

## DEVOIR SURVEILLÉ 3

### Exercice 1 – [BSB 2019 / Ex1]

1. Je raisonne par récurrence sur  $n \in \mathbb{N}$ .

**Énoncé :** Je note  $\mathcal{P}_n$  la propriété :  $A^n = \begin{pmatrix} 2^n & 0 & 3^n - 2^n \\ 0 & 3^n & n3^{n-1} \\ 0 & 0 & 3^n \end{pmatrix}$ .

**Initialisation :** Pour  $n = 0$ ,

$$A^0 = I_3 \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} 2^0 & 0 & 3^0 - 2^0 \\ 0 & 3^0 & 0 \times 3^{0-1} \\ 0 & 0 & 3^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1-1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = I_3.$$

Ainsi  $\mathcal{P}_0$  est vraie.

**Hérédité :** Soit  $n \geq 0$ . Je suppose que  $\mathcal{P}_n$  est vraie et je montre que  $\mathcal{P}_{n+1}$  l'est aussi.

Alors

$$\begin{aligned} A^{n+1} &= A \times A^n = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2^n & 0 & 3^n - 2^n \\ 0 & 3^n & n3^{n-1} \\ 0 & 0 & 3^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \times 2^n & 0 & 2(3^n - 2^n) + 3^n \\ 0 & 3 \times 3^n & 3 \times n3^{n-1} + 3^n \\ 0 & 0 & 3 \times 3^n \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 2^{n+1} & 0 & 3 \times 3^n - 2 \times 2^n \\ 0 & 3^{n+1} & n3^n + 3^n \\ 0 & 0 & 3^{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^{n+1} & 0 & 3^{n+1} - 2^{n+1} \\ 0 & 3^{n+1} & (n+1) \times 3^n \\ 0 & 0 & 3^{n+1} \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Finalement  $\mathcal{P}_{n+1}$  est vraie et la propriété est héréditaire.

**Conclusion :** Comme la propriété est vraie pour  $n = 0$  et est héréditaire, alors par principe de récurrence,  $\mathcal{P}_n$  est vraie pour tout  $n \geq 0$ , i.e.

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad A^n = \begin{pmatrix} 2^n & 0 & 3^n - 2^n \\ 0 & 3^n & n3^{n-1} \\ 0 & 0 & 3^n \end{pmatrix}.$$

2. a) L'instruction manquante est `a=2*a+3**i`. En effet, comme les valeurs de  $i$  vont de 0 à  $n-1$ , à chaque itération le terme  $a_{i+1}$  est calculé : pour cela, il faut sommer le double du terme précédent  $2a_i$  avec la puissance de 3 correspondant à cet indice, i.e.  $3^i$ .

b) Soit  $n \in \mathbb{N}$ . Je calcule le produit  $AX_n$  :

$$AX_n = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \\ 3^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2a_n + 3^n \\ 3b_n + 3^n \\ 3^{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{n+1} \\ b_{n+1} \\ 3^{n+1} \end{pmatrix} = X_{n+1}.$$

Ainsi j'ai bien montré que pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ ,  $X_{n+1} = AX_n$ .

c) Voici le programme complété.

```
1. import numpy as np
2. def calculbisa(n):
3.     A=np.array([[2,0,1],[0,3,1],[0,0,3]])
4.     X=np.array([[2],[0],[1]])
5.     for i in range(n):
6.         X=np.dot(A,X)
7.     return X[0]
```

d) Je raisonne par récurrence sur  $n \in \mathbb{N}$ .

**Énoncé :** Je note  $\mathcal{P}_n$  la propriété :  $X_n = A^n X_0$ .

**Initialisation :** Pour  $n = 0$ ,  $A^0 X_0 = I_3 X_0 = X_0$ . Ainsi  $\mathcal{P}_0$  est vraie.

**Hérédité :** Soit  $n \geq 0$ . Je suppose que  $\mathcal{P}_n$  est vraie et je montre que  $\mathcal{P}_{n+1}$  l'est aussi.

