Chapitre 11

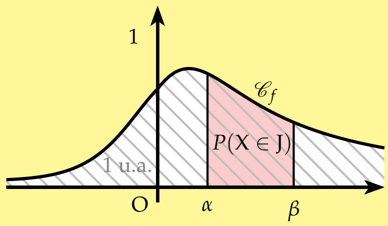
Lois à densité. Loi normale

1 Lois à densité

1.1 Généralités

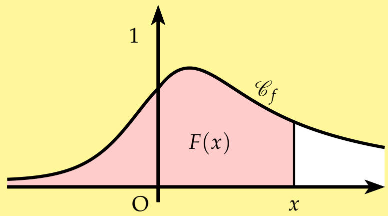
Définition 7 : On appelle **densité de probabilité** d'une variable aléatoire continue X, la fonction f continue et positive sur un intervalle I ($[a;b]$, $[a;+\infty[$ ou $\mathbb{R}$) telle que :

- $P(X \in I) = \int_{(I)} f(t)\,dt = 1$
- Pour tout intervalle $J = [\alpha, \beta]$, on a :
  $P(X \in J) = \int_{\alpha}^{\beta} f(t)\,dt$



- La fonction F définie par : $F(x) = P(X \leqslant x)$ est appelée la **fonction de répartition** de la variable X

$$F(x) = \int_{\substack{a\\-\infty}}^{x} f(t)dt$$



- L'espérance mathématique d'une variable aléatoire continue X, de densité f sur I, est :

$$E(X) = \int_{(I)} t\,f(t)\,dt$$

1.2 Loi uniforme

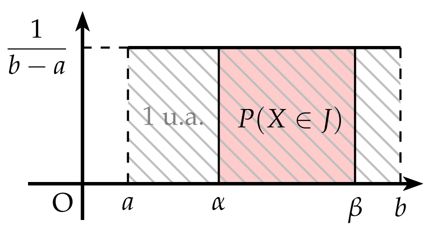
Définition 8 : X suit une loi uniforme sur $I = [a, b]$, alors :

$$f(t) = \frac{1}{b-a}$$

Pour tout intervalle $J = [\alpha, \beta]$ inclus dans I, on a :

$$P(X \in J) = \frac{\beta - \alpha}{b - a} = \frac{\text{longueur de J}}{\text{longueur de I}}$$

La probabilité est proportionnelle à la longueur de l'intervalle.



1.3 Loi exponentielle

Définition 9 : X suit une loi exponentielle de paramètre réel λ alors :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

On a les relations suivantes

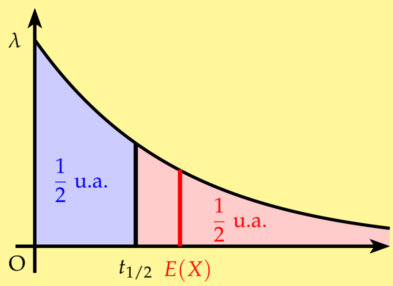
- La fonction de répartition : $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$
- $P(X \leqslant a) = 1 - e^{-\lambda a}$ et $P(X \geqslant a) = e^{-\lambda a}$
- $P(a \leqslant X \leqslant b) = F(b) - F(a) = e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b}$

Théorème 1 : La loi exponentielle est une loi **sans mémoire**

$$\forall t > 0 \text{ et } h > 0 \quad \text{on a} \quad P_{X \geqslant t}(X \geqslant t+h) = P(X \geqslant h)$$

Théorème 2 : X suit une loi exponentielle de paramètre λ alors :

- l'espérance : $E(X) = \dfrac{1}{\lambda}$
- La demi vie : $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$
- $E(X) = \dfrac{t_{1/2}}{\ln 2} \simeq 1,44\, t_{1/2}$



2 La loi normale

2.1 La loi normale centrée réduite

Définition 10 : On appelle densité de probabilité de Laplace-Gauss, la fonction φ définie sur $\mathbb{R}$ par :

