

TD 25 – Probabilités (Correction)

1 Espace

probabilisé

Exercice 1 – On lance 10 fois une pièce. Pour tout $k \in \{1, \dots, 10\}$, on note P_k l'événement « on obtient pile au k -ième lancer ». Exprimer les événements suivants en fonction des P_k :

1. A_1 : « On obtient face aux deux premiers lancers. »

$$A_1 = \bar{P}_1 \cap \bar{P}_2$$

2. A_2 : « On obtient le premier pile au troisième lancer. »

$$A_2 = \bar{P}_1 \cap \bar{P}_2 \cap P_3$$

3. A_3 : « On obtient le premier pile après le quatrième lancer »

$$A_3 = \bar{P}_1 \cap \bar{P}_2 \cap \bar{P}_3 \cap \bar{P}_4 \cap (P_5 \cup P_6 \cup \dots \cup P_{10})$$

4. A_4 : « On n'obtient que des piles. »

$$A_4 = P_1 \cap P_2 \cap \dots \cap P_{10} = \bigcap_{k=1}^{10} P_k$$

5. A_5 : « On obtient au moins une fois face. »

$$A_5 = \bar{P}_1 \cup \bar{P}_2 \cup \dots \cup \bar{P}_{10} = \bigcup_{k=1}^{10} \bar{P}_k$$

6. A_6 : « On n'obtient jamais face. »

$$A_6 = P_1 \cap P_2 \cap \dots \cap P_{10} = \bigcap_{k=1}^{10} P_k$$

7. A_7 : « On obtient exactement 9 piles consécutifs ».

$$A_7 = (P_1 \cap \dots \cap P_9 \cap \bar{P}_{10}) \cup (\bar{P}_1 \cap P_2 \cap \dots \cap P_{10})$$

Exercice 2 – Soient $\mathbb{P}$ un espace probabilisé fini et A, B, C trois événements. Ecrire « ensemblistement » les événements suivants :

1. A_1 : « L'un au moins des trois événements est réalisé. »

$$A_1 = A \cup B \cup C$$

2. A_2 : « Un et un seul des trois événements est réalisé. »

$$A_2 = (A \cap \bar{B} \cap \bar{C}) \cup (\bar{A} \cap B \cap \bar{C}) \cup (\bar{A} \cap \bar{B} \cap C)$$

3. A_3 : « Au moins deux des trois événements sont réalisés. »

$$A_3 = (A \cap B) \cup (A \cap C) \cup (B \cap C)$$

4. A_4 : « Exactement deux des trois événements sont réalisés. »

$$A_4 = (A \cap B \cap \bar{C}) \cup (A \cap \bar{B} \cap C) \cup (\bar{A} \cap B \cap C)$$

5. A_5 : « Aucun des trois événements n'est réalisé. »

$$A_5 = \bar{A} \cap \bar{B} \cap \bar{C}$$

6. A_6 : « Au plus deux des trois événements sont réalisés. »

$$A_6 = \overline{(A \cap B \cap C)} = \bar{A} \cup \bar{B} \cup \bar{C}$$

Exercice 3 – On lance une pièce 5 fois. On note, pour tout $k \in \{1, \dots, 5\}$, A_k «On fait pile au k -ième lancer». Expliciter à l'aide d'une phrase chacun des évènements suivants.

a) $\bigcup_{k=1}^5 A_k$

Obtenir Pile au moins une fois lors des cinq lancers.

b) $\bigcap_{k=1}^5 A_k$

Obtenir que des Pile lors des cinq lancers.

c) $\bigcup_{p=1}^5 \bigcap_{k=p}^5 A_k$

Il existe un lancer à partir duquel on obtient que des Pile.

