

## EXERCICES — CHAPITRE 1

**Exercice 1** (★★) – On considère les matrices  $A = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 5 \end{pmatrix}$  et  $B = \begin{pmatrix} 2 & 2 \\ 0 & 4 \end{pmatrix}$ .

Calculer les matrices  $A+B$ ,  $2A-B$ ,  $AB$  et  $BA$ .

**Exercice 2** (★★) – On considère la matrice  $X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ .

Calculer les matrices  $X-2I_3$ ,  $-(X-2I_3)$ ,  $I_3-2X$  et  $4(I_3-X)$ .

**Exercice 3** (★★) – On considère les matrices  $A = \begin{pmatrix} 4 & 8 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$  et  $B = \begin{pmatrix} 3 & 9 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ .

Calculer et comparer  $A^2+2AB+B^2$  et  $(A+B)^2$ .

**Exercice 4** (★★) – Effectuer les produits suivants lorsque c'est possible. Dans ce cas, donner la dimension de la matrice produit, sinon expliquer pourquoi c'est impossible.

$$1. \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 3 & 6 \\ 4 & 7 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 4 & 6 \end{pmatrix}$$

$$4. \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 4 & 6 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 3 & 6 \\ 4 & 7 \end{pmatrix}$$

$$2. \begin{pmatrix} -1 & 4 & 5 \\ 2 & 4 & -2 \\ 3 & 5 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & -1 & 6 \\ 2 & 4 & -2 \\ 3 & 5 & 3 \end{pmatrix}$$

$$5. \begin{pmatrix} 2 & 5 & 0 \\ 3 & 6 & 3 \\ 4 & 1 & 2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 2 & 0 \\ 3 & 5 \end{pmatrix}$$

$$3. \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 2 & 0 \\ 3 & 5 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 3 & 6 \\ 4 & 1 \end{pmatrix}$$

$$6. \begin{pmatrix} 1 & 0 & 5 \\ 2 & -1 & 6 \\ 3 & 4 & 7 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2 & 7 & 8 \\ 0 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}$$

**Exercice 5** (★★) – Calculer les produits suivants.

$$1. \begin{pmatrix} -2 & -1 \\ 0 & 1 \\ 2 & 3 \\ 4 & 5 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3 \\ 5 \end{pmatrix}$$

$$3. \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ -2 & 2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 5 & 7 \end{pmatrix}$$

$$2. \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 5 & 7 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ -2 & 2 \end{pmatrix}$$

$$4. \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 2 & 6 \\ 3 & 7 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -2 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$$

**Exercice 6** (★★★) – On considère la matrice  $A$  définie par  $A = \begin{pmatrix} x & 1 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$  où  $x$  est un réel.

Déterminer  $x \in \mathbb{R}$  pour que  $A^2 = \begin{pmatrix} 6 & 1 \\ 2 & 11 \end{pmatrix}$ .

**Exercice 7** (★★★) –

1. On considère trois réels  $x$ ,  $y$  et  $z$ , et les matrices

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 3 & -2 \\ -4 & 5 & -1 \\ -2 & 0 & 3 \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad U = \begin{pmatrix} 5 \\ 7 \\ -2 \end{pmatrix}.$$

À quel système d'équations l'égalité matricielle  $AX = U$  est-elle équivalente?

2. On considère le système suivant.

$$\begin{cases} 2x - y + 3z = -1 \\ -5x + y = 3 \\ x + y - z = 4 \end{cases}$$

À quelle égalité matricielle le système est-il équivalent?

3. On considère les matrices  $A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 3 & 2 & 1 \\ 0 & 3 & 5 \end{pmatrix}$  et  $B = \begin{pmatrix} -7 & 5 & -1 \\ 15 & -10 & 2 \\ -9 & 6 & -1 \end{pmatrix}$ .

(a) Calculer  $AB$  et  $BA$ .

