

(★) **Exercice 1** Diagonaliser $M = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$.

(★) **Exercice 2** Montrer sans calcul que $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ n'est pas diagonalisable.

(★) **Exercice 3**

Sans calculer les valeurs propres de $B = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 5 \\ 3 & 5 & -5 \end{pmatrix}$, montrer que B admet au moins une valeur propre strictement positive et au moins une valeur propre strictement négative.

(★) **Exercice 4** $M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$. Donner les éléments propres de M (valeurs propres et espaces propres) vue comme matrice de $\mathcal{M}_3(\mathbb{C})$.

(★) **Exercice 5** Sans gros calculs, trouver les valeurs propres de $M = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}$.

(★★) **Exercice 6** Déterminer les valeurs propres des matrices suivantes :

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad A_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

(★) **Exercice 7** On note $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$.

1. A est-elle diagonalisable ?
2. Donner les valeurs propres de A .
3. Donner les sous-espaces propres de A .
4. En déduire une matrice $D \in \mathcal{M}_3(\mathbb{R})$, à coefficients diagonaux rangés dans l'ordre croissant, et une matrice inversible $P \in \mathcal{M}_3(\mathbb{R})$, à coefficients diagonaux tous égaux à 1, telles que $A = PDP^{-1}$, et calculer P^{-1} .

(★) **Exercice 8** Vrai ou Faux ? Démontrez vos réponses. A est une matrice d'ordre n .

1. Si A est diagonalisable, alors A^2 l'est aussi.	Vrai	☐
	Faux	☐
2. Si A^2 est diagonalisable, alors A l'est aussi.	Vrai	☐
	Faux	☐
3. A admet un nombre fini de vecteurs propres.	Vrai	☐
	Faux	☐

(★) **Exercice 9** Soit $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$. Démontrer que A et $A^\top$ ont les mêmes valeurs propres.

(★) **Exercice 10** Soit $M \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$.

1. Donner les valeurs propres de $6M$ en fonction des valeurs propres de M .
 2. Plus généralement, pour a et b réels, donner les valeurs propres de $A = aM + bI$ en fonction des valeurs propres de M .
-

(★★) **Exercice 11** Soit A une matrice vérifiant :
$$\begin{cases} \forall (i, j) \in \llbracket 1, n \rrbracket^2, & a_{i,j} \in [0, 1] \\ \forall i \in \llbracket 1, n \rrbracket, & \sum_{j=1}^n a_{i,j} = 1 \end{cases}$$

1. Montrer que 1 est valeur propre de A .
 2. Soit λ une valeur propre de A . Montrer que $|\lambda| \leq 1$.
-

(★) **Exercice 12** Les matrices $A = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$ et $B = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 5 & 6 \end{pmatrix}$ sont-elles semblables ?

(★) **Exercice 13** Soit $n \geq 2$. On considère une matrice $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ de rang 1. Montrer que $A + I_n$ ou $A - I_n$ est inversible.

(★★) **Exercice 14** Soient A et B deux matrices de $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

1. Montrer que si λ est une valeur propre non nulle de AB , alors λ est une valeur propre non nulle de BA .
 2. On suppose que 0 est valeur propre de AB . On introduit les endomorphismes f et g de $\mathbb{K}^n$ canoniquement associés à A et B .
 - (a) Montrer que $f \circ g$ n'est pas bijectif.
 - (b) On raisonne par l'absurde en supposant que 0 n'est pas valeur propre de BA . Que dire de $g \circ f$? Montrer que g est surjectif et que f est injectif. Montrer que $f \circ g$ est bijectif. Conclure.
 3. Quel résultat a été finalement montré dans cet exercice ?
-

(★★) **Exercice 15** Pour $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$, on pose $\|A\| = \sup_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{i,j}|$. Montrer que $\text{Sp}(A) \subset [-\|A\|, \|A\|]$.

(★★) **Exercice 16** Soit $E = \mathbb{R}[X]$ et $f \in \mathcal{L}(E)$ donné par $f(P) = (X+1)(X+3)P' - XP$. Donner les éléments propres de f .

(★) **Exercice 17** Déterminer les éléments propres complexes de $R_\theta = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$ avec $\theta \not\equiv 0[\pi]$.

(★★) **Exercice 18** Soit $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ une matrice diagonalisable. Montrer que $\ker(A) = \ker(A^2)$.

(★★) **Exercice 19** Soit u un endomorphisme de rang 1 d'un espace vectoriel E . Montrer qu'il existe un réel λ tel que $u^2 = \lambda u$.

(★★) **Exercice 20** Soient $A, B \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ vérifiant $AB - BA = A$, et φ l'endomorphisme de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ donné par $\varphi(M) = MB - BM$.

1. Calculer $A^k B - B A^k$ pour $k \in \mathbb{N}$.
2. À quelle condition la matrice A^k est-elle vecteur propre de φ ?
3. En déduire que A est nilpotente.

(★★) **Exercice 21** Soient u, v des endomorphismes d'un espace vectoriel complexe E de dimension finie non nulle. Les deux questions sont indépendantes.

