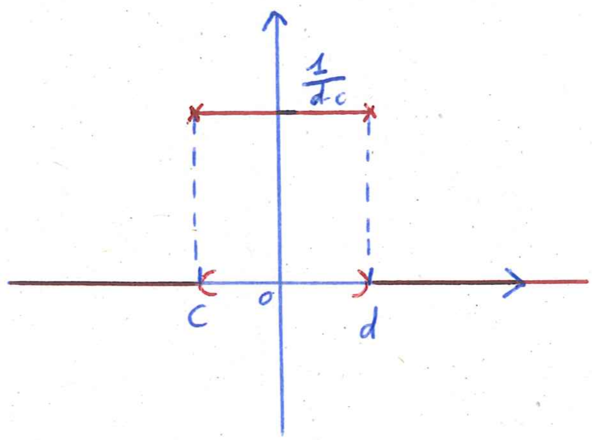
*** quelques densités à connaître:**

1 la uniforme sur 1 intervalle $[c;d]$:

- densité: $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}^+$

$$x \longmapsto \begin{cases} 0 & \text{si } x \in]-\infty; c[\cup]d; +\infty[\\ \dfrac{1}{d-c} & \text{si } x \in [c;d] \end{cases}$$

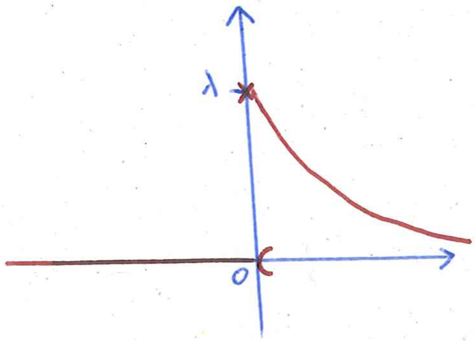
- graphe:



② loi exponentielle de paramètre $\lambda > 0$:

densité : $f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{si } x \in [0;+\infty[\\ 0 & \text{si } x \in]-\infty;0[\end{cases}$

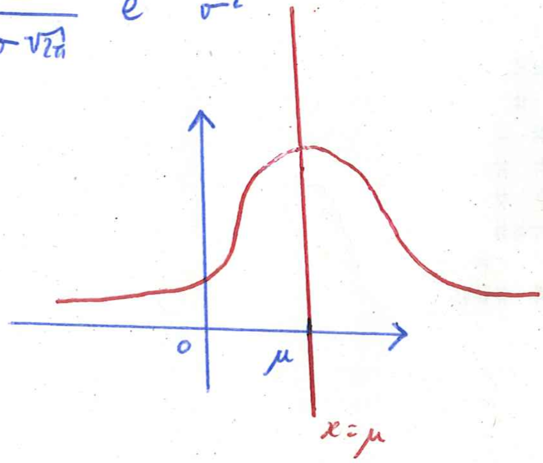
graphe :



③ la normale de paramètres μ et σ^2 :

- densité : $\dfrac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \, e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}$

- graphe :



fonction symétrique par rapport à la droite : $x = \mu$

III) Espérance :

* déf : $\mathbb{E}[X] = \displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty} x \, f(x) \, dx$

* interprétation : C'est la valeur que l'on s'attend à trouver si on répète l'expérience aléatoire 1 grand nombre de fois et qu'on calcule la moyenne des résultats.

* rq : $\mathbb{E}[a.X+b] = a.\mathbb{E}[X]+b$

① $\mathbb{E}[X] = \displaystyle\int_{-\infty} x \, f(x) \, dx = \int_c^d x \cdot \frac{1}{d-c} \, dx = \frac{1}{d-c} \int_c^d x \, dx = \frac{1}{d-c} \left[\frac{x^2}{2}\right]_c^d = \frac{1}{d-c} \cdot \frac{d^2-c^2}{2} = \frac{d+c}{2}$

[Primitive]

② $\mathbb{E}[X] = \displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty} x \, f(x) \, dx = \int_0^{+\infty} \underbrace{x}_{v} \cdot \underbrace{\lambda e^{-\lambda x}}_{u'} \, dx = \left[u \, v\right]_0^{+\infty} - \int_0^{+\infty} u v' \, dx$

[I.P.P.]