Exercice 4 – Soit $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ et P la probabilité définie par

ω	1	2	3	4	5	6
$P(\{\omega\})$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\dots$

1. Déterminer $P(\{6\})$

On sait que

$$\sum_{k=1}^6 P(\{k\}) = 1$$

On en déduit que

$$\begin{aligned} P(\{6\}) &= 1 - P(\{1\}) - P(\{2\}) - P(\{3\}) - P(\{4\}) - P(\{5\}) \\ &= 1 - \frac{1}{6} - \frac{1}{6} - \frac{1}{3} - \frac{1}{9} - \frac{1}{9} \\ &= \frac{1}{9} \end{aligned}$$

2. On pose $A = \{2, 3\}$ et $B = \{5\}$. Déterminer $P(A \cup B)$, $P(A \cap B)$ et $P(\bar{A})$.

Comme $\{2\}$, $\{3\}$ et $\{5\}$ sont **disjoints**, on a,

$$\begin{aligned} P(A \cup B) &= P(\{2, 3, 5\}) \\ &= P(\{2\} \cup \{3\} \cup \{5\}) \\ &= P(\{2\}) + P(\{3\}) + P(\{5\}) \\ &= \frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{9} \\ &= \frac{11}{18} \end{aligned}$$

Puis,

$$P(A \cap B) = P(\emptyset) = 0$$

Et enfin, en passant au complémentaire,

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A)$$

Or,

$$P(A) = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$$

Donc

$$P(\bar{A}) = \frac{1}{2}$$

Exercice 5 – Soient (Ω, P) un espace probabilisé fini et $A, B \in \mathcal{P}(\Omega)$ deux événements tels que $P(A) = P(B) = 3/4$. Déterminer un encadrement de $P(A \cup B)$ puis de $P(A \cap B)$. On pourra utiliser la formule du crible normalement hors programme.

Comme

$$A \subset A \cup B \subset \Omega$$

par croissance,

$$P(A) \leq P(A \cup B) \leq P(\Omega)$$

c'est-à-dire

$$\boxed{\frac{3}{4} \leq P(A \cup B) \leq 1}$$

De plus, d'après la formule du crible

$$P(A \cap B) = P(A) + P(B) - P(A \cup B)$$

Or,

$$-1 \leq -P(A \cup B) \leq -\frac{3}{4}$$

et donc, comme $P(A) = P(B) = \frac{3}{4}$,

$$\boxed{\frac{1}{2} \leq P(A \cap B) \leq \frac{3}{4}}$$

Exercice 6 – Un dé cubique pipé a ses faces numérotées de 1 à 6. La probabilité d’obtenir le 1 est $1/10$. Les probabilités respectives d’obtenir 1,2,3,4,5,6 sont les termes consécutifs d’une suite arithmétique.

1. Calculer les probabilités des événements élémentaires.

Notons r la raison de la suite arithmétique. La distribution de probabilité vaut alors :

ω	1	2	3	4	5	6
$P(\{\omega\})$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10} + r$	$\frac{1}{10} + 2r$	$\frac{1}{10} + 3r$	$\frac{1}{10} + 4r$	$\frac{1}{10} + 5r$

Or, on sait que la somme des probabilités élémentaires vaut 1, ce qui donne ici :

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{10} + r + \frac{1}{10} + 2r + \frac{1}{10} + 3r + \frac{1}{10} + 4r + \frac{1}{10} + 5r = 1$$

Au final, on trouve,

$$r = \frac{2}{75}$$

La distribution de probabilité vaut donc,

ω	1	2	3	4	5	6
$P(\{\omega\})$	$\frac{1}{10}$	$\frac{19}{150}$	$\frac{23}{150}$	$\frac{27}{150}$	$\frac{31}{150}$	$\frac{35}{150}$

2. Calculer la probabilité d’obtenir un chiffre supérieur ou égal à 3.

Notons T l’évènement «Obtenir un chiffre supérieur ou égal à 3». On peut commencer par remarquer que

$$T = \{3, 4, 5, 6\}$$

Or les événements $\{3\}$, $\{4\}$, $\{5\}$ et $\{6\}$ sont **disjoints** donc,

$$\begin{aligned} P(T) &= P(\{3\}) + P(\{4\}) + P(\{5\}) + P(\{6\}) \\ &= \frac{23}{150} + \frac{27}{150} + \frac{31}{150} + \frac{35}{150} \\ &= \frac{116}{150} \\ &= \frac{58}{75} \end{aligned}$$

2 Probabilité

uniforme

Exercice 7 – Une urne contient 9 boules numérotées de 1 à 9. On tire deux boules successivement et avec remise. Déterminer

1. la probabilité d'obtenir deux boules portant toutes les deux des numéros pairs,
2. puis la probabilité d'obtenir deux boules portant toutes les deux des numéros de même parité.

