

▷ Exercice - Loi géométrique et estimation par maximum de vraisemblance

On fixe un réel  $a > 0$  et on définit une variable aléatoire  $X$  sur  $\mathbb{N}$  dont la loi de probabilité est définie par

$$P(X = k) = \frac{a^k}{(1+a)^{k+1}}$$

pour tout  $k \in \mathbb{N}$ .

À l'aide de la méthode du maximum de vraisemblance, définir un estimateur de  $a$  et déterminer son biais.

On définit un échantillon  $X_1, \dots, X_n$  et on considère la probabilité que cet échantillon réalise un ensemble de valeurs  $V = \{x_1, \dots, x_n\}$ . La fonction de vraisemblance s'écrit alors

$$L(x_1, \dots, x_n, a) = P(X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n) = \prod_{k=1}^n P(X = x_k) = \prod_{k=1}^n \frac{a^{x_k}}{(1+a)^{x_k+1}} = \frac{a^{\sum x_k}}{(1+a)^{\sum x_k+1}}$$

On dérive ce quotient par rapport à  $a$ , on factorise par  $a^{\sum x_k-1}(1+a)^{n+\sum x_k-1}$  et on trouve que

$$\frac{\partial L}{\partial a}(x_1, \dots, x_n, a) = 0 \iff \sum_{k=0}^n x_k(1+a) - a(n + \sum_{k=0}^n x_k) = 0 \iff a = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n x_k$$

On a donc trouvé un meilleur estimateur du paramètre  $a$  selon la méthode du maximum de vraisemblance : il s'agit de l'estimateur  $T = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n X_k$ .

Reste à calculer le biais de cet estimateur, autrement dit à calculer  $B(T) = \mathbb{E}(T - a)$ . Or pour tout entier  $i$ ,  $X_i$  suit la loi définie ci-dessus et on espérance se calcule de la manière suivante :

$$\mathbb{E}(X_i) = \sum_{k=0}^n kP(X_i = k) = \sum_{k=0}^n k \left( \frac{a}{1+a} \right)^{k-1} \frac{a}{(1+a)^2} = \frac{1}{\left(1 - \frac{a}{1+a}\right)^2} \times \frac{a}{(1+a)^2} = a$$

Donc  $B(T) = \frac{1}{n} \times n \times a - a = 0$  : la variable  $T$  est donc un estimateur sans biais du paramètre  $a$ .