Alors

$$X_{n+1} = AX_n = A \times A^n X_0 = A^{n+1} X_0.$$

Finalement  $\mathcal{P}_{n+1}$  est vraie et la propriété est héréditaire.

**Conclusion :** Comme la propriété est vraie pour  $n = 0$  et est héréditaire, alors par principe de récurrence,  $\mathcal{P}_n$  est vraie pour tout  $n \geq 0$ , *i.e.*

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad X_n = A^n X_0.$$

e) D'après les questions précédentes,

$$X_n = A^n X_0 \iff \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \\ 3^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^n & 0 & 3^n - 2^n \\ 0 & 3^n & n3^{n-1} \\ 0 & 0 & 3^n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^{n+1} + 3^n - 2^n \\ n3^{n-1} \\ 3^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^n + 3^n \\ n3^{n-1} \\ 3^n \end{pmatrix}.$$

Ainsi j'ai bien montré en particulier que pour tout  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$a_n = 2^n + 3^n \quad \text{et} \quad b_n = n3^{n-1}.$$

3. a) Je calcule les produits  $PQ$  et  $QP$  :

$$P \times Q = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1-1 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = I_3,$$

$$Q \times P = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1-1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = I_3.$$

b) Je calcule le produit  $PM$  avant de multiplier le résultat par  $Q$  :

$$P \times M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 4 & 0 & -2 \\ -1 & 3 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 3 & 1 \\ -4+1 & 0 & 2+1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 3 & 1 \\ -3 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

$$PM \times Q = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 3 & 1 \\ -3 & 0 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+1 & 0 & 1 \\ 1-1 & 3 & 1 \\ 3-3 & 0 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} = A.$$

Ainsi j'ai bien montré que  $PMQ = A$ .

c) Avant de passer à la récurrence proprement dite, il me faut montrer que  $M = QAP$ .  
Il s'agit d'une conséquence directe de la question précédente : comme  $PMQ = A$ , alors en multipliant à gauche par  $Q$  et à droite par  $P$ , j'obtiens que

$$QAP = Q \times PMQ \times P = I_3 \times M \times I_3 = M.$$

Je raisonne alors par récurrence sur  $n \in \mathbb{N}$ .

**Énoncé :** Je note  $\mathcal{P}_n$  la propriété :  $M^n = QA^nP$ .

**Initialisation :** Pour  $n = 0$ ,

$$M^0 = I_3 \quad \text{et} \quad QA^0P = QI_3P = QP = I_3.$$

Ainsi  $\mathcal{P}_0$  est vraie.

**Hérédité :** Soit  $n \geq 0$ . Je suppose que  $\mathcal{P}_n$  est vraie et je montre que  $\mathcal{P}_{n+1}$  l'est aussi.

Alors

$$M^{n+1} = M^n \times M = QA^nP \times QAP = QA^n \times AP = QA^{n+1}P.$$

Finalement  $\mathcal{P}_{n+1}$  est vraie et la propriété est héréditaire.

**Conclusion :** Comme la propriété est vraie pour  $n = 0$  et est héréditaire, alors par principe de récurrence,  $\mathcal{P}_n$  est vraie pour tout  $n \geq 0$ , i.e.

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad M^n = QA^nP.$$

Comme je connais les matrices  $Q$ ,  $A^n$  et  $P$ , il ne me reste plus qu'à calculer le produit :

$$A^n \times P = \begin{pmatrix} -3^n + 2^n & 0 & -2^n + 3^n - 2^n \\ -n3^{n-1} & 3^n & n3^{n-1} \\ -3^n & 0 & 3^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^n - 3^n & 0 & 3^n - 2 \times 2^n \\ -n3^{n-1} & 3^n & n3^{n-1} \\ -3^n & 0 & 3^n \end{pmatrix}$$

$$Q \times A^n P = \begin{pmatrix} -2^n + 3^n + 3^n & 0 & -3^n + 2 \times 2^n - 3^n \\ -n3^{n-1} & 3^n & n3^{n-1} \\ -2^n + 3^n & 0 & -3^n + 2 \times 2^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \times 3^n - 2^n & 0 & 2(2^n - 3^n) \\ -n3^{n-1} & 3^n & n3^{n-1} \\ 3^n - 2^n & 0 & 2^{n+1} - 3^n \end{pmatrix}.$$

