

Exercice 1

La fonction $f(x)$ est paire ssi $\forall x, f(x) = f(-x)$, La fonction $f(x)$ est impaire ssi $\forall x, f(x) = -f(-x)$.

Soit une fonction $f(x)$,

$$f(x) = \frac{2f(x)}{2} = \frac{2f(x) + f(-x) - f(-x)}{2} = \frac{f(x) + f(-x) + f(x) - f(-x)}{2} = \frac{f(x) + f(-x)}{2} + \frac{f(x) - f(-x)}{2}$$

Soit la fonction $f_1(x) = \frac{f(x)+f(-x)}{2}$, la fonction $f_1(x)$ est paire car $f_1(-x) = \frac{f(-x)+f(-(-x))}{2} = \frac{f(-x)+f(x)}{2} = f_1(x)$.

Soit la fonction $f_2(x) = \frac{f(x)-f(-x)}{2}$, la fonction $f_2(x)$ est impaire car $f_2(-x) = \frac{f(-x)-f(-(-x))}{2} = \frac{f(-x)-f(x)}{2} = -\frac{f(x)-f(-x)}{2} = -f_2(x)$.

Pour toute fonction $f(x)$, on a trouvé une fonction $f_1(x)$ paire et une fonction $f_2(x)$ impaire tel que $f(x) = f_1(x) + f_2(x)$.

Buffon TD1 - Exercice 5

Vrai pour u_0 ? $u_0 = \frac{0(0+1)}{2} = 0$, oui.

Admettons que $u_n = \frac{n(n+1)}{2}$, calculons u_{n+1} .

$$u_{n+1} = u_n + n + 1 = \frac{n(n+1)}{2} + n + 1 = \frac{n(n+1)}{2} + \frac{2(n+1)}{2} = \frac{(n+1)(n+2)}{2} = \frac{(n+1)((n+1)+1)}{2}$$

Vrai pour v_0 ? $v_0 = \frac{0(0+1)(2 \cdot 0 + 1)}{6} = 0$, oui.

Admettons que $v_n = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$, calculons v_{n+1} .

$$v_{n+1} = v_n + n + 1 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + (n+1)^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + \frac{6(n+1)^2}{6} = \frac{(n+1)(n(2n+1) + 6(n+1))}{6}$$

$$v_{n+1} = \frac{(n+1)(2n^2 + n + 6n + 6)}{6} = \frac{(n+1)(n+2)(2n+3)}{6} = \frac{(n+1)((n+1)+1)(2(n+1)+1)}{6}$$

Vrai pour w_0 ? $w_0 = \left(\frac{0(0+1)}{2}\right)^2 = 0$, oui.

Admettons que $w_n = \left(\frac{n(n+1)}{2}\right)^2$, calculons w_{n+1} .

$$w_{n+1} = w_n + (n+1)^3 = \left(\frac{n(n+1)}{2}\right)^2 + (n+1)^3 = \left(\frac{n(n+1)}{2}\right)^2 + \frac{4(n+1)^3}{4} = \frac{n^2(n+1)^2 + 4(n+1)^3}{4}$$

$$w_{n+1} = \frac{(n+1)^2(n^2 + 4(n+1))}{4} = \frac{(n+1)^2(n+2)^2}{4} = \left(\frac{(n+1)((n+1)+1)}{2}\right)^2$$

Buffon TD1 - Exercice 6

Preuve par récurrence, supposons $\exists n_0 \in \mathbb{N}, \forall n \in \mathbb{N}, n \geq n_0 \implies n! \geq 2^n$, trouvons un entier n pour lequel $n! \geq 2^n$ et vérifions la propriété pour $n+1$ avec l'hypothèse de récurrence $n! \geq 2^n$. Prenons $n = 4$, on a $4! = 24 \geq 16 = 2^4$.

$$\begin{aligned}(n+1)! &= n!(n+1) \geq 2^n(n+1) \text{ (hypothèse de récurrence)} \\ &= n2^n + 2^n > 2^{n+1}, \text{ pour } n \geq 2\end{aligned}$$

Pour $n_0 \geq 2$ la proposition est vraie. Donc il existe un n_0 (par exemple $n_0 = 2$) pour lequel la proposition est vraie.

Buffon TD1 - Exercice 7

$$u_0 = 1, u_1 = u_0 = 1, u_2 = u_0 + u_1 = 2, u_3 = u_0 + u_1 + u_2 = 4, u_4 = u_0 + u_1 + u_2 + u_3 = 8.$$

Vrai pour u_0 ?, $u_0 = 1 \leq 2^0 = 1$, Vrai.

