

# BSB 2021

## Exercice 1 –

1. Pour vérifier que la matrice  $M$  est idempotente, je calcule  $M^2$  :

$$M^2 = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} & \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} & \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} & \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} & \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} & \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} & \frac{1}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} = M.$$

J'ai bien montré que  $M^2 = M$ , *i.e.*  $M$  est idempotente.

2. a) Comme la matrice  $M$  est idempotente, par définition  $M^2 = M$ .  
D'où, en notant  $0_n$  la matrice nulle d'ordre  $n$ ,

$$M^2 - M = 0_n.$$

J'en déduis que le polynôme  $X^2 - X$  est bien un polynôme annulateur de la matrice  $M$ .

- b) Les valeurs propres de  $M$  sont nécessairement parmi les racines du polynôme annulateur. Je cherche donc les racines de  $X^2 - X$ , polynôme annulateur de la matrice  $M$  :

$$X^2 - X = 0 \iff X(X - 1) = 0 \iff X = 0 \text{ ou } X - 1 = 0 \iff X = 0 \text{ ou } X = 1.$$

Donc les valeurs propres possibles pour la matrice  $M$  sont 0 et 1.

- c) Pour vérifier que la matrice  $N = I_n - M$  est idempotente, je calcule  $N^2$  :

$$N^2 = (I_n - M)^2 = (I_n - M) \times (I_n - M) = I_n \times I_n - I_n \times M - M \times I_n + M \times M = I_n - M - M + M^2.$$

Or  $M$  est idempotente donc  $M^2 = M$ , *i.e.*

$$N^2 = I_n - 2M + M = I_n - M = N.$$

Ainsi j'ai bien montré que  $N^2 = N$ , *i.e.*  $N$  est idempotente.

3. a) Pour vérifier que la matrice  $C$  est idempotente, je calcule  $C^2$  :

$$C^2 = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -2 & -1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -2 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4-2 & 2-1 \\ -4+2 & -2+1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -2 & -1 \end{pmatrix} = C.$$

J'ai bien montré que  $C^2 = C$ , *i.e.*  $C$  est idempotente.

En outre, grâce à la question 2., comme la matrice  $C$  est idempotente, j'en déduis que la matrice  $D = I_2 - C$  est elle aussi idempotente.

Je calcule  $CD$  et  $DC$ . Comme  $C$  est idempotente,

$$CD = C \times (I_2 - C) = C \times I_2 - C \times C = C - C^2 = C - C = 0_2.$$

De la même manière,  $DC = C - C^2 = 0_2$ .

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

**Énoncé :** Je note  $\mathcal{P}_n$  la propriété :  $B^n = 2^n C + D$ .

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

$$B^0 = I_2 \quad \text{et} \quad 2^0 C + D = C + D = C + I_2 - C = I_2.$$

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

$$B^{n+1} = B^n \times B = (2^n C + D) \times (2C + D) = 2^{n+1} C^2 + 2^n CD + 2DC + D^2.$$

Or par idempotence  $C^2 = C$  et  $D^2 = D$ , puis grâce aux calculs de la question précédente,  $CD = DC = 0_2$ . Donc

$$B^{n+1} = 2^{n+1} C + D.$$

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

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

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad B^n = 2^n C + D.$$

Alors je peux déterminer la formule explicite de  $B^n$  :

$$B^n = 2^n \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -2 & -1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -1 & -1 \\ 2 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \times 2^n - 1 & 2^n - 1 \\ -2 \times 2^n + 2 & -2^n + 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^{n+1} - 1 & 2^n - 1 \\ -2^{n+1} + 2 & -2^n + 2 \end{pmatrix}.$$

J'ai ainsi montré que pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$B^n = \begin{pmatrix} 2^{n+1} - 1 & 2^n - 1 \\ -2^{n+1} + 2 & -2^n + 2 \end{pmatrix}.$$

c) Je calcule  $P^2$  :

$$P^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = I_2.$$

Comme  $P^2 = I_2$ , j'en déduis que la matrice  $P$  est inversible et que son inverse est  $P^{-1} = P$ .

d) Je calcule le produit  $AP$  avant de multiplier par  $P^{-1}$  :

$$AP = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 6 & -1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4-1 & 1 \\ 6-1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 5 & 1 \end{pmatrix}$$

et

$$P^{-1}AP = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 3-5 & 1-1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ -2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Je calcule aussi  $B$  pour vérifier que  $P^{-1}AP = B$  :

$$B = 2C + D = 2C + I_2 - C = C + I_2 = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -2 & -1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ -2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Ainsi j'ai bien montré que  $P^{-1}AP = B$ .

e) Comme  $P^{-1}AP = B$ , j'en déduis que

$$P \times P^{-1}AP \times P^{-1} = PBP^{-1} \iff A = PBP^{-1}.$$

Alors je raisonne par récurrence sur  $n \in \mathbb{N}$ .