Je retrouve bien, pour la matrice  $M^n$  et tout entier  $n \in \mathbb{N}$ , l'expression donnée par l'énoncé.

4. a) D'après la définition de la suite  $(b_n)_{n \geq 0}$ , pour tout  $k \in \mathbb{N}$ ,  $b_{k+1} = 3b_k + 3^k$ . Ainsi

$$b_{k+1} - b_k - 3^k = 3b_k + 3^k - b_k - 3^k = 2b_k.$$

Ainsi j'ai bien montré que pour tout  $k \in \mathbb{N}$ ,  $2b_k = b_{k+1} - b_k - 3^k$ .

- b) Je reconnais la somme des  $n + 1$  premières puissances de 3. Alors

$$\sum_{k=0}^n 3^k = \frac{1 - 3^{n+1}}{1 - 3} = \frac{1 - 3^{n+1}}{-2} = \frac{3^{n+1} - 1}{2}.$$

- c) Je reconnais une somme télescopique. Ici, seuls les deux termes extrêmes vont rester. Ainsi

$$\sum_{k=0}^n (b_{k+1} - b_k) = \cancel{b_1} - b_0 + \cancel{b_2} - \cancel{b_1} + \dots + \cancel{b_n} - \cancel{b_{n-1}} + b_{n+1} - \cancel{b_n} = b_{n+1} - b_0 = b_{n+1}.$$

En effet, comme  $b_0 = 0$ , j'obtiens bien le résultat souhaité.

- d) En assemblant les résultats des questions précédentes, j'obtiens bien l'égalité désirée :

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^n k3^{k-1} &= \sum_{k=0}^n b_k = \sum_{k=0}^n \frac{1}{2} \times (b_{k+1} - b_k - 3^k) = \frac{1}{2} \times \left( \sum_{k=0}^n (b_{k+1} - b_k) - \sum_{k=0}^n 3^k \right) \\ &= \frac{1}{2} \times \left( b_{n+1} - \frac{3^{n+1} - 1}{2} \right) = \frac{b_{n+1}}{2} + \frac{1 - 3^{n+1}}{4} = \frac{(n+1)3^n}{2} + \frac{1}{4} - \frac{3^{n+1}}{4}. \end{aligned}$$

**Exercice 2 – [BSB 2019 / Ex2]**

1. Pour calculer la limite en  $-\infty$ , j'utilise les résultats classiques d'opérations sur les limites :

$$\left. \begin{array}{l} \lim_{x \rightarrow -\infty} e^x = 0 \\ \lim_{x \rightarrow -\infty} 1 + e^x = 1 \end{array} \right\} \text{Par quotient, } \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0.$$

J'en déduis que la représentation graphique  $\mathcal{C}$  de  $f$  admet une asymptote horizontale, au voisinage de  $-\infty$ , d'équation  $y = 0$ .

2. a) Je pars de l'expression  $\frac{1}{1 + e^{-x}}$  et je multiplie numérateur et dénominateur par  $e^x$  pour retrouver l'expression de  $f(x)$  :

$$\frac{1}{1 + e^{-x}} = \frac{1 \times e^x}{(1 + e^{-x}) \times e^x} = \frac{e^x}{e^x + e^0} = \frac{e^x}{1 + e^x} = f(x).$$

J'ai bien montré que  $\forall x \in \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ .