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 8 – Soit $n \in \mathbb{N}^*$. Une urne contient n boules blanches et n boules noires. On effectue n tirages successifs et sans remise dans cette urne. Quelle est la probabilité d’obtenir n boules noires ? *On pourra commencer par traiter le cas $n = 3$.*

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 9 – À l'entrée d'un immeuble, on dispose d'un clavier de 9 touches : 1,2,...,9. Le code d'ouverture de la porte est composé d'un nombre de quatre chiffres.

1. Combien y a-t-il de codes différents ?
2. Le code a été changé et choisi au hasard.
 - (a) Quelle est la probabilité qu'il comporte au moins une fois le chiffre 7 ?
 - (b) Quelle est la probabilité que tous les chiffres soient pairs ?
 - (c) Quelle est la probabilité que les quatre chiffres soient différents ?

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

3 Probabilités composées, totales et Bayes

Exercice 10 – On dispose de trois urnes numérotées de 1 à 3. Pour tout $k \in \{1, 2, 3\}$, l'urne numéro k contient k boules blanches et $(3 - k)$ boules noires. L'expérience consiste à choisir une urne au hasard, puis à tirer au hasard une boule dans cette urne. Pour tout $k \in \{1, 2, 3\}$, on note U_k l'évènement «Obtenir l'urne numéro k » et B l'évènement «On obtient une boule blanche».

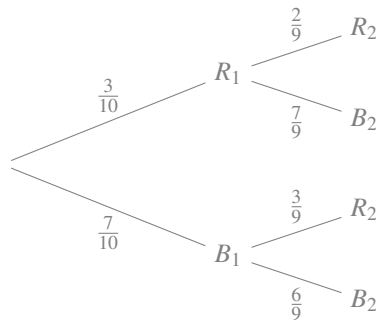
1. Quelle est la probabilité que l'on choisisse l'urne 1 ?
2. Quelle est la probabilité qu'on tire une boule blanche sachant qu'on a choisit l'urne 1 ?
3. Quelle est la probabilité que l'on choisisse l'urne 1 ou l'urne 2 ?
4. Quelle est la probabilité que la boule tirée soit blanche ?
5. Quelle est la probabilité que la boule tirée provienne de l'urne 1 sachant que la boule est blanche ?

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 11 – On tire successivement et sans remise deux boules dans une urne contenant 7 boules blanches et 3 boules rouges.

1. Quelle est la probabilité que la première boule tirée soit rouge ?
2. Quelle est la probabilité de tirer deux boules rouges ?
3. Quelle est la probabilité que la seconde boule soit rouge ?
4. Quelle est la probabilité qu'au moins l'une des deux boules soit rouge ?
5. La seconde boule tirée est rouge. Quelle est la probabilité que la première boule le soit aussi ?

Pour tout $k \in \{1, 2\}$, notons R_k l'évènement «Obtenir un boule rouge au k -ième lancer» et $B_k = \bar{R}_k$, c'est-à-dire l'évènement «Obtenir un boule noire au k -ième lancer». On peut représenter la situation par l'arbre de probabilité suivant.



1. On cherche à calculer $P(R_1)$. D'après l'énoncé, comme au premier tirage, la probabilité de tirer chaque boule est **uniforme**, on a

$$P(R_1) = \frac{3}{10}$$

2. On cherche à calculer $P(R_1 \cap R_2)$. D'après la **formule des probabilités composées**, on a,

$$P(R_1 \cap R_2) = P(R_1) \times P_{R_1}(R_2) = \frac{3}{10} \times \frac{2}{9} = \frac{1}{15}$$

3. On cherche à calculer $P(R_2)$. Comme (R_1, B_1) est un **système complet d'évènements**, d'après la **formule des probabilités totales**, on a

$$\begin{aligned}
 P(R_2) &= P(R_1) \times P_{R_1}(R_2) + P(B_1) \times P_{B_1}(R_2) \\
 &= \frac{3}{10} \times \frac{2}{9} + \frac{7}{10} \times \frac{3}{9} \\
 &= \frac{1}{15} + \frac{7}{30} \\
 &= \frac{3}{10}
 \end{aligned}$$

4. On cherche à calculer $P(R_1 \cup R_2)$. En utilisant la **formule du crible**, on a

$$\begin{aligned}
 P(R_1 \cup R_2) &= P(R_1) + P(R_2) - P(R_1 \cap R_2) \\
 &= \frac{3}{10} + \frac{3}{10} - \frac{1}{15} \\
 &= \frac{8}{15}
 \end{aligned}$$

en utilisant les valeurs trouvées aux questions 1, 2 et 3.