**Énoncé :** Je note  $\mathcal{P}_n$  la propriété :  $A^n = PB^nP^{-1}$ .

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

$$A^0 = I_2 \quad \text{et} \quad PB^0P^{-1} = PI_2P^{-1} = PP^{-1} = I_2.$$

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

$$A^{n+1} = A^n \times A = PB^nP^{-1} \times PBP^{-1} = PB^nI_2BP^{-1} = PB^nBP^{-1} = PB^{n+1}P^{-1}.$$

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

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

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad A^n = PB^nP^{-1}.$$

f) Grâce à la question précédente, je sais que  $A^n = PB^nP^{-1}$ .

Et je connais les coefficients de la matrice  $B^n$  par la question **3.b**).

Alors

$$PB^n = \begin{pmatrix} 2^{n+1} - 1 & 2^n - 1 \\ 2^{n+1} - 1 + 2^{n+1} - 2 & 2^n - 1 + 2^n - 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^{n+1} - 1 & 2^n - 1 \\ 2^{n+2} - 3 & 2^{n+1} - 3 \end{pmatrix}$$

et

$$A^n = PB^nP^{-1} = \begin{pmatrix} 2^{n+1} - 1 + 2^n - 1 & -2^n + 1 \\ 2^{n+2} - 3 + 2^{n+1} - 3 & -2^{n+1} + 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (2+1) \times 2^n - 2 & -2^n + 1 \\ (2^2 + 2) \times 2^n - 6 & -2^{n+1} + 3 \end{pmatrix}.$$

J'ai bien montré que pour tout entier naturel  $n \in \mathbb{N}$ ,

$$A^n = \begin{pmatrix} 3 \times 2^n - 2 & -2^n + 1 \\ 6 \times 2^n - 6 & -2^{n+1} + 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \times 2^n - 2 & -2^n + 1 \\ 6 \times (2^n - 1) & -2^{n+1} + 3 \end{pmatrix}.$$

**Exercice 2 –**

1. J'étudie le signe de  $x^2 + x + 1$  pour  $x \in \mathbb{R}$ . Il s'agit d'un polynôme de degré 2. Son discriminant vaut  $\Delta = 1^2 - 4 \times 1 \times 1 = 1 - 4 = -3 < 0$ . Comme le discriminant est strictement négatif, le polynôme n'admet pas de racine et son signe est constant. Comme  $a = 1 > 0$ , j'en déduis que

$$\forall x \in \mathbb{R}, \quad x^2 + x + 1 > 0.$$

2. Je sais que  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \ln(x) = +\infty$ .

Alors comme  $\lim_{x \rightarrow +\infty} x^2 + x + 1 = \lim_{x \rightarrow +\infty} x^2 = +\infty$  et que  $\lim_{x \rightarrow -\infty} x^2 + x + 1 = \lim_{x \rightarrow -\infty} x^2 = +\infty$ , j'en déduis par composition que

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = +\infty \quad \text{et} \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = +\infty.$$

3. Je calcule  $f\left(-\frac{1}{2}\right)$ , en remplaçant  $x$  par  $-\frac{1}{2}$  dans l'expression de  $f(x)$  :

$$\begin{aligned} f\left(-\frac{1}{2}\right) &= \ln\left(\left(-\frac{1}{2}\right)^2 + \left(-\frac{1}{2}\right) + 1\right) = \ln\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{2} + 1\right) = \ln\left(\frac{3}{4}\right) \\ &= \ln(3) - \ln(4) = \ln(3) - \ln(2^2) = \ln(3) - 2\ln(2). \end{aligned}$$

Ainsi j'ai bien montré que  $f\left(-\frac{1}{2}\right) = \ln(3) - 2\ln(2)$ .