- b) Grâce à cette nouvelle expression, je calcule la limite de  $f$  en  $+\infty$  :

$$\left. \begin{array}{l} \lim_{x \rightarrow +\infty} 1 = 1 \\ \lim_{x \rightarrow +\infty} 1 + e^{-x} = 1 + 0 = 1 \end{array} \right\} \text{Par quotient, } \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 1.$$

J'en déduis alors que la représentation graphique  $\mathcal{C}$  de  $f$  admet une seconde asymptote horizontale, au voisinage de  $+\infty$ , d'équation  $y = 1$ .

3. a) La fonction  $f$  est de la forme  $f = \frac{u}{v}$ , avec  $u(x) = e^x$  et  $v(x) = 1 + e^x$ .  
Puisque  $u'(x) = e^x$  et  $v'(x) = e^x$ , alors

$$f'(x) = \frac{u'(x)v(x) - u(x)v'(x)}{v(x)^2} = \frac{e^x \times (1 + e^x) - e^x \times e^x}{(1 + e^x)^2} = \frac{e^x}{(1 + e^x)^2}.$$

J'ai bien montré que pour tout  $x \in \mathbb{R}, f'(x) = \frac{e^x}{(1 + e^x)^2}$ .

- b) Les variations de la fonction  $f$  s'obtiennent en étudiant le signe de  $f'(x)$ . Ici, le signe est immédiat puisque le dénominateur est un carré et le numérateur, une exponentielle. Ainsi pour tout  $x \in \mathbb{R}, f'(x) > 0$  et donc la fonction  $f$  est strictement croissante sur  $\mathbb{R}$ . En outre,

$$f(0) = \frac{e^0}{1 + e^0} = \frac{1}{1 + 1} = \frac{1}{2}.$$

D'où le tableau de variation suivant :

$x$	$-\infty$	$0$	$+\infty$
$f$			

- c) L'équation de la tangente  $\mathcal{T}$  à la courbe  $\mathcal{C}$  au point d'abscisse  $a$  est donnée par la formule  $y = f'(a) \times (x - a) + f(a)$ . Ici  $a = 0$  donc l'équation devient

$$y = f'(0) \times (x - 0) + f(0).$$

Or

$$f(0) = \frac{1}{2} \quad \text{et} \quad f'(0) = \frac{e^0}{(1+e^0)^2} = \frac{1}{(1+1)^2} = \frac{1}{4}.$$

Finalement l'équation de  $\mathcal{T}$  est donnée par

$$y = \frac{1}{4}x + \frac{1}{2}.$$

4. La convexité de  $f$  s'obtient en étudiant le signe de la dérivée seconde  $f''(x)$ .

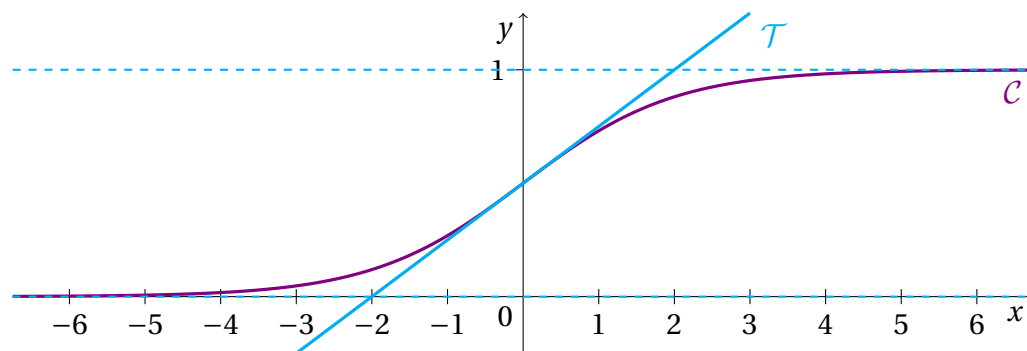
Ici l'énoncé me donne  $f''(x) = \frac{e^x(1-e^x)}{(1+e^x)^3}$  et comme  $\forall x \in \mathbb{R}, \quad e^x > 0 \quad \text{et} \quad (1+e^x) > 0$ ,

j'en déduis que le signe de  $f''(x)$  est donné par celui de  $(1-e^x)$ .