(b) Montrer que pour toutes matrices  $U$  et  $V$  de  $\mathcal{M}_{3,1}(\mathbb{R})$ , on a l'équivalence

$$AU = V \iff U = BV.$$

*Indication : Raisonner par double implication.*

(c) Résoudre le système suivant.

$$\begin{cases} 2x + y = 2 \\ 3x + 2y + z = 1 \\ 3y + 5z = 3 \end{cases}$$

**Exercice 8** (★★★) – Résoudre les équations suivantes, d'inconnue  $X \in \mathcal{M}_{3,1}(\mathbb{R})$ .

1.  $AX = B$ , avec  $A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{pmatrix}$  et  $B = \begin{pmatrix} 7 \\ -9 \\ 0 \end{pmatrix}$ .

2.  $AX = B$ , avec  $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 3 \\ 1 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}$  et  $B = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ .

3.  $AX = 3X$ , avec  $A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 2 & 2 & 5 \end{pmatrix}$ .

**Exercice 9** (★★★) – Dans chacun des cas, calculer  $A^2$ ,  $A^3$ ,  $A^4$  puis  $A^n$  pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$ .

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

**Exercice 10** (★★★) – On considère les trois matrices suivantes :

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad Q = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

1. Calculer  $P \times Q$  et  $Q \times P$ .
2. Vérifier que  $QAP = D$ , avec  $D = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ .
3. Montrer que  $A = PDQ$ .
4. Montrer par récurrence que  $\forall n \in \mathbb{N}$ ,  $A^n = PD^nQ$ .
5. Calculer  $A^n$ .

**Exercice 11** (★★★) – On considère les trois matrices suivantes :

$$A = \begin{pmatrix} \frac{8}{10} & \frac{1}{10} \\ \frac{2}{10} & \frac{9}{10} \end{pmatrix}, \quad P = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad Q = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \end{pmatrix}$$

1. Calculer  $P \times Q$  et  $Q \times P$ .
2. Vérifier que  $D = QAP$  est une matrice diagonale que l'on précisera.
3. Montrer que  $A = PDQ$ .
4. Montrer que pour tout entier  $n \in \mathbb{N}$ ,  $A^n = PD^nQ$ .
5. En déduire l'expression de  $A^n$  en fonction de  $n$ .

**Exercice 12** (★★★) – On considère les matrices  $A = \begin{pmatrix} 6 & 4 & 0 \\ -4 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$  et  $B = A - 2I_3$ .

1. Calculer  $B$  et  $B^2$ .
2. Rappeler la formule du binôme de Newton.
3. Montrer que  $\forall n \in \mathbb{N}$ ,  $A^n = 2^n I_3 + n2^{n-1}B$ .

**Exercice 13** (★★★) – On considère la matrice  $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & 4 & 3 \end{pmatrix}$ .

1. (a) Déterminer la matrice  $J$  telle que  $A = I_3 + J$ .  
(b) Calculer  $J^2$  et  $J^3$  puis démontrer que pour tout entier  $n \geq 3$ ,  $J^n = 0_3$ .
2. En utilisant la formule du binôme de Newton, montrer que pour tout entier  $n \geq 3$ ,

$$A^n = I_3 + nJ + \frac{n(n-1)}{2}J^2.$$

3. En déduire l'expression de  $A^n$  pour tout entier  $n \geq 3$ .

**Exercice 14** (★★★) – On considère les suites réelles  $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$  et  $(v_n)_{n \in \mathbb{N}}$  définies par leurs premiers termes  $u_0 \in \mathbb{R}$  et  $v_0 \in \mathbb{R}$  et les relations de récurrence

$$\forall n \in \mathbb{N}, \quad u_{n+1} = 4u_n - v_n \quad \text{et} \quad v_{n+1} = u_n + 2v_n.$$

1. Déterminer la matrice  $A \in \mathcal{M}_2(\mathbb{R})$  telle que  $\forall n \in \mathbb{N}$ ,  $\begin{pmatrix} u_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} = A \times \begin{pmatrix} u_n \\ v_n \end{pmatrix}$ .
2. Montrer que  $A$  s'écrit sous la forme  $A = 3I_2 + J$ , où  $J$  est une matrice à déterminer.
3. Vérifier que  $J^2 = 0_2$ , puis à l'aide de la formule du binôme de Newton, en déduire l'expression de  $A^n$  pour tout  $n \in \mathbb{N}$ .
4. Montrer que pour tout entier naturel  $n \in \mathbb{N}$ ,  $\begin{pmatrix} u_n \\ v_n \end{pmatrix} = A^n \begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix}$ .
5. En déduire les expressions de  $u_n$  et  $v_n$  en fonction de  $n$ ,  $u_0$  et  $v_0$ .