4. a) La fonction  $f$  est de la forme  $f = \ln(u)$  avec  $u(x) = x^2 + x + 1$ .  
Puisque  $u'(x) = 2x + 1$ , alors

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

- b) J'obtiens les variations de  $f$  en étudiant le signe de  $f'(x)$ . Je sais que le dénominateur est strictement positif d'après la question 1. Je cherche le signe du numérateur :

$$2x + 1 \geq 0 \iff 2x \geq -1 \iff x \geq -\frac{1}{2}.$$

Je peux donc déduire le tableau de variation de  $f$  grâce au tableau de signe de  $f'(x)$  :

$x$	$-\infty$	$-\frac{1}{2}$	$+\infty$
$2x + 1$	-	0	+
$x^2 + x + 1$	+		+
$f'(x)$	-	0	+
$f$	$+\infty$	$\ln(3) - 2\ln(2)$	$+\infty$

5. a) Je résous  $f(x) = 0$  :

$$\begin{aligned} f(x) = 0 &\iff \ln(x^2 + x + 1) = 0 \iff x^2 + x + 1 = e^0 = 1 \iff x^2 + x = 0 \\ &\iff x(x + 1) = 0 \iff x = 0 \text{ ou } x + 1 = 0 \iff x = 0 \text{ ou } x = -1. \end{aligned}$$

J'ai bien montré que les deux seules solutions de  $f(x) = 0$  sont  $-1$  et  $0$ .

- b) L'équation de la tangente à la courbe  $\mathcal{C}$  en le point d'abscisse  $a$  est donnée par la formule  $y = f'(a) \times (x - a) + f(a)$ . Ici  $a = 0$  donc l'équation de la tangente devient

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

Or  $f(0) = 0$  puisque 0 est solution de  $f(x) = 0$  et  $f'(0) = \frac{2 \times 0 + 1}{0^2 + 0 + 1} = \frac{1}{1} = 1$ .

Donc la tangente au point d'abscisse 0 a pour équation

$$y = 1 \times (x - 0) + 0, \quad \text{i.e.} \quad y = x.$$

De la même manière, pour  $a = -1$ , l'équation de la tangente devient

$$y = f'(-1) \times (x - (-1)) + f(-1).$$

Or  $f(-1) = 0$  puisque  $-1$  est solution de  $f(x) = 0$  et  $f'(-1) = \frac{-2 + 1}{1 - 1 + 1} = \frac{-1}{1} = -1$ .

Donc la tangente au point d'abscisse  $-1$  a pour équation

$$y = -1 \times (x + 1) + 0, \quad \text{i.e.} \quad y = -x - 1.$$

6. a) Je dérive de nouveau  $f'$  pour obtenir  $f''$ . La fonction  $f'$  est donnée sous la forme d'un quotient  $f' = \frac{u}{v}$ , avec  $u(x) = 2x + 1$  et  $v(x) = x^2 + x + 1$ . Puisque  $u'(x) = 2$  et  $v'(x) = 2x + 1$ , alors

$$f''(x) = \frac{2(x^2 + x + 1) - (2x + 1)(2x + 1)}{(x^2 + x + 1)^2} = \frac{2x^2 + 2x + 2 - (4x^2 + 4x + 1)}{(x^2 + x + 1)^2} = \frac{-2x^2 - 2x + 1}{(x^2 + x + 1)^2}.$$

Ainsi j'ai bien montré que

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

- b) Pour étudier la convexité de  $f$ , j'étudie le signe de  $f''(x)$ . Pour commencer, je remarque que le dénominateur est toujours positif. Alors le signe de  $f''(x)$  est donné par celui de  $-2x^2 - 2x + 1$ . Je cherche donc le signe de ce polynôme de degré 2.

Son discriminant vaut  $\Delta = (-2)^2 - 4 \times (-2) \times 1 = 4 + 8 = 12 > 0$ .

Il y a donc deux racines et comme  $\sqrt{12} = \sqrt{4 \times 3} = \sqrt{4} \times \sqrt{3} = 2\sqrt{3}$ , alors

$$x_1 = \frac{-(-2) - \sqrt{12}}{2 \times (-2)} = \frac{2 - 2\sqrt{3}}{-4} = \frac{-1 + \sqrt{3}}{2} \quad \text{et} \quad x_2 = \frac{-(-2) + \sqrt{12}}{2 \times (-2)} = \frac{-1 - \sqrt{3}}{2}.$$

Je déduis alors le tableau de signe de  $-2x^2 - 2x + 1$ , qui est aussi celui de  $f''(x)$ :

$x$	$-\infty$	$\frac{-1 - \sqrt{3}}{2}$	$\frac{-1 + \sqrt{3}}{2}$	$+\infty$		
$f''(x)$		-	0	+	0	-

Je peux alors déduire que la fonction  $f$  est convexe sur l'intervalle  $\left[ \frac{-1 - \sqrt{3}}{2}, \frac{-1 + \sqrt{3}}{2} \right]$  car  $f''(x)$  y est positif et concave sur les intervalles  $\left] -\infty, \frac{-1 - \sqrt{3}}{2} \right]$  et  $\left[ \frac{-1 + \sqrt{3}}{2}, +\infty \right[$ .