Or  $1 - e^x \geq 0 \iff 1 \geq e^x \iff 0 \geq x$ , donc j'en déduis que la fonction  $f$  est convexe sur l'intervalle  $]-\infty, 0[$  puis concave sur l'intervalle  $]0, +\infty[$ .

Le point de coordonnées  $\left(0, \frac{1}{2}\right)$  est point d'inflexion : la tangente en ce point, calculée précédemment, traverse la courbe en ce point.

5. La courbe admet deux asymptotes horizontales, je connais l'équation de la tangente à la courbe en 0. Je suis donc capable de tracer l'allure de la courbe.



### Exercice 3 – [BSB 2019 / Ex3]

1. Si la pièce amène FACE, alors le premier tirage s'effectue dans l'urne  $\mathcal{U}_2$  et la boule tirée est rouge avec probabilité  $\frac{1}{2}$ . Ainsi  $P_F(R_1) = \frac{1}{2}$ .

Au contraire, si la pièce amène PILE, alors le premier tirage s'effectue dans l'urne  $\mathcal{U}_1$  et la boule tirée est rouge avec probabilité 1. Autrement dit,  $P_{\bar{F}}(R_1) = 1$ .

Alors d'après la formule des probabilités totales, comme  $\{F, \bar{F}\}$  forme un système complet d'événements, la probabilité de tirer une boule rouge est donnée par

$$P(R_1) = P(F \cap R_1) + P(\bar{F} \cap R_1) = P(F) \times P_F(R_1) + P(\bar{F}) \times P_{\bar{F}}(R_1) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}.$$

2. a) Si la pièce amène FACE, alors les tirages s'effectuent dans l'urne  $\mathcal{U}_2$ .  
D'après la formule des probabilités composées,

$$P_F(R_1 \cap R_2) = P_F(R_1) \times P_{F \cap R_1}(R_2) = \frac{2}{4} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6}.$$

De même, si la pièce amène PILE, les tirages s'effectuent dans  $\mathcal{U}_1$  et

$$P_{\bar{F}}(R_1 \cap R_2) = P_{\bar{F}}(R_1) \times P_{\bar{F} \cap R_1}(R_2) = 1 \times 1 = 1.$$

Alors d'après la formule des probabilités totales, comme  $\{F, \bar{F}\}$  forme un système complet d'événements, la probabilité de tirer deux boules rouges de suite est donnée par

$$P(R_1 \cap R_2) = P(F) \times P_F(R_1 \cap R_2) + P(\bar{F}) \times P_{\bar{F}}(R_1 \cap R_2) = \frac{1}{2} \times \frac{1}{6} + \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{12} + \frac{1}{2} = \frac{7}{12}.$$

b) Je cherche ici  $P_{R_1 \cap R_2}(\bar{F})$ . D'après la formule des probabilités conditionnelles,

$$P_{R_1 \cap R_2}(\bar{F}) = \frac{P(\bar{F} \cap R_1 \cap R_2)}{P(R_1 \cap R_2)} = \frac{\frac{1}{2} \times 1}{\frac{7}{12}} = \frac{1}{2} \times \frac{12}{7} = \frac{6}{7}.$$

Si les deux boules tirées sont rouges, la probabilité que la pièce ait amené PILE est  $\frac{6}{7}$ .

3. **Dans cette question, une erreur présente initialement dans l'énoncé a été corrigée.**

a) Si une boule blanche est tirée en premier, alors je sais qu'il s'agit de l'urne  $\mathcal{U}_2$ , donc  $Y = 1$ . Si au contraire une boule rouge est tirée, il peut s'agir de l'urne  $\mathcal{U}_1$  ou de  $\mathcal{U}_2$  et il faut donc faire au moins un autre tirage.

