

Chapitre 3 : Probabilités conditionnelles et indépendance

I Définitions

Définition : Soit $B \in \mathcal{P}(\Omega)$ tel que $\mathbb{P}(B) > 0$.

La **probabilité conditionnelle** de A sachant B est définie par :

$$\forall A \in \mathcal{P}(\Omega), \quad \mathbb{P}(A | B) = \mathbb{P}_B(A) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)}$$

💡 **Exemple :** $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ (lancer de dé équilibré).

$B = \{2, 4, 6\}$ (obtenir un nombre pair). $A = \{2\}$.

On se muni de la probabilité uniforme \mathbb{P} définie par $\mathbb{P}(\{i\}) = \frac{1}{6}$ pour tout $i \in \Omega$.

La probabilité que si on obtient un nombre pair, ce soit un 2 est :

$$\mathbb{P}(A | B) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)} = \frac{\frac{1}{6}}{\frac{3}{6}} = \frac{1}{3}$$

💡 **Remarque :** On a que $\mathbb{P}(A | \Omega) = \mathbb{P}(A)$.

II Propriétés des probabilités conditionnelles

Proposition :

Soit $B \in \mathcal{P}(\Omega)$ tel que $\mathbb{P}(B) > 0$.

Alors $\mathbb{P}_B = \mathbb{P}(\cdot | B)$ est une probabilité sur Ω où pour tout $A \in \mathcal{P}(\Omega)$, $\mathbb{P}_B(A) = \mathbb{P}(A | B)$.

Démonstration :

Vérifions les axiomes de la probabilité :

1. $\mathbb{P}_B(\emptyset) = \mathbb{P}(\emptyset | B) = \frac{\mathbb{P}(\emptyset \cap B)}{\mathbb{P}(B)} = \frac{0}{\mathbb{P}(B)} = 0$ et $\mathbb{P}_B(\Omega) = \mathbb{P}(\Omega | B) = \frac{\mathbb{P}(\Omega \cap B)}{\mathbb{P}(B)} = \frac{\mathbb{P}(B)}{\mathbb{P}(B)} = 1$.

2. On a que $\mathbb{P}(A \cap B) \leq \mathbb{P}(B)$ donc $\mathbb{P}_B(A) = \frac{\mathbb{P}(A \cap B)}{\mathbb{P}(B)} \leq 1$.

3. Soit $(A_n)_{n \in \mathbb{N}}$ une suite finie ou dénombrable de parties de Ω telles que $A_i \cap A_j = \emptyset$ pour $i \neq j$.

Alors :

$$\mathbb{P}_B\left(\bigcup_n A_n\right) = \mathbb{P}\left(\bigcup_n A_n | B\right) = \frac{\mathbb{P}((\bigcup_n A_n) \cap B)}{\mathbb{P}(B)} = \frac{\mathbb{P}(\bigcup_n (A_n \cap B))}{\mathbb{P}(B)}$$

Or, comme les A_n sont disjoints, les $A_n \cap B$ le sont aussi. Donc :

$$\mathbb{P}_B\left(\bigcup_n A_n\right) = \frac{\sum_n \mathbb{P}(A_n \cap B)}{\mathbb{P}(B)} = \sum_n \frac{\mathbb{P}(A_n \cap B)}{\mathbb{P}(B)} = \sum_n \mathbb{P}_B(A_n)$$

□

Proposition : Formule des probabilités totales

Soit $(B_n)_n$ une suite de parties dénombrable de Ω telles que :

1. $\forall i \neq j, B_i \cap B_j = \emptyset$
2. $\bigcup_n B_n = \Omega$
3. $\forall n, \mathbb{P}(B_n) > 0$

Alors, pour tout $A \in \mathcal{P}(\Omega)$, on a :

$$\mathbb{P}(A) = \sum_n \mathbb{P}(A | B_n) \cdot \mathbb{P}(B_n)$$

Démonstration :

$E = \bigcup_n (\underbrace{E \cap B_n}_{F_n})$ car $\bigcup_n B_n = \Omega$. De plus, $F_i \cap F_j = \emptyset$ pour $i \neq j$.

Donc :

$$\mathbb{P}(E) = \mathbb{P}\left(\bigcup_n F_n\right) = \sum_n \mathbb{P}(F_n) = \sum_n \mathbb{P}(E \cap B_n)$$

Or, $\mathbb{P}(E \cap B_n) = \mathbb{P}(E | B_n) \cdot \mathbb{P}(B_n)$.

D'où le résultat. \square

Proposition : Formule de Bayes

Soit $(B_n)_n$ une suite de parties dénombrable de Ω telles que :

1. $\forall i \neq j, B_i \cap B_j = \emptyset$
2. $\bigcup_n B_n = \Omega$
3. $\forall n, \mathbb{P}(B_n) > 0$

Alors, pour tout $E \in \mathcal{P}(\Omega)$ tel que $\mathbb{P}(E) > 0$, on a :

$$\forall k, \quad \mathbb{P}(B_k | E) = \frac{\mathbb{P}(E | B_k) \cdot \mathbb{P}(B_k)}{\sum_n \mathbb{P}(E | B_n) \cdot \mathbb{P}(B_n)}$$

Démonstration :

Par définition de la probabilité conditionnelle, on a : $\mathbb{P}(B_k | E) = \frac{\mathbb{P}(E \cap B_k)}{\mathbb{P}(E)} = \frac{\mathbb{P}(E | B_k) \cdot \mathbb{P}(B_k)}{\mathbb{P}(E)}$.

Or, par la formule des probabilités totales, on a : $\mathbb{P}(E) = \sum_n \mathbb{P}(E | B_n) \cdot \mathbb{P}(B_n)$.

D'où le résultat. \square

Exemple : Imaginons qu'on ait une maladie rare qui touche 1 personne sur 100.

ie $\mathbb{P}(M) = 0.01$ où M est l'événement "la personne est malade" (prévalence).

De plus, $\mathbb{P}(T+ | M) = 0.99$ où $T+$ est l'événement "le test est positif" (sensibilité).

Cependant, le test n'est pas parfait et on a $\mathbb{P}(T- | M^c) = 0.95$ où $T-$ est l'événement "le test est négatif" (spécificité).

Question : Quelle est la probabilité qu'une personne soit malade sachant que son test est positif ?

On cherche donc $\mathbb{P}(M | T+)$. Par la formule de Bayes, on a :

$$\mathbb{P}(M | T+) = \frac{\mathbb{P}(T+ | M) \cdot \mathbb{P}(M)}{\mathbb{P}(T+ | M) \cdot \mathbb{P}(M) + \mathbb{P}(T+ | M^c) \cdot \mathbb{P}(M^c)}$$

Or, $\mathbb{P}(T+ | M^c) = 1 - \mathbb{P}(T- | M^c) = 1 - 0.95 = 0.05$ et $\mathbb{P}(M^c) = 1 - \mathbb{P}(M) = 0.99$.

Donc :

$$\mathbb{P}(M | T+) = \frac{0.99 \cdot 0.01}{0.99 \cdot 0.01 + 0.05 \cdot 0.99} \approx 0.166$$

Ainsi, même si le test est positif, la probabilité que la personne soit réellement malade n'est qu'environ de 16.6%.

Contents

I Définitions	1
II Propriétés des probabilités conditionnelles	1