5. On cherche à calculer $P_{R_2}(R_1)$. D'après la **formule de Bayes**, on a

$$P_{R_2}(R_1) = \frac{P(R_1) \times P_{R_1}(R_2)}{P(R_2)} = \frac{\frac{3}{10} \times \frac{2}{9}}{\frac{3}{10}} = \frac{2}{9}$$

Exercice 12 – Un système complexe est formé de trois machines M_1 , M_2 et M_3 qui peuvent indépendamment tomber en panne dont les probabilités de panne sont respectivement : p_1 , p_2 et p_3 .

Le système tombe en panne dès que l'une au moins des trois machines est en panne.

1. Déterminer la probabilité de panne du système.
2. Le système étant tombé en panne, quelle est la probabilité que la machine M_1 soit tombée en panne ?

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 13 – *Exceptionnellement, on pourra utiliser la calculatrice pour les applications numériques.*
Une maladie touche 20% de la population d'un pays. Lors d'un dépistage de la maladie, on utilise un test biologique qui a les caractéristiques suivantes :

- lorsque la personne est malade, la probabilité d'avoir un test positif est 0,70.
- lorsque la personne n'est pas malade, la probabilité d'avoir un test négatif est 0,95.

On choisit une personne au hasard dans cette population. On appelle valeur prédictive positive du test (VPP), la probabilité qu'une personne soit malade sachant que le test est positif. On estime que ce test est efficace pour une population donnée lorsque cette probabilité est supérieure à 0,95.

1. Calculer la valeur prédictive positive de ce test. Ce test est-il efficace sur la population étudiée ?
2. Mêmes questions en supposant cette fois que 60% des personnes sont touchées.

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 14 – Soit $p \in]0, 1[$. On lance plusieurs fois une pièce donnant à chaque lancer Pile avec la probabilité p . On arrête les lancers

- soit, si on n'obtient aucun pile lors des cinq premiers lancers, on s'arrête après le cinquième lancer
- soit, on s'arrête après avoir eu le premier Pile (pendant les cinq premiers lancers).

On note, pour tout $k \in \{1, \dots, 5\}$, X_k l'évènement «On a effectué k lancers». Calculer

$$\forall k \in \{1, \dots, 5\}, \quad P(X_k).$$

On suppose que les lancers sont indépendants.

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

4 Indépendance

Exercice 15 – Soit $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$. On pose $A = \{1, 2\}$ et $B = \{2, 3\}$. Dans les deux cas suivants, les évènements A et B sont-ils indépendants pour P ?

1. Pour P définie par

ω	1	2	3	4	5	6
$P(\{\omega\})$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$

Comme les évènements $\{1\}$ et $\{2\}$ sont **disjoints**, on a,

$$P(A) = P(\{1\} \cup \{2\}) = P(\{1\}) + P(\{2\}) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

De même,

$$P(B) = \frac{1}{2}$$

De plus,

$$P(A \cap B) = P(\{2\}) = \frac{1}{6}$$

Donc,

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

et les évènements A et B sont indépendants.

2. Pour P la probabilité uniforme sur Ω

De même, on calcule que

$$P(A) = \frac{1}{3}, \quad P(B) = \frac{1}{3}, \quad P(A \cap B) = \frac{1}{6}$$

Donc

$$P(A \cap B) \neq P(A) \times P(B)$$

et les évènements A et B ne sont pas indépendants.

Exercice 16 – On lance deux fois un dé équilibré et on considère les événements suivants :

- A_1 : “ la somme des deux lancers est égale à 6”.
- A_2 : “ la somme des deux lancers est égale à 7”.
- B : “ le premier lancer donne 4”.

Les événements A_1 et B sont-ils indépendants ? Les événements A_2 et B sont-ils indépendants ?

