

Exercice 1 (★). Calculer $(X + 1)^5 - (X - 1)^5$ dans $\mathbb{R}[X]$.

Résultat attendu : $(X + 1)^5 - (X - 1)^5 = 10X^4 + 20X^2 + 2$.

Exercice 2 (★★). Soit $n \in \mathbb{N}^*$ et $P(X) = (X - 2)^n - (X + 3)^n + 5n(X + 1)^{n-1}$. Déterminer son degré et son coefficient dominant.

Résultat attendu : Pour $n = 1$, $P(X) = 0$.

Si $n \geq 2$, le degré vaut $n - 2$ et le coefficient dominant vaut $\frac{5n(n-1)}{2} \neq 0$.

Exercice 3 (★). Effectuer les divisions euclidiennes dans $\mathbb{R}[X]$ de

1. $3X^5 + 4X^2 + 1$ par $X^2 + 2X + 3$
2. $3X^5 + 2X^4 - X^2 + 1$ par $X^3 + X + 2$
3. $2X^3 - X^2 - X + 2$ par $X^2 - 1$
4. $3X^5 + 2X^4 - X^2 + 1$ par $X^2 + X + 2$

Résultat attendu :

1. $3X^5 + 4X^2 + 1 = (X^2 + 2X + 3)(3X^3 - 6X^2 + 3X + 16) - 41X - 47$.
2. $3X^5 + 2X^4 - X^2 + 1 = (X^3 + X + 2)(3X^2 + 2X - 3) - 9X^2 - X + 7$.
3. $2X^3 - X^2 - X + 2 = (X^2 - 1)(2X - 1) + X + 1$.
4. $3X^5 + 2X^4 - X^2 + 1 = (X^2 + X + 2)(3X^3 - X^2 - 5X + 6) + 4X - 11$.

Exercice 4 (★). Soit P un polynôme de $\mathbb{R}[X]$ et $\alpha \in \mathbb{R}$. On note R_α le reste de la division euclidienne de P par $X - \alpha$. Montrer que $R_\alpha(X) = P(\alpha)$.

Résultat attendu : On énonce le théorème de division euclidienne, puis exploite au maximum l'information sur le degré du reste.

Exercice 5 (★★). Soit P un polynôme de $\mathbb{R}[X]$.

1. Soit S le reste de la division euclidienne de P par $X^2 + 1$. Montrer que $S = 0$ si et seulement si $P(i) = 0$.
2. Déterminer les entiers positifs n tel que $X^2 + 1$ divise $X^n + 1$.

Résultat attendu :

1. On énonce le théorème de division euclidienne, puis exploite l'information sur le degré du reste.
2. En utilisant la question précédente, on trouve que ce sont les $n \in \{2 + 4k | k \in \mathbb{N}\}$.

Exercice 6 (★★). Déterminer le reste de la division euclidienne de :

1. $X^n - X - 1$ par $(X - 1)(X + 2)$
2. $X^n - X - 1$ par $(X - 1)^2$

Résultat attendu : Dans les deux cas, on énonce le théorème de division euclidienne en exploitant au maximum le degré du reste. On trouve comme reste :

1. $-\frac{(2 + (-2)^n)}{3}X + \frac{(-2)^n - 1}{3}$
2. $-n + (n - 1)X$

Exercice 7 (★). Soit $(P, Q) \in \mathbb{K}[X]^2$ deux polynômes qui coïncident sur les entiers (c'est-à-dire tels que $\forall n \in \mathbb{Z}$, $P(n) = Q(n)$). Montrer que $P = Q$.

Résultat attendu : On montre que $P - Q = 0$ en utilisant les propriétés des racines.

Exercice 8 (★). Soit $(P, Q) \in \mathbb{K}[X]^2$ tels que $\forall x \in \mathbb{R}$, $P(\arctan(x)) = Q(\arctan(x))$. Montrer que $P = Q$.

Résultat attendu : On montre que $P - Q = 0$ en utilisant les propriétés des racines.

Exercice 9 (★★). Soit $P \in \mathbb{R}[X]$ de degré $n \geq 2$. Montrer que la fonction polynomiale de \mathbb{R} dans \mathbb{R} associée à P admet au plus n points fixes.

Résultat attendu : On raisonne par l'absurde. La contradiction provient des propriétés des racines et de l'hypothèse sur le degré.

Exercice 10 (★★). Démontrer qu'il n'existe pas de polynôme $P \in \mathbb{C}[X]$ tel que $\forall z \in \mathbb{C}$, $P(z) = \bar{z}$.

Résultat attendu : On raisonne par l'absurde. La contradiction vient de l'utilisation de la condition de l'énoncé sur les réels (dans un premier temps) puis sur un complexe bien choisi.

Exercice 11 (★). Soit $P(X) = X^4 + X^3 - 4X^2 + X + 1 \in \mathbb{R}[X]$.