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

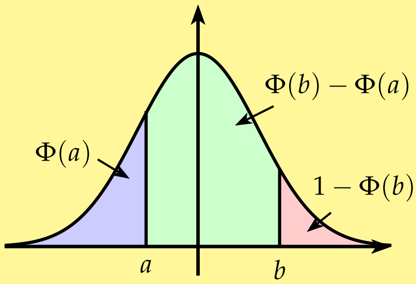
X suit une loi normale centrée réduite, $\mathcal{N}(0,1)$, si sa densité de probabilité est égale à la fonction φ.

Sa fonction de répartition Φ vaut : $\Phi(x) = \displaystyle\int_{-\infty}^{x} \varphi(t)\,\mathrm{d}t$

L'espérance de X vaut 0 et son écart-type 1 d'où $\mathcal{N}(0,1)$

Théorème 3 : X suit la loi $\mathcal{N}(0,1)$ alors pour tous réels a et $b > a$ on a :

- $P(X \leqslant a) = \Phi(a)$
- $P(X \geqslant b) = 1 - \Phi(b)$
- $P(a \leqslant X \leqslant b) = \Phi(b) - \Phi(a)$
- $P(X \leqslant -|a|) = 1 - \Phi(|a|)$



Théorème 4 : X est une variable aléatoire qui suit un loi normale centrée réduite. Soit $\alpha \in]0;1[$, il existe un **unique** réel **strictement positif** u_α tel que :

$$P(-u_\alpha \leqslant X \leqslant u_\alpha) = 1 - \alpha$$

Il est bon de retenir les valeurs de $u_{0,05}$ et $u_{0,01}$:

- $P(-1.96 \leqslant X \leqslant 1.96) = 0,95$
- $P(-2.58 \leqslant X \leqslant 2.58) = 0,99$

2.2 La loi normale générale

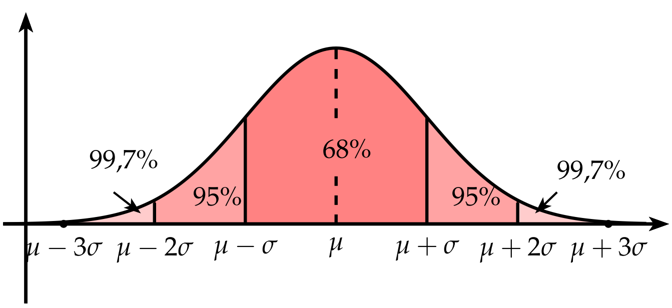
Définition 11 : Changement de variable

X suit une loi normale de paramètres $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$, alors :

$Z = \dfrac{X - \mu}{\sigma}$ suit une loi normale $\mathcal{N}(0,1)$

On a alors : $\mathrm{E}(X) = \mu$ et $\mathrm{V}(X) = \sigma^2$

On obtient les intervalles caractéristiques :



2.3 Approximation normale d'une loi binomiale

Théorème 5 : Théorème de Moivre-Laplace

X suit la loi binomiale $\mathscr{B}(n,p)$ et Z tel que :

$$Z = \frac{X - \mathrm{E}(X)}{\sigma(X)} = \frac{X - np}{\sqrt{np(1-p)}}$$

Pour tous nombres a et b tels que $a < b$, on a :

$$\lim_{n \to +\infty} P(a \leqslant Z \leqslant b) = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}\,\mathrm{d}t$$

Conditions de l'approximation d'une loi binomiale $\mathscr{B}(n,p)$ par une loi normale $\mathscr{N}\left[np, np(1-p)\right]$

$$n \geqslant 30, \quad np \geqslant 5 \quad \text{et} \quad n(1-p) \geqslant 5$$

⚠ Faire la correction de continuité : $P(7 \leqslant X \leqslant 15) = P_N(6,5 \leqslant X \leqslant 15.5)$