Hypothèse de récurrence: $u_n \leq 2^n$, calculons u_{n+1} .

$$u_{n+1} = u_0 + u_1 + \dots + u_{n-1} + u_n = u_n + u_n = 2u_n \leq 2 \cdot 2^n = 2^{n+1}$$

La proposition est vraie.

Buffon TD1 - Exercice 8

$$\forall x \in \mathbb{R}, \left(x + \frac{1}{x} \in \mathbb{Z} \implies \left(\forall n \in \mathbb{N}, x^n + \frac{1}{x^n} \in \mathbb{Z} \right) \right)$$

Pour $n = 0$, on a $\forall x \in \mathbb{R}, \left(x + \frac{1}{x} \in \mathbb{Z} \implies \left(x^0 + \frac{1}{x^0} \in \mathbb{Z} \right) \right)$ qui est vrai.

Pour $n = 1$, on a $\forall x \in \mathbb{R}, \left(x + \frac{1}{x} \in \mathbb{Z} \implies \left(x^1 + \frac{1}{x^1} \in \mathbb{Z} \right) \right)$ qui est vrai.

Supposons la propriété vraie au rang $k < n$, calculons le rang n .

$$\left(x^{n-1} + \frac{1}{x^{n-1}} \right) \left(x + \frac{1}{x} \right) = x^n + x^{n-2} + \frac{1}{x^n} + \frac{1}{x^{n-2}} = \left(x^n + \frac{1}{x^n} \right) + \left(x^{n-2} + \frac{1}{x^{n-2}} \right)$$

Donc

$$\left(x^n + \frac{1}{x^n} \right) = \left(x^{n-1} + \frac{1}{x^{n-1}} \right) - \left(x^{n-2} + \frac{1}{x^{n-2}} \right)$$

Par hypothèse de récurrence, on a $\left(x^{n-1} + \frac{1}{x^{n-1}} \right) \in \mathbb{Z}$ et $\left(x^{n-2} + \frac{1}{x^{n-2}} \right) \in \mathbb{Z}$. Donc $\left(x^n + \frac{1}{x^n} \right) \in \mathbb{Z}$ car la soustraction de deux nombres dans \mathbb{Z} .

Buffon TD2 - Exercice 1.a

$$(1-a) \sum_{k=1}^n ka^{k-1} = \sum_{k=1}^n ka^{k-1} - \sum_{k=1}^n aka^{k-1} = \sum_{k=1}^n ka^{k-1} - \sum_{k=1}^n ka^k$$
$$\sum_{k=1}^n ka^{k-1} - ka^n = \sum_{k=0}^{n-1} a^k - na^n = \sum_{k=0}^n a^k - (n+1)a^n$$

Donc

$$\sum_{k=1}^n ka^k = \sum_{k=1}^n ka^{k-1} - \sum_{k=0}^n a^k + (n+1)a^n$$

On a $\sum_{k=0}^n a^k = \frac{1-a^{n+1}}{1-a}$ et $\sum_{k=1}^n ka^{k-1} = \left(\sum_{k=0}^n a^k\right)' = \left(\frac{1-a^{n+1}}{1-a}\right)'$ Donc

$$\sum_{k=1}^n ka^k = \left(\frac{1-a^{n+1}}{1-a}\right)' - \frac{1-a^{n+1}}{1-a} + (n+1)a^n$$

Buffon TD2 - Exercice 1.b

Trouver a, b, c , tel que $\forall x \in \mathbb{R}^{+*}$, $\frac{1}{x(x+1)(x+2)} = \frac{a}{x} + \frac{b}{x+1} + \frac{c}{x+2}$.

$$\frac{a}{x} + \frac{b}{x+1} + \frac{c}{x+2} = \frac{a(x+1)(x+2) + bx(x+2) + cx(x+1)}{x(x+1)(x+2)} = \frac{a(x^2 + 3x + 2) + b(x^2 + 2x) + c(x^2 + x)}{x(x+1)(x+2)}$$

Donc

$$\begin{cases} a + b + c = 0 \\ 3a + 2b + c = 0 \\ 2a = 1 \end{cases}$$

Et $a = \frac{1}{2}$, $b = -1$, $c = \frac{1}{2}$. Donc $\frac{1}{x(x+1)(x+2)} = \frac{1}{2x} - \frac{1}{x+1} + \frac{1}{2(x+2)}$.