Cela m'amène bien à deux points d'inflexion, points où la convexité change,

le premier d'abscisse  $\frac{-1 - \sqrt{3}}{2}$  et le second d'abscisse  $\frac{-1 + \sqrt{3}}{2}$ .

7. a) Le fonction  $f$  est continue (car dérivable) et strictement croissante (d'après la question 4.b) sur l'intervalle  $[0, +\infty[$ . J'ai aussi montré que  $f(0) = 0$  et que la limite de  $f(x)$  en  $+\infty$  est  $+\infty$ . Ainsi comme  $1 \in [0, +\infty[$ , par le théorème des valeurs intermédiaires, je peux déduire qu'il existe une unique solution, notée  $\alpha$ , de l'équation  $f(x) = 1$ .

b) Je calcule  $f(0)$  et  $f(1)$  :  $f(0) = 0$  et  $f(1) = \ln(1 + 1 + 1) = \ln(3) \approx 1.1$ .

Comme  $f(\alpha) = 1$ , que  $f(0) \leq 1 \leq f(1)$  et que  $f$  est croissante, j'en déduis que  $0 \leq \alpha \leq 1$ . J'ai bien montré que

$$\alpha \in [0, 1].$$

c) Comme  $\alpha$  est solution de  $f(x) = 1$ , je sais que  $\ln(\alpha^2 + \alpha + 1) = 1$ . Alors

$$f(-1 - \alpha) = \ln((-1 - \alpha)^2 + (-1 - \alpha) + 1) = \ln(\alpha^2 + 2\alpha + 1 - 1 - \alpha + 1) = \ln(\alpha^2 + \alpha + 1) = 1.$$

Ainsi j'ai bien montré que

$$f(-1 - \alpha) = 1.$$

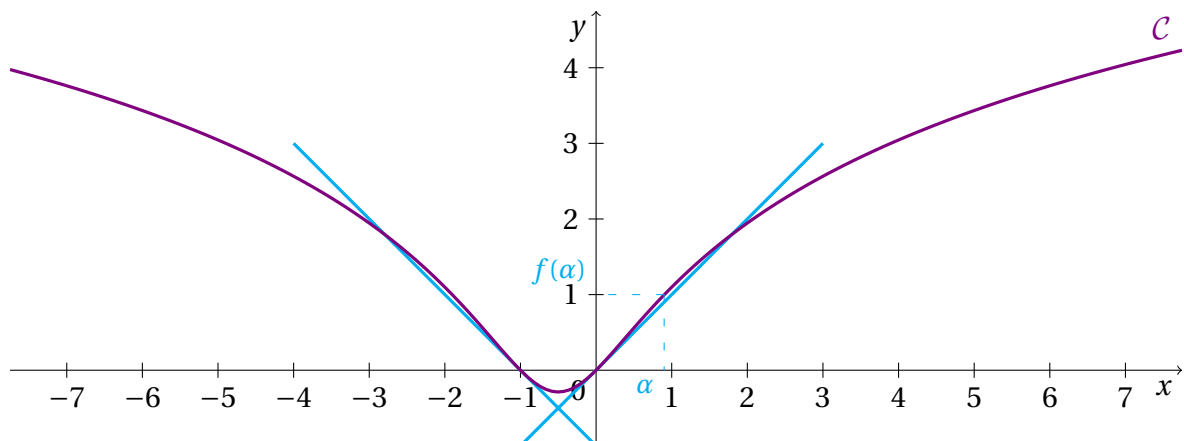
d) Voici le script complété.

```

1. function y=f(x)
2.     y=log(x^2+x+1)
3. endfunction
4. a=0, b=1
5. while b-a>10^(-3)
6.     c=(a+b)/2
7.     if f(c)<1 then a=c
8.         else b=c
9.     end
10. end
11. disp(a)