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 17 – On lance trois pièces de monnaie amenant pile avec la probabilité $p \in]0, 1[$. Les trois lancers sont indépendants. Soient A l'événement “ il est apparu au moins un pile et au moins un face” et B l'événement “ il est apparu au plus un pile”. Les événements A et B sont-ils indépendants si $p = 1/4$? si $p = 1/2$?

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 18 – Une famille a deux enfants. On suppose que la probabilité d’avoir une fille est la même que celle d’avoir un garçon. On considère les trois événements suivants: A «Les deux enfants sont de sexes différents», B «L’aîné est une fille», C «Le cadet est un garçon». Montrer que A , B et C sont deux à deux indépendants mais ne sont pas mutuellement indépendants.

On a,

$$\begin{aligned} P(A) &= P((F_1 \cap G_2) \cup (G_1 \cap F_2)) \\ &= P(F_1 \cap G_2) + P(G_1 \cap F_2) \quad (\text{événements disjoints}) \\ &= P(F_1) \times P(G_2) + P(G_1) \times P(F_2) \quad (\text{événements indépendants}) \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \\ &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

D’après la formule des probabilités totales,

$$\begin{aligned} P(B) &= P(F_2) \\ &= P(G_1) \times P_{G_1}(F_2) + P(F_1) \times P_{F_1}(F_2) \\ &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Et enfin,

$$P(C) = P(G_1) = \frac{1}{2}$$

De plus,

$$P(A \cap B) = P(G_1 \cap F_2) = \frac{1}{4}$$

et

$$P(A \cap C) = P(G_1 \cap F_2) = \frac{1}{4}$$

et

$$P(B \cap C) = P(F_2 \cap G_1) = \frac{1}{4}$$

Ainsi, on peut vérifier que

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P(A) \times P(B) \\ P(A \cap C) &= P(A) \times P(C) \\ P(B \cap C) &= P(B) \times P(C) \end{aligned}$$

et donc les événements A , B et C sont deux à deux indépendants. Cependant,

$$P(A \cap B \cap C) = P(F_2 \cap G_1) = \frac{1}{4}$$

Donc,

$$P(A \cap B \cap C) \neq P(A) \times P(B) \times P(C)$$

et c les événements A , B et C ne sont pas mutuellement indépendants.

Exercice 19 – Une urne U_1 contient 3 boules blanches et 4 noires, et une urne U_2 contient 4 boules blanches et 3 noires. On effectue une infinité de tirages dans les conditions suivantes :

- tous les tirages se font avec remise;
- on effectue un premier tirage dans U_1 ;
- si un tirage donne une boule blanche le tirage suivant se fait dans U_1 , sinon il se fait dans U_2 .

Pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, on note B_n l'évènement «Obtenir une boule blanche au n -ième tirage» et $p_n = P(B_n)$.

1. Déterminer, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, p_{n+1} en fonction de p_n . *On pourra tracer une portion de l'arbre des probabilités qui correspond seulement aux tirages numéro n et $n + 1$.*
2. En déduire la valeur de p_n pour tout $n \geq 1$.

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 20 – On considère une urne U contenant deux boules blanches et une boule noire indiscernables au toucher, ainsi qu’une urne V contenant une boule blanche et trois boules noires indiscernables au toucher. On effectue une série de tirages d’une boule en procédant comme suit :

- le premier tirage a lieu dans U ;
- tous les tirages s’effectuent avec remise de la boule piochée dans l’urne dont elle provient;
- si l’on pioche une boule blanche lors d’un tirage, le tirage suivant a lieu dans l’autre urne;
- si l’on pioche une boule noire lors d’un tirage, le tirage suivant a lieu dans la même urne.

Pour $n \in \mathbb{N}^*$, on notera

- U_n l’événement “ le n -ième tirage s’effectue dans l’urne U ”;
- V_n l’événement “ le n -ième tirage s’effectue dans l’urne V ”;
- B_n l’événement “ la n -ième boule est blanche”;
- N_n l’événement “ la n -ième boule est noire”.

On a $P(U_1) = 1$.