Si ce deuxième tirage donne une boule blanche, alors encore une fois, je sais qu'il s'agit de l'urne  $\mathcal{U}_2$ , donc  $Y = 2$ . Si au contraire une boule rouge est tirée, alors il peut encore s'agir de l'urne  $\mathcal{U}_1$  ou de  $\mathcal{U}_2$ . Il faut donc refaire un troisième tirage pour déterminer dans quelle urne les tirages ont lieu.

Au troisième tirage, si une boule blanche est tirée, alors il s'agit de l'urne  $\mathcal{U}_2$ . Cependant, si une boule rouge est tirée alors ce ne peut être que l'urne  $\mathcal{U}_1$  puisque seule l'urne  $\mathcal{U}_1$  contient plus de deux boules rouges.

Ainsi j'ai montré que le support de  $Y$ , ensemble des valeurs prises par la variable aléatoire  $Y$ , est donné par  $Y(\Omega) = \llbracket 1, 3 \rrbracket$ .

b) Comme expliqué à la question précédente, l'événement  $[Y = 1]$  ne se réalise que lorsqu'une boule blanche est tirée au premier tirage. Ceci n'est possible que si la boule a été tirée dans l'urne  $\mathcal{U}_2$  et donc que la pièce a amené FACE.

Ainsi j'ai bien montré que

$$[Y = 1] = F \cap B_1.$$

Alors d'après la formule des probabilités composées,

$$P(Y = 1) = P(F \cap B_1) = P(F) \times P_F(B_1) = \frac{1}{2} \times \frac{2}{4} = \frac{1}{4}.$$

c) Par un raisonnement similaire à la question précédente, je montre que

$$[Y = 2] = F \cap R_1 \cap B_2.$$

Alors d'après la formule des probabilités composées,

$$P(Y = 2) = P(F \cap R_1 \cap B_2) = P(F) \times P_F(R_1) \times P_{F \cap R_1}(B_2) = \frac{1}{2} \times \frac{2}{4} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{6}.$$

d) Par complémentarité, comme  $\{[Y = 1], [Y = 2], [Y = 3]\}$  forme un système complet d'événements, j'obtiens que

$$P(Y = 3) = 1 - P(Y = 1) - P(Y = 2) = 1 - \frac{1}{4} - \frac{1}{6} = \frac{7}{12}.$$

*Je remarque qu'il s'agit là de la somme des deux probabilités données dans l'énoncé initial.*

e) Je connais désormais la loi de  $Y$  donc je peux facilement calculer son espérance :

$$E(Y) = 1 \times P(Y = 1) + 2 \times P(Y = 2) + 3 \times P(Y = 3) = 1 \times \frac{1}{4} + 2 \times \frac{1}{6} + 3 \times \frac{7}{12} = \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{7}{4} = 2 + \frac{1}{3} = \frac{7}{3}.$$

**Exercice 4 – [ECRICOME 2020 / Ex1]****Partie A**

1. Voici la fonction complétée :

```

1. def calcul(n):
2.     u=0
3.     v=1
4.     for k in range(n):
5.         w=u
6.         u=v
7.         v=7*u+8*w
8.     return u

```

2. Pour montrer que la suite  $(s_n)_{n \in \mathbb{N}}$  est géométrique, j'exprime  $s_{n+1}$  en fonction de  $s_n$  pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ . Soit  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$s_{n+1} = u_{n+2} + u_{n+1} = 7u_{n+1} + 8u_n + u_{n+1} = 8u_{n+1} + 8u_n = 8 \times (u_{n+1} + u_n) = 8 \times s_n.$$

J'ai bien montré que la suite  $(s_n)_{n \in \mathbb{N}}$  est une suite géométrique de raison  $q = 8$ .

