

Solutions des exercices 2 et 3 de la Série N°2

**Exercice 2.** Soit  $X$  une variable aléatoire uniforme sur l'intervalle  $[-\theta, \theta]$ ,  $\theta > 0$ . On suppose que la région de rejet du test

$$\begin{cases} H_0 : \theta \leq 1 \\ H_1 : \theta > 1 \end{cases}.$$

est  $W = \left\{ (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n / \max_{1 \leq i \leq n} x_i \geq 0.9 \right\}$ . Déterminer la fonction puissance de ce test, puis déduire son niveau de signification.

\*\*\*\*\*

**Solution.** La fonction de répartition de  $X$  est

$$F(x) = \mathbf{P}(X \leq x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < -\theta \\ \frac{x+\theta}{2\theta} & \text{si } -\theta \leq x \leq \theta \\ 1 & \text{si } x > \theta \end{cases}$$

Nous avons  $\mathbf{P}(\max_{1 \leq i \leq n} X_i \leq x) = [F(x)]^n$ . La fonction puissance est définie comme suit:

$$\pi(\theta) = \mathbf{P}_\theta(W) = \mathbf{P}(W \mid \theta \in \Theta) = \begin{cases} \alpha(\theta) : & \theta \in \Theta_0 \\ 1 - \beta(\theta) : & \theta \in \Theta_1 \end{cases}.$$

Donc

$$\begin{aligned} \pi(\theta) &= \mathbf{P}\left(\max_{1 \leq i \leq n} X_i \geq 0.9\right) = 1 - \mathbf{P}\left(\max_{1 \leq i \leq n} X_i < 0.9\right) \\ &= 1 - \mathbf{P}\left(\max_{1 \leq i \leq n} X_i \leq 0.9\right) \quad (X \text{ continue}) \\ &= 1 - [F(0.9)]^n, \quad \theta \in \mathbb{R}_+^* \end{aligned}$$

ce qui égale à

$$1 - \begin{cases} 0^n & \text{si } 0.9 < -\theta \\ \left(\frac{0.9+\theta}{2\theta}\right)^n & \text{si } -\theta \leq 0.9 \leq \theta \\ 1^n & \text{si } 0.9 > \theta \end{cases} = \begin{cases} 0 & 0 < \theta < 0.90 \\ 1 - \left(\frac{0.9+\theta}{2\theta}\right)^n & \theta \geq 0.9 \end{cases}$$

En conclusion la fonction puissance est

$$\pi(\theta) = \begin{cases} 0 & 0 < \theta < 0.90 \\ 1 - \left(\frac{0.9+\theta}{2\theta}\right)^n & \theta \geq 0.9 \end{cases}$$

Comme  $\alpha(\theta) = \pi(\theta)$ ,  $\theta \in \Phi_0 = ]0, 1]$ , donc

$$\alpha(\theta) = \begin{cases} 0 & 0 < \theta < 0.90 \\ 1 - \left(\frac{0.9+\theta}{2\theta}\right)^n & 1 \geq \theta \geq 0.9 \end{cases}.$$

Par définition le niveau de signification est

$$\alpha_0 = \sup_{0 < \theta \leq 1} \alpha(\theta) = \sup_{0.91 \leq \theta \leq 1} \left\{ 1 - \left(\frac{0.9+\theta}{2\theta}\right)^n \right\}.$$

On peut vérifier facilement que la fonction  $\theta \rightarrow 1 - \left(\frac{0.9+\theta}{2\theta}\right)^n$  est croissante, par conséquent

$$\alpha_0 = 1 - (0.95)^n.$$

\*\*\*\*\*

**Exercice 3.** Sur la base d'un échantillon de taille  $n = 9$ , construire le test le plus puissant, au niveau  $\alpha = 0.10$ , sur la moyenne  $\mu$  d'une variable aléatoire normale de variance  $\sigma^2 = 2$  :

$$\begin{cases} H_0 : \mu = 0 \\ H_1 : \mu = -1 \end{cases}.$$

Vérifier qu'il est sans biais.