1. (a) Calculer $P(U_2)$.
(b) Calculer $P(U_3)$.
2. Déterminer la probabilité d’obtenir trois boules blanches lors des trois premiers tirages.
3. Une personne arrive à l’issue du deuxième tirage et sait simplement que la boule qui vient d’être tirée est blanche. Quelle est la probabilité que le deuxième tirage ait eu lieu dans l’urne U ?
4. (a) Démontrer en utilisant la formule des probabilités totales que, pour tout $n \in \mathbb{N}^*$,

$$P(U_{n+1}) = \frac{1}{4} + \frac{1}{12}P(U_n)$$

- (b) Écrire alors une fonction python prenant en entrée un entier $n \in \mathbb{N}^*$ et qui renvoie la valeur de $P(U_n)$, en utilisant cette relation.

5. Déterminer alors la valeur de $p_n = P(U_n)$ en fonction de $n \in \mathbb{N}^*$.
6. Déterminer $P(B_n)$ en fonction de $n \in \mathbb{N}^*$

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 21 – Chaîne de Markov. On considère trois points A, B, C du plan. L’objectif de l’exercice est l’étude du mouvement aléatoire d’un pion se déplaçant sur ces points. A l’étape 0, on suppose que le pion est en A. Ensuite, on suppose que le déplacement vérifie les règles suivantes :

- le mouvement du pion de l’étape n à l’étape $n + 1$ ne dépend que de la position du pion à l’étape n ;
- pour passer de l’étape n à l’étape $n + 1$, on suppose que le pion a une chance sur deux de rester sur place, sinon il se déplace de manière équiprobable vers l’un des deux autres points.

Pour tout $n \in \mathbb{N}$, on note A_n l’évènement “à l’instant n , le pion se situe en A” et l’on définit de même les évènements B_n et C_n . Pour tout $n \in \mathbb{N}$, on note également $a_n = P(A_n)$, $b_n = P(B_n)$ et $c_n = P(C_n)$ ainsi que

$$V_n = (a_n \quad b_n \quad c_n)$$

le n -ième état probabiliste de cette chaîne de Markov.

- (a) Déterminer a_0, b_0, c_0 .
- (b) Déterminer a_1, b_1, c_1 .
- (c) En utilisant la formule des probabilités totales, exprimer, pour tout $n \in \mathbb{N}$, a_{n+1} en fonction de a_n, b_n et c_n .
- (d) De même, exprimer, pour tout $n \in \mathbb{N}$, b_{n+1} et c_{n+1} en fonction de a_n, b_n et c_n .
- (e) Déterminer une matrice M telle que pour tout $n \in \mathbb{N}$, $V_{n+1} = V_n \times M$.
- (f) Démontrer par récurrence que pour tout $n \in \mathbb{N}$, $V_n = V_0 \times M^n$.

On considère les matrices

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

- Montrer que P est inversible et déterminer son inverse.
- Montrer que $D = P^{-1}AP$ est une matrice diagonale.
- Démontrer par récurrence que pour tout $n \in \mathbb{N}$, $A^n = PD^nP^{-1}$.
- En déduire, pour tout $n \in \mathbb{N}$, l’expression de A^n .
- Démontrer que pour tout $n \in \mathbb{N}$,

$$M^n = \frac{1}{3 \times 4^n} \begin{pmatrix} 4^n + 2 & 4^n - 1 & 4^n - 1 \\ 4^n - 1 & 4^n + 2 & 4^n - 1 \\ 4^n - 1 & 4^n - 1 & 4^n + 2 \end{pmatrix}$$

- En déduire, pour tout $n \in \mathbb{N}$, l’expression de a_n, b_n et c_n .
- Étudier la convergence des suites $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$, $(b_n)_{n \in \mathbb{N}}$ et $(c_n)_{n \in \mathbb{N}}$.

Voir correction manuscrite (fichier annexe).

Exercice 22 – Soient a et b deux entiers naturels non nuls. On note $n = a + b$. On considère une urne contenant initialement a boules blanches et b boules noires. On effectue des tirages successifs de la manière suivante.

- Lorsque la boule tirée est blanche, elle est remise dans l'urne avant de procéder au tirage suivant.
- Lorsque la boule tirée est noire, elle n'est pas remise dans l'urne, mais remplacée par une boule blanche et l'on procède alors au tirage suivant.

Notons pour tout $k \in \mathbb{N}^*$, N_k l'évènement "On obtient une boule noire au k -ième tirage" et Y_k l'évènement "On obtient pour la première fois une boule blanche au k -ième tirage". Soit $k \in \{1, \dots, b+1\}$ fixe dans tout ce problème.