```

8. Voici l'allure de la courbe  $\mathcal{C}$  et de ses tangentes.



**Exercice 3 –**

1. a) La probabilité  $a_2$  est la probabilité de l'événement  $A_2$ , à savoir que le joueur tire vers la cible A. Or s'il tire de nouveau vers la cible A, c'est qu'il n'a pas réussi à atteindre le secteur 1 la première fois. Comme il n'y a que deux secteurs sur la cible A, alors

$$a_2 = P(A_2) = \frac{1}{2}.$$

De la même manière,  $b_2$  est la probabilité de l'événement  $B_2$ , à savoir que le joueur tire vers la cible B. Or s'il tire cette fois vers la cible B, c'est qu'il a réussi à atteindre le secteur 1 la première fois sur la cible A. Comme il n'y a que deux secteurs sur cette cible, alors

$$b_2 = P(B_2) = \frac{1}{2}.$$

- b) Le deuxième lancer ne pouvant se faire que sur l'une des deux cibles A ou B,  $\{A_2, B_2\}$  forme un système complet d'événements et par la formule des probabilités totales,

$$\begin{aligned} b_3 = P(B_3) &= P(A_2 \cap B_3) + P(B_2 \cap B_3) = P(A_2) \times P_{A_2}(B_3) + P(B_2) \times P_{B_2}(B_3) \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{1}{4} + \frac{3}{8} = \frac{5}{8}. \end{aligned}$$

Ainsi j'ai bien montré que

$$b_3 = \frac{5}{8}.$$

2. Je raisonne de manière similaire à la question précédente.

Si le joueur effectue un  $(n+1)$ -ième lancer, alors le  $n$ -ième lancer a été tiré ou bien sur la cible A, ou bien sur la cible B. Donc  $\{A_n, B_n\}$  forme un système complet d'événements et par la formule des probabilités totales,

$$\begin{aligned} a_{n+1} = P(A_{n+1}) &= P(A_n \cap A_{n+1}) + P(B_n \cap A_{n+1}) = P(A_n) \times P_{A_n}(A_{n+1}) + P(B_n) \times P_{B_n}(A_{n+1}) \\ &= a_n \times \frac{1}{2} + b_n \times 0 = \frac{1}{2} a_n \end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned} b_{n+1} = P(B_{n+1}) &= P(A_n \cap B_{n+1}) + P(B_n \cap B_{n+1}) = P(A_n) \times P_{A_n}(B_{n+1}) + P(B_n) \times P_{B_n}(B_{n+1}) \\ &= a_n \times \frac{1}{2} + b_n \times \frac{3}{4} = \frac{1}{2} a_n + \frac{3}{4} b_n. \end{aligned}$$

Ainsi j'ai bien montré que

$$\forall n \geq 1, \quad a_{n+1} = \frac{1}{2} a_n \quad \text{et} \quad b_{n+1} = \frac{3}{4} b_n + \frac{1}{2} a_n.$$

3. a) Voici le script complété.

```
1. n=input('n ?')
2. a=1, b=0
3. for i=2:n
4.     b=b*3/4+a/2
5.     a=a/2
6. end
7. disp(b,a)
```

b) Si les lignes 4. et 5. se retrouvent échangées, la variable  $a$  est mise à jour en premier et contient la valeur  $a_i$  au moment de mettre à jour la variable  $b$  par la valeur  $b_i$ .

C'est un problème puisque  $b_i$  dépend de  $a_{i-1}$  et non pas de  $a_i$ .

4. Je sais que  $a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n$  donc la suite  $(a_n)$  est une suite géométrique de raison  $q = \frac{1}{2}$ .

Son premier terme est  $a_1 = 1$  et je peux donner sa forme explicite : pour tout  $n \geq 1$ ,

$$a_n = a_1 \times q^{n-1} = 1 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}.$$

J'ai bien montré que

$$\forall n \geq 1, \quad a_n = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}.$$

5. a) Comme  $v_n = 2^{n-1}b_n + 2$ , je sais que

$$v_1 = 2^{1-1}b_1 + 2 = 1 \times b_1 + 2 = 1 \times 0 + 2 = 2.$$

Aussi pour tout  $n \geq 1$ , en me servant des questions précédentes et du fait que

$$v_n = 2^{n-1}b_n + 2 \iff v_n - 2 = 2^{n-1}b_n \iff \frac{v_n - 2}{2^{n-1}} = b_n,$$

alors je peux montrer que

$$\begin{aligned} v_{n+1} &= 2^{n+1-1}b_{n+1} + 2 = 2^n \left( \frac{3}{4}b_n + \frac{1}{2}a_n \right) + 2 \\ &= \frac{3 \times 2^n}{4}b_n + \frac{2^n}{2}a_n + 2 = \frac{3 \times 2^n}{4} \times \frac{v_n - 2}{2^{n-1}} + \frac{2^n}{2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} + 2 \\ &= \frac{3 \times 2 \times (v_n - 2)}{4} + \frac{2}{2} + 2 = \frac{3(v_n - 2)}{2} + 1 + 2 \\ &= \frac{3}{2}v_n - 3 + 3 = \frac{3}{2}v_n. \end{aligned}$$