1. On suppose que $u \circ v = v \circ u$. Montrer que u et v ont un vecteur propre en commun.
 2. On suppose que $u \circ v = 0$. Montrer que u et v ont un vecteur propre en commun.
-

(★) **Exercice 22** Soit $n \geq 3$, a et b complexes avec $b \neq 0$. Donner les valeurs propres de la matrice

$$M = \begin{pmatrix} a & & (b) \\ & \ddots & \\ (b) & & a \end{pmatrix}.$$

M est-elle diagonalisable ?

(★) **Exercice 23** Soit $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ de déterminant strictement négatif. Montrer que A possède au moins une valeur propre réelle.

(★★) **Exercice 24** Soient A et B deux matrices de $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$ et $x \in \mathbb{K}$. En multipliant à droite et/ou à gauche la matrice par blocs :

$$M = \begin{pmatrix} \lambda I_n & A \\ B & I_n \end{pmatrix} \in \mathcal{M}_{2n}(\mathbb{K})$$

par des matrices triangulaires par blocs convenables, établir : $\chi_{AB} = \chi_{BA}$.

(★) **Exercice 25** Soient A et B deux matrices de $\mathcal{M}_n(\mathbb{K})$ vérifiant $AB = BA$ avec A nilpotente. Calculer $\text{Tr}(AB)$.

(★) **Exercice 26** Donner le spectre, et étudier la diagonalisabilité des matrices :

$$1. A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \qquad 2. A = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & (1) & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{pmatrix} \in \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$$

(★) **Exercice 27** Montrer que les matrices suivantes sont diagonalisables et les diagonaliser :

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

(★★) **Exercice 28** Donner les éléments propres des endomorphismes de E dans les situations suivantes :

1. $E = \mathcal{C}^\infty(\mathbb{R})$ et $T : f \mapsto T(f)$, où $T(f)(x) = e^{-x} \int_0^x f(t) e^t dt$
 2. $E = \mathbb{C}^{\mathbb{N}}$ et $\Phi : u \mapsto v$ donnée par $\begin{cases} v_0 &= u_0 \\ v_n &= \frac{u_n + u_{n-1}}{2} \text{ pour } n \geq 1 \end{cases}$
 3. $E = \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ et $\varphi : M \mapsto M^\top$
 4. $E = \mathcal{M}_n(\mathbb{R})$ et $\psi : M \mapsto M + \text{Tr}(M)I_n$
-

(★) **Exercice 29** Soit $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{K})$.

1. Montrer que $\chi_A = \chi_{A^\top}$. En déduire que $\text{Sp}(A) = \text{Sp}(A^\top)$.
2. Montrer que pour tout $\lambda \in \text{Sp}(A)$, $\dim E_\lambda(A) = \dim E_\lambda(A^\top)$.

(★★) **Exercice 30** Soit E un espace vectoriel de dimension $2n+1$, de base $(e_1, \dots, e_{2n+1})$, et $u \in \mathcal{L}(E)$ défini par :

$$u(e_1) = e_1 + e_{2n+1} \quad u(e_i) = e_{i-1} + e_i \text{ pour } i \in \llbracket 2, 2n+1 \rrbracket$$

1. Montrer que le polynôme caractéristique de u est $(X-1)^{2n+1} - 1$.
 2. Donner les valeurs propres complexes de u .
 3. En déduire $\prod_{k=0}^{2n} \cos(\frac{k\pi}{2n+1})$.
-

(★★) **Exercice 31** Soit A une matrice d'ordre $n \geq 2$ et de rang 1. Montrer que A est diagonalisable si, et seulement si, $\text{Tr}(A) \neq 0$.

(★) **Exercice 32** Soit $f : M \mapsto M + 2M^\top$, endomorphisme de $\mathcal{M}_n(\mathbb{R})$.

1. Déterminer les éléments propres de f . f est-il diagonalisable ?
 2. Calculer $\text{Tr}(f)$ et $\det(f)$.
-

(★★) **Exercice 33** Soit $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}$.

1. Montrer que A n'est pas diagonalisable.

2. Montrer que A est semblable dans $\mathcal{M}_3(\mathbb{R})$ à $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$.

3. En déduire A^n pour $n \in \mathbb{N}$. (Après le chapitre *Séries vectorielles*) Calculer alors $\exp(A) = \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{A^k}{k!}$.
-

(★) **Exercice 34** Soit $A = \begin{pmatrix} -5 & 3 \\ 6 & -2 \end{pmatrix}$.

1. Montrer que A est diagonalisable et donner ses valeurs propres.
 2. En déduire qu'il existe une matrice B telle que $B^3 = A$.
-

(★★) **Exercice 35** Soit $A = \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$. On étudie l'équation $(E) : M^2 - M = A$ d'inconnue $M \in \mathcal{M}_2(\mathbb{R})$.

1. Diagonaliser A en précisant une matrice de passage P .
 2. Soit M une solution de E . Justifier que $P^{-1}MP$ est diagonale.
 3. Résoudre (E) .
-

(★★) **Exercice 36** (oral Mines - Télécom Mouhamadou)

Soit $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$. Sans calculs (ou vraiment, le moins possible) déterminer le rang de A , son noyau ; montrer que A est diagonalisable et la diagonaliser.

Banque épreuve orale CCINP

Algèbre : 59, 67, 69, 70, 72 (subtil et intéressant), 73 (recherche d'un commutant), 74 (système différentiel), 75 (système différentiel), 83.