1. Justifier l'égalité suivante :

$$Y_k = N_1 \cap N_2 \cap \dots \cap N_{k-1} \cap \overline{N}_k$$

Soit $k \in \{1, \dots, b+1\}$. Pour obtenir pour la première fois une boule blanche au k -ième tirage, il faut n'avoir obtenu que des boules noires au $k-1$ premières tirages et avoir obtenu une boule blanche au k -ième tirage. D'où

$$Y_k = N_1 \cap N_2 \cap \dots \cap N_{k-1} \cap \overline{N}_k$$

2. Donner $P(N_1)$.

Au départ, dans l'urne, il y a a boules blanches et b boules noires et donc n boules au total. Comme le tirage est **uniforme**, la probabilité de tirer une boule noire à ce moment est donc

$$P(N_1) = \frac{b}{n}$$

3. Soit $i \in \{2, \dots, k-1\}$.

(a) Si les $i-1$ premiers tirages ont donné une boule noire, combien de boules noires y'a-t-il dans l'urne ? combien de boules au total y'a-t-il dans l'urne ?

Soient $k \in \{1, \dots, b+1\}$ et $i \in \{2, \dots, k-1\}$. Si les $i-1$ premiers tirages ont donné une boule noire, comme chaque boule noire est remplacée par une boule blanche, alors il reste $b - (i-1)$ boules noires et $a + (i-1)$ boules blanches dans l'urne et ainsi toujours n boules au total.

(b) En déduire

$$P_{N_1 \cap \dots \cap N_{i-1}}(N_i).$$

Soient $k \in \{1, \dots, b+1\}$ et $i \in \{2, \dots, k-1\}$. En utilisant la Question 3(a), comme le tirage est **uniforme**, la probabilité de tirer une boule noire au i -ième tirage, sachant que l'on a obtenu que des boules noires pendant les $i-1$ premiers tirages, est de

$$P_{N_1 \cap \dots \cap N_{i-1}}(N_i) = \frac{b - (i-1)}{n}$$

4. De la même façon, en déduire

$$P_{N_1 \cap \dots \cap N_{k-1}}(\overline{N}_k).$$

Si les $k-1$ premiers tirages ont donné une boule noire, comme chaque boule noire est remplacée par une boule blanche, alors il reste $b - (k-1)$ boules noires et $a + (k-1)$ boules blanches dans l'urne et ainsi toujours n boules au total. Donc, comme le tirage est **uniforme**, la probabilité de tirer une boule blanche au k -ième tirage, sachant que l'on a obtenu que des boules noires pendant les $k-1$ premiers tirages, est de

$$P_{N_1 \cap \dots \cap N_{k-1}}(\overline{N}_k) = \frac{a + (k-1)}{n}.$$

5. En déduire, grâce à la formule des **probabilités composées**, que

$$P(Y_k) = \frac{(a+k-1)b!}{n^k(b-k+1)!}$$

En utilisant la Question 1 et la formule des **probabilités composées**, on a

$$P(Y_k) = P(N_1) \times P_{N_1}(N_2) \times P_{N_1 \cap N_2}(N_3) \times P_{N_1 \cap \dots \cap N_{k-2}}(N_{k-1}) \times P_{N_1 \cap \dots \cap N_{k-1}}(\overline{N}_k)$$

Donc, en utilisant les résultats des Questions 2, 3(b) et 4, on obtient,

$$\begin{aligned} \boxed{P(Y_k)} &= \frac{b}{n} \times \frac{b-1}{n} \times \dots \times \frac{b-(k-2)}{n} \times \frac{a+(k-1)}{n} \\ &= \frac{b \times (b-1) \times \dots \times (b-(k-2)) \times (a+k-1)}{n^k} \\ &= \frac{b \times (b-1) \times \dots \times (b-k+2) \times (b-k+1) \times (b-k) \times \dots \times 2 \times 1 \times (a+k-1)}{n^k \times (b-k+1) \times (b-k) \times \dots \times 2 \times 1} \\ &= \boxed{\frac{(a+k-1)b!}{n^k(b-k+1)!}} \end{aligned}$$