J'ai bien montré que

$$v_1 = 2 \quad \text{et} \quad \forall n \geq 1, \quad v_{n+1} = \frac{3}{2}v_n.$$

b) Je reconnais en  $(v_n)_{n \geq 1}$  une suite géométrique, de raison  $q = \frac{3}{2}$  et de premier terme  $v_1 = 2$ . Je peux alors donner sa forme explicite : pour tout  $n \geq 1$ ,

$$v_n = v_1 \times q^{n-1} = 2 \times \left(\frac{3}{2}\right)^{n-1} = 2 \times \left(\frac{3}{2}\right)^{n-1}.$$

J'ai montré que

$$\forall n \geq 1, \quad v_n = 2 \times \left(\frac{3}{2}\right)^{n-1}.$$

c) Grâce aux questions précédentes, je sais que  $b_n = \frac{v_n - 2}{2^{n-1}}$  et  $v_n = 2 \left(\frac{3}{2}\right)^{n-1}$ .

Alors il me suffit de combiner ces deux expressions pour obtenir que pour tout  $n \geq 1$ ,

$$b_n = \frac{v_n - 2}{2^{n-1}} = \frac{2 \left(\frac{3}{2}\right)^{n-1} - 2}{2^{n-1}} = \frac{2}{2^{n-1}} \times \frac{3^{n-1}}{2^{n-1}} - \frac{2}{2^{n-1}} = 2 \times \frac{3^{n-1}}{4^{n-1}} - \frac{2}{2^{n-1}}.$$

J'ai ainsi bien montré que

$$\forall n \geq 1, \quad b_n = 2 \times \frac{3^{n-1}}{4^{n-1}} - \frac{2}{2^{n-1}}.$$

6. Voici le script complété.

```

1. cible="a"
2. n=1
3. while cible<>"c"
4.     n=n+1
5.     if cible=="a" then
6.         secteur=grand(1,1,'uin',1,2)
7.         if secteur==1 then cible="b"
8.     end
9.     else
10.        if cible=="b" then
11.            secteur=grand(1,1,'uin',1,4)
12.            if secteur==1 then cible="c"
13.        end
14.    end
15. end
16. end
17. disp(n)

```

7. a) Si le joueur se décourage au bout de deux lancers, la seule façon pour que celui-ci gagne un lot est qu'il arrive à la cible C en deux lancers, c'est-à-dire qu'il atteigne le secteur 1 de la cible A au premier lancer, puis le secteur 1 de la cible B au deuxième lancer.

La probabilité ainsi obtenue est  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$ .

J'ai bien montré que la probabilité pour un joueur donné de gagner un lot est de  $\frac{1}{8}$ .

- b) Les 20 joueurs représentent  $n = 20$  répétitions d'une même épreuve de Bernoulli de succès "Le joueur gagne un lot", de probabilité  $p = \frac{1}{8}$ . Ces répétitions sont identiques et indépendantes et la variable aléatoire  $Y$  compte le nombre de succès.

La variable aléatoire  $Y$  suit donc une loi binomiale de paramètres  $n = 20$  et  $p = \frac{1}{8}$ .

Le support de  $Y$  est donné par  $Y(\Omega) = \llbracket 0, 20 \rrbracket$  et pour tout  $k \in \llbracket 0, 20 \rrbracket$ ,

$$P(Y = k) = \binom{n}{k} \times p^k \times (1-p)^{n-k} = \binom{20}{k} \times \frac{1}{8^k} \times \left(\frac{7}{8}\right)^{20-k}.$$

- c) Comme  $Y$  suit une loi binomiale, alors

$$E(Y) = np = 20 \times \frac{1}{8} = \frac{5}{2} \quad \text{et} \quad V(Y) = np(1-p) = \frac{5}{2} \times \frac{7}{8} = \frac{35}{16}.$$