Je peux alors en donner son expression explicite : comme  $s_0 = u_1 + u_0 = 1 + 0 = 1$ , alors

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad s_n = s_0 \times q^n = 1 \times 8^n = 8^n.$$

3. a) D'après les formules de l'énoncé, pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$t_n = v_n - v_{n+1} = (-1)^n u_n - (-1)^{n+1} u_{n+1} = (-1)^n \times (u_n + u_{n+1}) = (-1)^n \times s_n.$$

b) D'après les questions précédentes, pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ ,  $t_n = (-1)^n \times s_n$  et  $s_n = 8^n$ .  
Alors

$$t_n = (-1)^n \times 8^n = (-8)^n.$$

4. a) Il s'agit de la somme des  $n$  premières puissances de  $-8$ . Alors

$$\sum_{i=0}^{n-1} (-8)^i = \frac{1 - (-8)^{n-1+1}}{1 - (-8)} = \frac{1 - (-8)^n}{1 + 8} = \frac{1}{9} \times (1 - (-8)^n).$$

b) Il s'agit cette fois d'une somme télescopique :

$$\sum_{i=0}^{n-1} (v_i - v_{i+1}) = v_0 - v_1 + v_1 - v_2 + \dots + v_{n-2} - v_{n-1} + v_{n-1} - v_n = v_0 - v_n = -v_n, \quad \text{car } v_0 = 0.$$

c) D'après les questions précédentes, pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$v_n = - \sum_{i=0}^{n-1} (v_i - v_{i+1}) = - \sum_{i=0}^{n-1} t_i = - \sum_{i=0}^{n-1} (-8)^i = - \frac{1}{9} \times (1 - (-8)^n) = \frac{1}{9} \times ((-8)^n - 1).$$

Puis comme  $v_n = (-1)^n u_n$ , alors  $u_n = (-1)^n v_n$  et pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$u_n = (-1)^n \times \frac{1}{9} \times ((-8)^n - 1) = \frac{1}{9} \times ((-1)^n \times (-8)^n - (-1)^n) = \frac{1}{9} \times (8^n - (-1)^n).$$

Enfin comme  $-(-1)^n = (-1)^{n+1}$ , alors j'ai bien montré que

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad \frac{(-1)^{n+1} + 8^n}{9}.$$

**Partie B**

1. Je calcule le produit  $M^2$  puis l'expression  $M^2 - 7M - 8I$  :

$$M^2 = M \times M = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4+9+9 & 6+6+9 & 6+9+6 \\ 6+6+9 & 9+4+9 & 9+6+6 \\ 6+9+6 & 9+6+6 & 9+9+4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 22 & 21 & 21 \\ 21 & 22 & 21 \\ 21 & 21 & 22 \end{pmatrix}$$

$$M^2 - 7M - 8I = \begin{pmatrix} 22 & 23 & 23 \\ 23 & 22 & 23 \\ 23 & 23 & 22 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -14 & -21 & -21 \\ -21 & -14 & -21 \\ -21 & -21 & -14 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -8 & 0 & 0 \\ 0 & -8 & 0 \\ 0 & 0 & -8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = 0_3.$$

2. a) Je calcule chaque côté pour vérifier l'égalité :

$$M^0 = I \quad \text{et} \quad a_0 M + b_0 I = 0 \times M + 1 \times I = I.$$

Donc l'égalité  $M^0 = a_0 M + b_0 I$  est bien vérifiée.