\*\*\*\*\*

**Solution.** Nous allons appliquer le Lemme de Neyman-Pearson. Le rapport de vraisemblance est

$$\frac{L_1}{L_0} = \frac{\prod_{i=1}^9 \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 2}} \exp -\frac{1}{2} \left( \frac{x_i - (-1)}{\sqrt{2}} \right)^2}{\prod_{i=1}^9 \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 2}} \exp -\frac{1}{2} \left( \frac{x_i - 0}{\sqrt{2}} \right)^2} = \frac{\exp -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^9 \frac{(x_i + 1)^2}{2}}{\exp -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^9 \frac{x_i^2}{2}},$$

ainsi

$$\frac{L_1}{L_0} = \exp \left\{ -\frac{9}{2} \bar{x} - \frac{9}{4} \right\}.$$

Donc la région de rejet de  $H_0$  (région critique) est

$$W = \left\{ (x_1, \dots, x_9) \in \mathbb{R}^9 : \exp \left\{ -\frac{9}{2} \bar{x} - \frac{9}{4} \right\} \geq k \right\},$$

où  $k$  est une constante telle que

$$\mathbf{P}_{\mu=0} \left( \exp \left\{ -\frac{9}{2} \bar{X} - \frac{9}{4} \right\} \geq k \right) = 0.1.$$

Celle-ci peut être réécrite comme suit

$$\mathbf{P}_{\mu=0} (\bar{X} \leq c) = 0.1,$$

où  $c := -\frac{2}{9} \log k - \frac{1}{2}$ . Sous  $H_0$ , nous avons  $\bar{X} \rightsquigarrow \mathcal{N}(0, 2/9)$ , donc

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{\mu=0} (\bar{X} \leq c) &= \mathbf{P}_{\mu=0} \left( \frac{\bar{X} - 0}{\sqrt{2/9}} \leq \frac{c - 0}{\sqrt{2/9}} \right) \\ &= \mathbf{P} \left( Z \leq \frac{c}{\sqrt{2/9}} \right) = 0.1, \text{ avec } Z \rightsquigarrow \mathcal{N}(0, 1). \end{aligned}$$

Ce qui implique

$$\frac{c}{\sqrt{2/9}} = \Phi^{-1}(0.1) = -\Phi^{-1}(1 - 0.1) = -\Phi^{-1}(0.90),$$

où  $\Phi$  est la fonction de répartition de la loi normale centrée-réduite et  $\Phi^{-1}$  sa fonction inverse. De la table statistique nous avons  $\Phi^{-1}(0.90) = 1.28$ , ce qui donne  $c/\sqrt{2/9} = -1.28$ , ainsi  $c = -\sqrt{2/9} \times (1.28) = -0.60$ . Donc la forme bien déterminer de la région de rejet est

$$W = \{ (x_1, \dots, x_9) \in \mathbb{R}^9 : \bar{x} \leq -0.60 \},$$

ainsi le test le plus puissant correspondant est

$$\delta(x_1, \dots, x_9) = \begin{cases} 1 & \text{si } \bar{x} \leq -0.60 \\ 0 & \text{si } \bar{x} > -0.60 \end{cases}$$

Remarque: nous avons  $c = -\frac{2}{9} \log k - \frac{1}{2}$  ceci équivalent à dire que  $k = 0.63$ , par conséquent

$$\begin{aligned} W &= \{ (x_1, \dots, x_9) \in \mathbb{R}^9 : \bar{x} \leq -0.60 \} \\ &= \left\{ (x_1, \dots, x_9) \in \mathbb{R}^9 : \exp \left\{ -\frac{9}{2} \bar{x} - \frac{9}{4} \right\} \geq 0.63 \right\}. \end{aligned}$$

Il vaut mieux alors de travailler avec l'événement ayant la forme la moins compliquée, c'est à dire

$$\{ (x_1, \dots, x_9) \in \mathbb{R}^9 : \bar{x} \leq -0.60 \}.$$

La puissance du test est

$$1 - \beta = \mathbf{P}_{\mu=-1}(\bar{X} \leq -0.60).$$

Sous  $H_1$ , nous avons  $\bar{X} \rightsquigarrow \mathcal{N}(-1, 2/9)$ , donc

$$\begin{aligned} 1 - \beta &= \mathbf{P}_{\mu=-1} \left( \frac{\bar{X} - (-1)}{\sqrt{2/9}} \leq \frac{-0.60 - (-1)}{\sqrt{2/9}} \right) \\ &= \mathbf{P}(Z \leq 0.84). \end{aligned}$$

De la table statistique on tire  $\mathbf{P}(Z \leq 0.84) = \Phi(0.84) = 0.80$ , donc la puissance du  $1 - \beta = 0.80$ . On remarque  $0.80 > \alpha = 0.01$  donc le test  $\delta$  est en effet sans biais. D'ailleurs, s'il n'est pas sans biais c'est qu'il y a une erreurs dans nos calculs. Car, comme on a déjà dit énoncé au cours, que le test le plus puissant basé sur le rapport de vraisemblance (pour les hypothèses simples) est théoriquement sans biais.