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k(k+1)(k+2)} &= \sum_{k=1}^n \frac{1}{2k} - \frac{1}{k+1} + \frac{1}{2(k+2)} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{2k} - \sum_{k=1}^n \frac{1}{k+1} + \sum_{k=1}^n \frac{1}{2(k+2)} \\ &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \sum_{k=1}^n \frac{1}{k+1} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k+2} \\ &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \sum_{k=2}^{n+1} \frac{1}{k} + \frac{1}{2} \sum_{k=3}^{n+2} \frac{1}{k} \\ &= \frac{1}{2} \left(\sum_{k=3}^n \frac{1}{k} + 1 + \frac{1}{2} \right) - \left(\sum_{k=3}^n \frac{1}{k} + \frac{1}{2} + \frac{1}{n+1} \right) + \frac{1}{2} \left(\sum_{k=3}^n \frac{1}{k} + \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+2} \right) \\ &= \frac{1}{4} - \frac{1}{2(n+1)} + \frac{1}{2(n+2)} \end{aligned}$$

Buffon TD2 - Exercice 3.1

$$\sum_{k \in [1, 2n], \text{impair}} 3^k = 3^1 + 3^3 + 3^5 + \dots + 3^{2n-1} = 3 + 3.9 + (3.9).9 + \dots (((\dots))).9$$

Soit la suite géométrique définie par $u_0 = 3$ et de raison $q = 9$. La somme $\sum_{k \in [0, n]} u_k = u_0 \cdot \left(\frac{1-q^{n+1}}{1-q}\right)$. Donc

$$\sum_{k \in [1, 2n], \text{impair}} 3^k = 3 \cdot \left(\frac{1-9^{n-1}}{1-9}\right)$$

Buffon TD2 - Exercice 3.2

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=2}^n \ln\left(1 - \frac{1}{k^2}\right) &= \sum_{k=2}^n \ln\left(\frac{k^2 - 1}{k^2}\right) = \sum_{k=2}^n \ln\left(\frac{(k-1)(k+1)}{k^2}\right) = \sum_{k=2}^n \ln(k-1) + \ln(k+1) - \ln(k^2) \\
 &= \sum_{k=2}^n \ln(k-1) + \sum_{k=2}^n \ln(k+1) - 2 \sum_{k=2}^n \ln(k) = \sum_{k=1}^{n-1} \ln(k) + \sum_{k=3}^{n+1} \ln(k) - 2 \sum_{k=2}^n \ln(k) \\
 &= \sum_{k=2}^{n-1} \ln(k) + \ln(1) + \sum_{k=2}^{n-1} \ln(k) - \ln(2) + \ln(n) + \ln(n+1) - 2 \sum_{k=2}^{n-1} \ln(k) - 2 \ln(n) = -\ln(2) + \ln(n) + \ln(n+1) - 2 \ln(n) \\
 &= -\ln(2) + \ln\left(\frac{n+1}{n}\right)
 \end{aligned}$$

Buffon TD2 - Exercice 3.3

$$\prod k = 1n \left(1 - \frac{1}{2k}\right) = \left(1 - \frac{1}{2}\right)\left(1 - \frac{1}{4}\right)\left(1 - \frac{1}{6}\right) \dots \left(1 - \frac{1}{2n}\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \dots \frac{2n-1}{2n} = \frac{\prod_{k=1}^n 2n-1}{\prod_{k=1}^n 2n} = \frac{\prod_{k=[1,2n], \text{impair}} n}{\prod_{k=[1,2n], \text{pair}} n}$$

Soit les séries arithmétique $u_0 = 1$ et $u_{n+1} = u_n + 2$ et $v_0 = 0$ et $v_{n+1} = v_n + 2$.

$$\frac{\prod_{k=0}^n u_n}{\prod_{k=0}^n v_n}$$

Buffon TD2 - Exercice 3.4

$$\prod_{k=1}^n 3^k = 3 \cdot 3^2 \cdot 3^3 \dots 3^n = 3^{1+2+3+\dots+n} = 3^{\sum_{k=1}^n k} = 3^{\frac{n(n+1)}{2}}$$

Buffon TD2 - Exercice 3.6

$$\sum_{k=1}^n k k! = \sum_{k=1}^n ((k+1) - 1) k! = \sum_{k=1}^n (k+1) k! - k! = \sum_{k=1}^n (k+1)! - \sum_{k=1}^n k! = (n+1)! - 1$$

Buffon TD3 - Exercice 1.1

Soit $z = a + bi$,

$$z\bar{z} + 3(z - \bar{z}) = 4 - 3i$$

$$(a + bi)(a - bi) + 3((a + bi) - (a - bi)) = 4 - 3i$$

$$a^2 + b^2 + 3(2bi) = 4 - 3i$$

Donc, on a $a^2 + b^2 = 4$ et $6b = -3$, ce qui fait $b = -\frac{1}{2}$ et $a = \frac{\sqrt{15}}{2}$.