- b) De la même façon, en posant  $a_1 = 1$  et  $b_1 = 0$ , alors j'obtiens bien que

$$a_1 M + b_1 I = 1 \times M + 0 \times I = M = M^1.$$

- c) En supposant que  $M^n = a_n M + b_n I$  pour deux réels  $a_n$  et  $b_n$ , alors

$$M^{n+1} = M^n \times M = (a_n M + b_n I) \times M = a_n M^2 + b_n M.$$

Or en utilisant le résultat de la question 1., puisque  $M^2 - 7M - 8I = 0_3$  alors  $M^2 = 7M + 8I$ .  
En remplaçant  $M^2$  par cette expression, j'obtiens alors

$$M^{n+1} = a_n(7M + 8I) + b_n M.$$

Puis en développant le produit,

$$M^{n+1} = 7a_n M + 8a_n I + b_n M = (7a_n + b_n)M + 8a_n I,$$

$$\text{i.e.} \quad M^{n+1} = a_{n+1} M + b_{n+1} I \quad \text{pour} \quad a_{n+1} = 7a_n + b_n \quad \text{et} \quad b_{n+1} = 8a_n.$$

- d) Les suites  $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$  et  $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$  sont initialisées de la même manière :

$$a_0 = u_0 = 0 \quad \text{et} \quad a_1 = u_1 = 1.$$

*L'étape d'initialisation est double puisque la formule de récurrence de la suite  $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$  fait intervenir  $u_{n+1}$ ,  $u_n$  et  $u_{n-1}$ . C'est pourquoi je m'éloigne un peu de la rédaction habituelle.*

Et les formules de récurrence des deux suites sont identiques : pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$ ,

$$u_{n+1} = 7u_n + 8u_{n-1} \quad \text{et} \quad a_{n+1} = 7a_n + b_n = 7a_n + 8a_{n-1}, \text{ puisque } b_{n+1} = 8a_n.$$

Alors par récurrence, comme les suites sont initialisées et définies par récurrence de la même manière, les deux suites sont identiques, *i.e.*

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad a_n = u_n.$$

**Partie C**

1. La somme de toutes les probabilités doit être égale à 1. Or ici, la somme vaut  $24\beta$ .

Donc

$$24\beta = 1 \quad \Longleftrightarrow \quad \beta = \frac{1}{24}.$$

2. Pour déterminer les lois marginales, je calcule la somme des probabilités sur chacune des lignes ou des colonnes. J'obtiens alors les tableaux suivants :



$k$	1	2	3
$P(X = k)$	$8\beta = \frac{1}{3}$	$8\beta = \frac{1}{3}$	$8\beta = \frac{1}{3}$

$k$	1	2	3
$P(Y = k)$	$8\beta = \frac{1}{3}$	$8\beta = \frac{1}{3}$	$8\beta = \frac{1}{3}$

Les deux lois sont identiques (même support et mêmes probabilités) et il s'agit de la loi uniforme sur l'intervalle  $\llbracket 1, 3 \rrbracket$ . Ainsi

$$E(X) = E(Y) = \frac{3+1}{2} = 2.$$

3. a) Je calcule l'espérance du produit  $XY$  à l'aide de la loi conjointe :

$$\begin{aligned} E(XY) &= 1 \times 1 \times 2\beta + 1 \times 2 \times 3\beta + 1 \times 3 \times 3\beta + 2 \times 1 \times 3\beta + 2 \times 2 \times 2\beta + 2 \times 3 \times 3\beta \\ &\quad + 3 \times 1 \times 3\beta + 3 \times 2 \times 3\beta + 3 \times 3 \times 2\beta \\ &= (2 + 6 + 9 + 6 + 8 + 18 + 9 + 18 + 18)\beta = 94\beta = \frac{94}{24} = \frac{47}{12}. \end{aligned}$$

Puis d'après la formule de König-Huygens,

$$\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X) \times E(Y) = \frac{47}{12} - 2 \times 2 = \frac{47}{12} - 4 = \frac{47}{12} - \frac{48}{12} = -\frac{1}{12}.$$

- b) Si les deux variables aléatoires  $X$  et  $Y$  étaient indépendantes, alors la covariance  $\text{Cov}(X, Y)$  serait nulle. Or selon la question précédente, ce n'est pas le cas. Donc les variables aléatoires  $X$  et  $Y$  ne sont pas indépendantes.