1. Vérifier que 1 est racine double de P .
2. Écrire la formule de Taylor pour P en 1.

3. En déduire le quotient de P par $(X - 1)^2$.

4. Factoriser P dans $\mathbb{R}[X]$.

Résultat attendu :

1. $P(1) = P'(1) = 0$ et $P''(1) = 10 \neq 0$.
2. $P(X) = 5(X - 1)^2 + 5(X - 1)^3 + (X - 1)^4$.
3. Le quotient vaut $X^2 + 3X + 1$.
4. $P(X) = (X - 1)^2(X + \frac{3+\sqrt{5}}{2})(X + \frac{3-\sqrt{5}}{2})$.

Exercice 12 (★). Déterminer les racines de $P(X) = 4X^3 - 20X^2 + 27X - 9$, puis sa factorisation dans $\mathbb{R}[X]$.
Indication : commencer par tester si 3 est racine.

Résultat attendu : $P(X) = (X - 3)(4X^2 - 8X + 3) = 4(X - 3) \left(X - \frac{1}{2}\right) \left(X - \frac{3}{2}\right)$.

Exercice 13 (★). Déterminer les racines réelles de $Q(X) = X^3 - 3X^2 + 6X - 4$. En déduire la forme factorisée de ce polynôme dans $\mathbb{R}[X]$.

Résultat attendu : 1 est racine immédiate, donc $Q(X) = (X - 1)(X^2 - 2X + 4)$. On ne peut pas faire mieux car $X^2 - 2X + 4$ est de discriminant strictement négatif.

Exercice 14 (★). Soit $P(X) = 4X^3 + 4X^2 + 3X + 3$. Déterminer sa factorisation dans $\mathbb{R}[X]$ et $\mathbb{C}[X]$.

Résultat attendu : $P(X) = 4(X + 1) \left(X^2 + \frac{3}{4}\right) = 4(X + 1) \left(X + \frac{i\sqrt{3}}{2}\right) \left(X - \frac{i\sqrt{3}}{2}\right)$.

Exercice 15 (★). Soit $P(X) = X^5 - 1$. Déterminer sa factorisation dans $\mathbb{R}[X]$ et $\mathbb{C}[X]$.

Résultat attendu : $P(X) = \prod_{k=0}^4 (X - e^{\frac{2ik\pi}{5}}) = (X - 1) \left(X^2 - 2\cos\left(\frac{4\pi}{5}\right)X + 1\right) \left(X^2 - 2\cos\left(\frac{2\pi}{5}\right)X + 1\right)$.

Exercice 16 (★★). Soit $P(X) = X^6 + 1$. Déterminer sa factorisation dans $\mathbb{R}[X]$ et $\mathbb{C}[X]$.

Résultat attendu : $P(X) = (X - e^{\frac{i\pi}{6}})(X - e^{\frac{3i\pi}{6}})(X - e^{\frac{5i\pi}{6}})(X - e^{\frac{7i\pi}{6}})(X - e^{\frac{9i\pi}{6}})(X - e^{\frac{11i\pi}{6}})$, puis $P(X) = (X^2 - \sqrt{3}X + 1)(X^2 + 1)(X^2 + \sqrt{3}X + 1)$.

Exercice 17 (★★★). Soit $P(X) = X^9 + X^6 + X^3 + 1$. Déterminer sa factorisation dans $\mathbb{R}[X]$ et $\mathbb{C}[X]$.

Résultat attendu : Commencer par factoriser $Y^3 + Y^2 + Y + 1$ donne :
 $P(X) = (X + 1)(X - e^{\frac{i\pi}{3}})(X - e^{\frac{5i\pi}{3}})(X - e^{\frac{i\pi}{6}})(X - e^{\frac{5i\pi}{6}})(X + i)(X - e^{-\frac{i\pi}{6}})(X - i)(X - e^{\frac{7i\pi}{6}})$,
 $P(X) = (X + 1)(X^2 - X + 1)(X^2 + 1)(X^2 - \sqrt{3}X + 1)(X^2 + \sqrt{3}X + 1)$.

Exercice 18 (★★★). Soit $\theta \in \mathbb{R}$, $n \in \mathbb{N}^*$ et $P(X) = X^{2n} - 2\cos(n\theta)X^n + 1$. Déterminer sa décomposition en produits de polynômes irréductibles dans $\mathbb{C}[X]$ puis dans $\mathbb{R}[X]$.

Résultat attendu : Commencer par factoriser $Y^2 - 2\cos(n\theta)Y + 1$ donne :

$P(X) = \left(\prod_{k=0}^{n-1} (X - e^{i\theta} e^{\frac{2ik\pi}{n}})\right) \left(\prod_{k=0}^{n-1} (X - e^{-i\theta} e^{\frac{2ik\pi}{n}})\right) = \prod_{k=0}^{n-1} \left(X^2 - 2\cos\left(\theta + \frac{2k\pi}{n}\right)X + 1\right)$.

Exercice 19 (★).

