

D.S. N° 2 DE MATHÉMATIQUES

Durée : 2 heures. Cet énoncé contient deux exercices. Les calculatrices sont interdites.

On attachera un grand soin à la rédaction. En particulier, chaque résultat ou conclusion devra être encadré.

On peut toujours admettre les résultats des questions précédentes pour traiter les questions suivantes.

10 Exercice 1

- On dira qu'une suite $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ à valeurs complexes vérifie la propriété (P_1) si, pour toute suite complexe $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ bornée, la série $\sum a_n u_n$ converge.
- On dira qu'une suite $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ à valeurs réelles vérifie la propriété (P_2) si, pour toute suite réelle $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$, la convergence de la série $\sum u_n$ entraîne celle de la série $\sum a_n u_n$.

- 2** 1.1 (a) Montrer qu'une suite réelle vérifiant la propriété (P_1) vérifie la propriété (P_2) . 0,5 $\sum u_n \text{ cv} \Rightarrow \sum a_n u_n \text{ cv}$
0,5 $\Rightarrow u_n \text{ bornée}$
- 1 (b) Montrer qu'une suite complexe $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ telle que la série $\sum a_n$ converge absolument vérifie la propriété (P_1) . 0,5 $\exists M, |a_n| \leq M \forall n$, d'où $\sum |a_n| \text{ cv}$
0,5
- 3** 2. Dans cette question seulement, la suite $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ est définie par $a_0 = 0$ et $a_n = \frac{(-1)^n}{n}$, pour tout $n \geq 1$.
- 0,5 (a) La suite $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ vérifie-t-elle la propriété (P_1) ? Contre-exemple
- 1,5 (b) Quelle est la nature de la série $\sum \frac{1}{n \ln n}$? 0,5 $\hookrightarrow \frac{1}{n \ln n}$ décroissante sur \dots 0,5 Comparaison $\int \frac{1}{x \ln x} \rightarrow \infty$
0,5 $\hookrightarrow \infty$
- 1 (c) La suite $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ vérifie-t-elle la propriété (P_2) ? 0,5 \hookrightarrow Contre-exemple avec $u_n = \frac{1}{n}$
- 3** 3. Soit $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ une suite réelle telle que la série $\sum |a_{n+1} - a_n|$ converge.
- 1 (a) Montrer que la suite $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ possède une limite finie. 0,5 $\text{cvabs} \Rightarrow \text{cv}$ 0,5 \hookrightarrow télescope
- 0,5 (b) Soit $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ une suite réelle telle que la série $\sum u_n$ converge. On note $U_n = \sum_{k=0}^n u_k$, pour tout $n \in \mathbb{N}$. Prouver, pour tout entier naturel $N \geq 1$, la relation :
- $$\sum_{n=0}^N a_n u_n = \sum_{n=0}^{N-1} (a_n - a_{n+1}) U_n + a_N U_N$$
- 0,5 \hookrightarrow Un bonnet et q.1 b.1 0,5 $U_n \text{ cv et } q.3a \Rightarrow$
- 1,5 (c) En déduire que la suite $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ vérifie la propriété (P_2) .
- 2** 4. (a) Soit $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ une suite de nombres complexes telle que la série $\sum |a_n|$ diverge. Construire une suite 0,5 $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ de nombres complexes de module 1 telle que la série $\sum a_n u_n$ diverge.
- 1,5 (b) En déduire une condition nécessaire et suffisante pour qu'une suite complexe $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ vérifie (P_1) .

12

Exercice 2

Notations :

- n désigne un entier naturel supérieur ou égal à 2.
- E désigne l'ensemble $\mathcal{M}_{nn}(\mathbb{R})$ des matrices carrées d'ordre n à coefficients réels.
- L'ensemble $\mathcal{L}(E, \mathbb{R})$ des formes linéaires sur E est noté E^* et est appelé le dual de E .
- $(E_{i,j})_{1 \leq i,j \leq n}$ est la base canonique de E .
- Pour tout $r \in \llbracket 1, n \rrbracket$, on note J_r la matrice $\sum_{i=1}^r E_{i,i}$.
- Pour chaque $A \in E$, on définit la forme linéaire $T_A \in E^*$ par $T_A(M) = \text{tr}(AM)$. Et l'ensemble H_A par $H_A = \{M \in E \mid \text{tr}(AM) = 0\}$.

On pourra utiliser sans démonstration le théorème suivant, qui est au programme de la première année :

Si $A \in E$ est de rang $r \in \llbracket 1, n \rrbracket$, alors il existe deux matrices inversibles U et V de E telles que $UAV = J_r$.

3 1. Dans cette question seulement, on suppose $n = 2$ et $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$ et on note $M = \begin{bmatrix} a & c \\ b & d \end{bmatrix} \in E$.

- 2,5 (a) Montrer que H_A est un hyperplan de E . Déterminer une équation et une base de H_A .
 0,5 (b) Exhiber une matrice inversible M appartenant à H_A .

3 2,5 (a) Soit $A = (a_{k,l})_{(k,l) \in \llbracket 1, n \rrbracket^2}$ une matrice de E . Pour tout $(i, j) \in \llbracket 1, n \rrbracket^2$, calculer $T_A(E_{i,j})$.

1 (b) En déduire que, pour toute forme linéaire $f \in E^*$, il existe une unique matrice A de E telle que $f = T_A$.

1,5 (c) En utilisant l'application $\varphi : E \rightarrow E^*$, $A \mapsto T_A$, déterminer la dimension du dual E^* .

l'application 0,5
bijaective 0,5
dim E = dim E* = n^2 0,5

3 3. On considère la matrice $P = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \cdots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & & & 0 \\ 0 & 1 & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ de E .

0,5 (a) Vérifier que P est inversible et que, pour tout $r \in \llbracket 1, n \rrbracket$, la matrice P appartient à H_{J_r} .

2,5 (b) En déduire que chaque hyperplan H de E contient au moins une matrice inversible.

3 4. Soit une forme linéaire $f \in E^*$ telle que $f(M \cdot N) = f(N \cdot M)$ pour toutes matrices M et N de E .
Montrer qu'il existe un unique réel λ tel que $f = \lambda \text{tr}$.