**Exercice 15** (★★★) – [ERICOME 2015 / Ex1]

**Partie I : Calcul matriciel**

On considère les trois matrices :

$$M = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} \end{pmatrix}, \quad Q = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad D = QMQ.$$

1. Calculer  $Q \times Q$ .
2. Calculer  $D$ . (On vérifiera que  $D$  est une matrice diagonale.)  
Justifier que  $M = QDQ$ .
3. Démontrer par récurrence que  $\forall n \in \mathbb{N}$ ,  $M^n = QD^nQ$ .
4. Expliciter les neuf coefficients de la matrice  $M^n$ .

### Partie II : Étude d'une expérience

On dispose de deux pièces de monnaie équilibrées, c'est-à-dire que la probabilité d'obtenir PILE en lançant l'une des deux pièces vaut  $\frac{1}{2}$ .

On effectue des lancers selon le protocole suivant :

- à l'étape 1, on lance les deux pièces,
- à l'étape 2, on lance les pièces ayant amené PILE à l'étape 1 (s'il en existe),
- à l'étape 3, on lance les pièces ayant amené PILE à l'étape 2 (s'il en existe),

et ainsi de suite. On suppose que les lancers successifs éventuels d'une même pièce sont indépendants et que les deux pièces sont indépendantes l'une de l'autre.

On considère, pour tout entier naturel  $n$  non nul, les événements

- $A_n$  : "obtenir 0 fois PILE à l'étape  $n$ ",
- $B_n$  : "obtenir 1 fois PILE à l'étape  $n$ ",
- $C_n$  : "obtenir 2 fois PILE à l'étape  $n$ ",

et on note  $a_n = P(A_n)$ ,  $b_n = P(B_n)$  et  $c_n = P(C_n)$ .

1. Calculer  $a_1$ ,  $b_1$  et  $c_1$ .

2. Soit  $n$  un entier naturel non nul.

Calculer les trois probabilités conditionnelles  $P_{A_n}(A_{n+1})$ ,  $P_{B_n}(A_{n+1})$  et  $P_{C_n}(A_{n+1})$ .

(Un argumentaire est attendu pour expliquer les valeurs de chacune de ces probabilités.)

3. À l'aide de la formule des probabilités totales, prouver que pour tout entier  $n \geq 1$ ,

$$\begin{cases} a_{n+1} = a_n + \frac{1}{2}b_n + \frac{1}{4}c_n \\ b_{n+1} = \frac{1}{2}b_n + \frac{1}{2}c_n \\ c_{n+1} = \frac{1}{4}c_n \end{cases}$$

4. (a) Vérifier que pour tout entier  $n \geq 1$ ,  $\begin{pmatrix} a_{n+1} \\ b_{n+1} \\ c_{n+1} \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \\ c_n \end{pmatrix}$

où la matrice  $M$  est celle définie dans la Partie I.

(b) Démontrer par récurrence que pour tout  $n \geq 1$ ,  $\begin{pmatrix} a_n \\ b_n \\ c_n \end{pmatrix} = M^{n-1} \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{pmatrix}$ .

5. (a) En déduire que

$$\forall n \geq 1, \quad P(A_n) = 1 - \frac{2}{2^n} + \frac{1}{4^n}, \quad P(B_n) = \frac{2}{2^n} - \frac{2}{4^n} \quad \text{et} \quad P(C_n) = \frac{1}{4^n}.$$

(b) Vérifier que la somme de ces trois probabilités est égale à 1 et donner la limite de chacune d'elles.