1. Déterminer une primitive (intervalles à préciser) de : $x \mapsto \frac{1}{x+1}$, $x \mapsto \frac{1}{x^2+1}$ et $x \mapsto \frac{1}{x^2-1}$.

2. En déduire une primitive (intervalles à préciser) pour chacune des fonctions suivantes :

(a) $x \mapsto \frac{x^3 - x^2 - 4x + 3}{x + 1}$ (b) $x \mapsto \frac{x^3 - x^2 - 4x + 3}{x^2 + 1}$ (c) $x \mapsto \frac{x^3 - x^2 - 4x + 3}{x^2 - 1}$

Résultat attendu :

1. Des primitives sont $x \mapsto \ln|x+1|$ (sur $] -\infty, -1[$ ou $] -1, +\infty[$), puis $x \mapsto \arctan(x)$ (sur \mathbb{R}) et $x \mapsto \frac{1}{2} \ln|x-1| - \frac{1}{2} \ln|x+1|$ (sur $] -\infty, -1[$ ou $] -1, 1[$ ou $] 1, +\infty[$).

2. (a) Une primitive est $x \mapsto \frac{1}{3}x^3 - x^2 - 2x + 5 \ln|x+1|$ (sur $] -\infty, -1[$ ou $] -1, +\infty[$).

(b) Une primitive est $x \mapsto \frac{1}{2}x^2 - x + 4 \arctan(x) - \frac{5}{2} \ln|x^2 + 1|$ (sur \mathbb{R}).

(c) Une primitive est $x \mapsto \frac{1}{2}x^2 - x - \frac{1}{2} \ln|x-1| - \frac{5}{2} \ln|x+1|$ (sur $] -\infty, -1[$ ou $] -1, 1[$ ou $] 1, +\infty[$).

Exercice 20 (★★). Résoudre les équations d'inconnue $P \in \mathbb{C}[X]$ suivantes :

1. $(P'(X))^2 = 4P(X)$
2. $(X^2 + 1)P''(X) - 6P(X) = 0$

Résultat attendu : Les ensembles de solutions sont :

1. $\{0\} \cup \left\{ X^2 + bX + \frac{b^2}{4} \mid b \in \mathbb{C} \right\}$
2. $\{\lambda(X^3 + X) \mid \lambda \in \mathbb{C}\}$

Exercice 21 (★★). Soit $n \in \mathbb{N}$. On se propose d'étudier les polynômes $T_n \in \mathbb{R}[X]$ qui vérifient :

$$\forall x \in \mathbb{R}, \quad \cos(nx) = T_n(\cos(x)).$$

1. On fixe $n \in \mathbb{N}$. Montrer que si un tel polynôme T_n existe, alors il est unique.
2. Déterminer $T_0(X)$, $T_1(X)$ et $T_2(X)$.
3. Soit $n \geq 1$ et $x \in \mathbb{R}$. Factoriser $\cos((n+1)x) + \cos((n-1)x)$. En déduire que si $T_{n-1}(X)$ et $T_n(X)$ sont bien définis, on peut définir $T_{n+1}(X)$ par $T_{n+1}(X) = 2XT_n(X) - T_{n-1}(X)$. En déduire l'existence de $T_n(X)$ pour tout $n \in \mathbb{N}$.
4. Déterminer le degré de $T_n(X)$ et son coefficient dominant.
5. Soit $n \geq 1$. Déterminer les $x \in [0, \pi]$ tels que $\cos(nx) = 0$. En déduire l'ensemble des racines de $T_n(X)$ puis sa décomposition en produit de polynômes irréductibles.
6. En évaluant le polynôme $T_n(X)$ en un point x_0 bien choisi, en déduire :

$$\prod_{k=0}^{n-1} \cos\left(\frac{(2k+1)\pi}{2n}\right) = \begin{cases} \frac{(-1)^{n/2}}{2^{n-1}} & \text{si } n \text{ est pair} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}.$$

Résultat attendu :

1. On en prend deux et on montre qu'ils sont égaux en utilisant les propriétés des racines.
2. $T_0(X) = 1$, $T_1(X) = X$, $T_2(X) = 2X^2 - 1$.
3. $\cos((n+1)x) + \cos((n-1)x) = 2\cos(x)\cos(nx)$, puis on montre l'existence par récurrence.
4. On montre par récurrence que pour tout $n \in \mathbb{N}^*$, le degré vaut n et le coefficient dominant 2^{n-1} . Le cas $n = 0$ doit être traité à part.
5. Les solutions dans $[0, \pi]$ de $\cos(nx) = 0$ sont les $x = \frac{(2k+1)\pi}{2n}$ pour $k \in \llbracket 0, n-1 \rrbracket$. Les racines de $T_n(X)$ sont les cosinus de ces valeurs, Donc $T_n(X) = 2^{n-1} \prod_{k=0}^{n-1} \left(X - \cos\left(\frac{\pi(2k+1)}{2n}\right) \right)$.
6. $T_n(0)$ donne le résultat demandé.