- d) La variable aléatoire  $Y$  compte le nombre de succès des joueurs, qui coûtent au forain 5€ de lot mais lui rapporte trois fois 1€ par fléchette lancée, soit un gain algébrique de  $-2€$ . Cela laisse  $(20 - Y)$  échecs qui eux rapportent au forain 2€. En additionnant tout cela, le gain total du forain est donné par

$$G = -2 \times Y + 2 \times (20 - Y) = 2(20 - Y) - 2Y.$$

Finalement, le gain moyen du forain correspond à l'espérance de  $G$ , *i.e.* par linéarité,

$$E(G) = E(2(20 - Y) - 2Y) = 2(20 - E(Y)) - 2E(Y) = 2\left(20 - \frac{5}{2}\right) - 2 \times \frac{5}{2} = 40 - 5 - 5 = 30.$$

Le forain gagne donc en moyenne 30€ pour 20 joueurs.

**Exercice 4 –**

1. a) La fonction  $f$  est définie en deux morceaux. Sur l'intervalle  $] -\infty, 0[$ ,  $f(t) = 0 \geq 0$  donc la fonction  $f$  est positive. Et sur l'intervalle  $[0, +\infty[$ ,  $f(t) = e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t}$ . Comme  $t \geq 0$ , alors  $-t \leq \frac{t}{2}$  et par croissance de la fonction exponentielle  $e^{-t} \leq e^{-\frac{t}{2}}$ , donc  $f(t) \geq 0$ . Finalement la fonction  $f$  est positive sur  $\mathbb{R}$ .

b) Sur l'intervalle  $] -\infty, 0[$ ,  $f(t) = 0$  donc la fonction  $f$  est continue car constante. Sur l'intervalle  $[0, +\infty[$ ,  $f(t) = e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t}$  donc la fonction  $f$  est continue comme somme de fonctions continues. Il ne me reste plus qu'à étudier la continuité en  $t = 0$  :

$$\lim_{t \rightarrow 0^-} f(t) = \lim_{t \rightarrow 0^-} 0 = 0 \quad \text{et} \quad \lim_{t \rightarrow 0^+} f(t) = \lim_{t \rightarrow 0^+} e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t} = e^{-\frac{0}{2}} - e^{-0} = 1 - 1 = 0.$$

Comme la limite à gauche de  $f$  en 0 est égale à la limite à droite de  $f$  en 0, j'en déduis que la fonction  $f$  est continue en 0.

En conclusion, la fonction  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$ .

c) Par définition, l'intégrale généralisée  $\int_0^{+\infty} e^{-at} dt$  converge si et seulement si la limite

$\lim_{X \rightarrow +\infty} \int_0^X e^{-at} dt$  existe et est finie.

Soit  $X \geq 0$ . Je cherche à calculer  $\int_0^X e^{-at} dt$ . Je commence par remarquer qu'une primitive de  $g(t) = e^{-at}$  est donnée par  $G(t) = -\frac{1}{a}e^{-at}$ . Donc

$$\int_0^X e^{-at} dt = \left[ -\frac{1}{a}e^{-at} \right]_0^X = -\frac{1}{a}e^{-aX} + \frac{1}{a}e^{-a \times 0} = \frac{1}{a} - \frac{1}{a}e^{-aX}.$$

Il me reste à étudier la limite de cette quantité lorsque  $X$  tend vers  $+\infty$ . Comme  $a > 0$ ,

$$\lim_{X \rightarrow +\infty} -aX = -\infty \quad \text{et} \quad \lim_{X \rightarrow +\infty} e^{-aX} = 0.$$

Je peux alors déduire que  $\lim_{X \rightarrow +\infty} \int_0^X e^{-at} dt = \frac{1}{a} - \frac{1}{a} \times 0 = \frac{1}{a}$ ,

ce qui indique que l'intégrale généralisée  $\int_0^{+\infty} e^{-at} dt$  converge et vaut

$$\int_0^{+\infty} e^{-at} dt = \frac{1}{a}.$$

d) Je sais déjà que  $f$  est positive et continue sur  $\mathbb{R}$ . Il me reste à montrer que l'intégrale généralisée  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt$  converge et vaut 1. Je décompose, grâce à la relation de Chasles :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = \int_{-\infty}^0 f(t) dt + \int_0^{+\infty} f(t) dt = \int_{-\infty}^0 0 dt + \int_0^{+\infty} e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t} dt.$$

Je sais que  $\int_{-\infty}^0 0 dt$  converge et vaut 0 car la fonction sous l'intégrale est nulle.