$= \left[-e^{-\lambda x} x\right]_0^{+\infty} - \displaystyle\int_0^{+\infty} -e^{-\lambda x} . 1 \, dx$

$= \left[-x.e^{-\lambda x}\right]_0^{+\infty} + \displaystyle\int_0^{+\infty} e^{-\lambda x} \, dx$

or : $\left[-xe^{-\lambda x}\right]_0^{+\infty} = \lim\limits_{x \to +\infty} -xe^{-\lambda x} - (-0.1) = \lim\limits_{x \to +\infty} -\frac{x}{e^{\lambda x}} = 0$

donc : $\mathbb{E}[X] = \int_0^{+\infty} e^{-\lambda x}\,dx = \left[\frac{e^{-\lambda x}}{-\lambda}\right]_0^{+\infty} = \lim\limits_{x \to +\infty} \frac{e^{-\lambda x}}{-\lambda} - \frac{1}{-\lambda}$

[Primitive]

or : $\lim\limits_{x \to +\infty} \frac{-1}{\lambda e^{\lambda x}} = 0$

donc : $\mathbb{E}[X] = \frac{1}{\lambda}$

IV) Variance :

* déf : $\mathbb{V}[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mathbb{E}[X])^2 f(x)\,dx$

* ppt : $\mathbb{V}[X] = \mathbb{E}[X^2] - \mathbb{E}[X]^2$

$\mathbb{V}[a.X+b] = a^2.\mathbb{V}[X]$

$\mathbb{V}[X+Y] = \mathbb{V}[X] + \mathbb{V}[Y] + 2\,\mathrm{cov}(X;Y)$

① $\mathbb{V}[X] = \mathbb{E}[X^2] - \mathbb{E}[X]^2$

il reste à calculer : $\mathbb{E}[X^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2.f(x)\,dx = \int_c^d x^2.\frac{1}{d-c}\,dx = \frac{1}{d-c}\int_c^d x^2\,dx$

[Primitive] $= \frac{1}{d-c}\left[\frac{x^3}{3}\right]_c^d = \frac{1}{d-c}\,\frac{d^3-c^3}{3} = \frac{(d-c)(d^2+cd+c^2)}{(d-c).3}$

$= \frac{d^2+cd+c^2}{3}$

donc : $\mathbb{V}[X] = \frac{d^2+cd+c^2}{3} - \left(\frac{d+c}{2}\right)^2 = \frac{d^2+cd+c^2}{3} - \frac{d^2+2cd+c^2}{4} = \frac{4d^2+4cd+4c^2-3d^2-6cd-3c^2}{12}$

$= \frac{d^2-2cd+c^2}{12}$

$= \frac{(c-d)^2}{12}$

② $\mathbb{V}[X] = \mathbb{E}[X^2] - \mathbb{E}[X]^2$ et on connaît $\mathbb{E}[X]$

il reste à calculer : $\mathbb{E}(X^2) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2.f(x)\,dx = \int_0^{+\infty} \underbrace{x^2}_{v}\,\underbrace{\lambda e^{-\lambda x}}_{u'}\,dx = \left[-e^{-\lambda x}x^2\right]_0^{+\infty} - \int_0^{+\infty} -e^{-\lambda x}.2x\,dx$

[I.P.P.]

$$\left[-x^2 e^{-\lambda x}\right]_0^{+\infty} = \lim_{x \to +\infty} -x^2 e^{-\lambda x} - 0 \cdot -1 = 0 \quad \text{car} \quad \frac{x^2}{e^{\lambda x}} \underset{x \to +\infty}{\longrightarrow} 0$$

donc : $\mathbb{E}[X^2] = \int_0^{+\infty} 2x e^{-\lambda x} dx = 2 \cdot \int_0^{+\infty} x e^{-\lambda x} dx = 2 \cdot \mathbb{E}[X] = 2 \cdot \frac{1}{\lambda}$

d'où : $\mathbb{V}[X] = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda}$

V) covariance :

* déf : $\text{cov}(X;Y) = \mathbb{E}[XY] - \mathbb{E}[X] \cdot \mathbb{E}[Y]$

* autre définition : $\mathbb{E}[XY] = \int_{-\infty}^{+\infty} x\, y\, f_X(x)\, f_Y(y)\, dx\, dy$

* rq : Si X et Y sont indépendantes alors : $\mathbb{E}[XY] = \mathbb{E}[X] \cdot \mathbb{E}[Y]$

[Si $\mathbb{E}[XY] = \mathbb{E}[X] \cdot \mathbb{E}[Y]$, on ne peut pas déduire l'indépendance de X et Y.]

VI) La fonction de répartition :

* déf : $F_X : \mathbb{R} \longrightarrow [0;1]$

$x \longmapsto \mathbb{P}(X \leqslant x) = \mathbb{P}(X \in]-\infty; x]) = \mathbb{P}_X(]-\infty; x]) = \int_{-\infty}^{x} f(t)\, dt$

* rq : ① F_X est croissante

② F_X est continue à droite

③ $F_X \underset{x \to -\infty}{\longrightarrow} 0$ et $F_X \underset{x \to +\infty}{\longrightarrow} 1$

④ pour $(a;b) \in \mathbb{R}^2$, $F_X(b) - F_X(a) = \mathbb{P}(X \in [a;b]) = \int_a^b f(t)\, dt$

* propriété : $F_X'(x) = f(x)$ avec f densité de X

On peut donc déduire la densité de la fonction de répartition.