Grâce à la question précédente, appliquée pour  $a = 1$  et  $a = \frac{1}{2}$ , je sais aussi que les deux intégrales suivantes convergent et je connais leurs valeurs :

$$\int_0^{+\infty} e^{-t} dt = \frac{1}{1} = 1 \quad \text{et} \quad \int_0^{+\infty} e^{-\frac{t}{2}} dt = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2.$$

Donc par linéarité,  $\int_0^{+\infty} e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t} dt$  converge et vaut

$$\int_0^{+\infty} e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t} dt = \int_0^{+\infty} e^{-\frac{t}{2}} dt - \int_0^{+\infty} e^{-t} dt = 2 - 1 = 1.$$

Finalement la fonction  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$ , positive sur  $\mathbb{R}$  et vérifie

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = \int_{-\infty}^0 0 dt + \int_0^{+\infty} e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t} dt = 0 + 1 = 1.$$

Donc je peux conclure que  $f$  est une densité de probabilité.

2. a) La fonction de répartition  $F$  de  $X$  est donnée par  $F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$ .

Alors pour  $x < 0$ ,  $F(x) = \int_{-\infty}^x 0 dt = 0$ .

b) Pour  $x \geq 0$ , la fonction de répartition devient

$$\begin{aligned} F(x) &= \int_{-\infty}^0 0 dt + \int_0^x e^{-\frac{t}{2}} - e^{-t} dt = \int_0^x e^{-\frac{t}{2}} dt - \int_0^x e^{-t} dt \\ &= \left[ -2e^{-\frac{t}{2}} \right]_0^x - \left[ -e^{-t} \right]_0^x = -2e^{-\frac{x}{2}} + 2e^{-\frac{0}{2}} + e^{-x} - e^{-0} \\ &= -2e^{-\frac{x}{2}} + 2 + e^{-x} - 1 = -2e^{-\frac{x}{2}} + e^{-x} + 1 \end{aligned}$$

J'ai bien montré que pour tout  $x \geq 0$ ,

$$F(x) = 1 - 2e^{-\frac{x}{2}} + e^{-x}.$$

3. a) Comme la variable aléatoire  $Y$  suit une loi exponentielle de paramètre  $a$ , je sais qu'une densité est donnée par

$$f_Y(t) = \begin{cases} ae^{-at} & \text{si } t \geq 0, \\ 0 & \text{si } t < 0. \end{cases}$$

Aussi son espérance est donnée par

$$E(Y) = \frac{1}{a}.$$

b) D'après la définition de l'espérance d'une variable aléatoire à densité, je sais que

$$E(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} t f_Y(t) dt = \int_0^{+\infty} t a e^{-at} dt.$$

En combinant les deux précédentes équations, j'obtiens que

$$\int_0^{+\infty} t a e^{-at} dt = \frac{1}{a}.$$

Alors en divisant des deux côtés par  $a$  non nul, j'obtiens que l'intégrale généralisée

$\int_0^{+\infty} t e^{-at} dt$  converge et vaut

$$\int_0^{+\infty} t e^{-at} dt = \frac{1}{a^2}.$$

c) La variable aléatoire  $X$  admet une espérance si et seulement si l'intégrale généralisée  $\int_{-\infty}^{+\infty} tf(t) dt$  converge. Or sous réserve de convergence,

$$\begin{aligned}\int_{-\infty}^{+\infty} tf(t) dt &= \int_{-\infty}^0 t \times 0 dt + \int_0^{+\infty} t \times f(t) dt = \int_0^{+\infty} te^{-\frac{t}{2}} - te^{-t} dt \\ &= \int_0^{+\infty} te^{-\frac{t}{2}} dt - \int_0^{+\infty} te^{-t} dt.\end{aligned}$$

Et comme les deux intégrales impliquées convergent (il suffit d'appliquer le résultat de la question précedente en  $a = 1$  et  $a = \frac{1}{2}$ ), j'en déduis que l'intégrale généralisée

$\int_{-\infty}^{+\infty} tf(t) dt$  converge et donc que la variable aléatoire  $X$  admet une espérance.

De plus

$$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} tf(t) dt = \int_0^{+\infty} te^{-\frac{t}{2}} dt - \int_0^{+\infty} te^{-t} dt = \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} - \frac{1}{1^2} = \frac{1}{\frac{1}{4}} - \frac{1}{1} = 4 - 1 = 3.$$

J'ai bien montré que l'espérance de  $X$  vaut  $E(X) = 3$ .