Buffon TD3 - Exercice 1.3

Soit $z = a + bi$,

$$|z| = z + \bar{z}$$

$$\sqrt{a^2 + b^2} = (a + bi) + (a - bi) = 2a$$

$$b^2 = 3a^2$$

Buffon TD3 - Exercice 1.5

Soit $z = a + bi$,

$$|(1 + i)z - 2i| = 2$$

$$|(1 + i)(a + bi) - 2i| = 2$$

$$|a + bi + ai - b - 2i| = 2$$

$$\sqrt{(a - b)^2 + (a + b - 2)^2} = 2$$

$$a^2 - 2ab + b^2 + (a + b - 2)^2 = 4$$

$$a^2 - 2ab + b^2 + a^2 + b^2 + 2ab - 4a - 4b + 4 = 4$$

$$2a^2 + 2b^2 - 4a - 4b = 0$$

$$a^2 + b^2 - 2a - 2b = 0$$

Rappel de cours

- la fonction $f \in F^E$ est injective si tout élément de F admet au plus un antécédent, $\forall (x_1, x_2) \in E^2, f(x_1) = f(x_2) \implies x_1 = x_2$ ou $\forall (x_1, x_2) \in E^2, x_1 \neq x_2 \implies f(x_1) \neq f(x_2)$.
- la fonction $f \in F^E$ est surjective si tout élément de F admet au moins un antécédent, $\forall y \in F, \exists x \in E, y = f(x)$.
- la fonction $f \in F^E$ est bijective si elle est injective et surjective.
- soit $f \in F^E$ et $g \in G^F$, la composée des fonctions f et g notée $g \circ f$ définie par $g \circ f : E \rightarrow G, x \rightarrow g(f(x))$.

Buffon TD5 - Exercice 4.1

P : Si $g \circ f$ est injective alors f aussi.

Comme $g \circ f$ est injective, on a $\forall (x_1, x_2) \in E^2, g(f(x_1)) = g(f(x_2)) \implies x_1 = x_2 : [1]$.

Preuve par l'absurde.

Supposons que la fonction f n'est pas injective. Donc $\exists (x_1, x_2) \in E^2, f(x_1) = f(x_2) \implies x_1 \neq x_2 : [2]$.

En partant de $f(x_1) = f(x_2)$, on a $g(f(x_1)) = g(f(x_2))$ car g est une fonction. Donc de [1], on a $x_1 = x_2$.

En partant de $f(x_1) = f(x_2)$ et de [2], on a $x_1 \neq x_2$ ce qui contredit précédemment.

Donc la proposition P est vraie.

Buffon TD5 - Exercice 4.2

P : Si $g \circ f$ est surjective alors g aussi.

Comme $g \circ f$ est surjective, on a $\forall y \in G, \exists x \in E, y = g \circ f(x) = g(f(x)) : [1]$.

Comme f est une fonction donc $\forall x_e \in E, \exists! y_f \in F, y_f = f(x_e)$. Donc, $\forall y \in G, y = g(f(x))$ de [1], soit $b \in F, b = f(x)$, b existe et est unique par [2].

Donc $\forall y \in G, y = g(f(x)) = g(b)$ ce qui est la définition de g est une fonction surjective. Donc la proposition P est vraie.

Buffon TD5 - Exercice 4.3

P : si $g \circ f$ est injective et si f est surjective alors g est injective. Comme $g \circ f$ est injective, on a $\forall (x_1, x_2) \in E^2, g(f(x_1)) = g(f(x_2)) \implies x_1 = x_2 : [1]$.

Comme f est surjective, on a $\forall y \in F, \exists x \in E, y = f(x) : [2]$.

Prenons x_1, x_2 tel que $g(x) = g(y) : [3]$. Comme f est surjective [2], il existe a, b tel que $x = f(a)$ et $y = f(b)$. Donc par $g(f(a)) = g(f(b))$.

par [1], on a donc $a = b$. Par conséquent $f(a) = f(b)$ car f est une fonction. Donc $x = y$ et $g(x) = g(y) \implies x = y$ qui est la définition de g est injective.

Donc la proposition P est vraie.

Buffon TD5 - Exercice 4.4

P : si $g \circ f$ est surjective et si g est injective alors f est surjective.

Comme $g \circ f$ est surjective, on a $\forall y \in G, \exists x \in E, y = g \circ f(x) = g(f(x)) : [1]$.

Comme g est injective, on a $\forall (x_1, x_2) \in F^2, g(x_1) = g(x_2) \implies x_1 = x_2 : [2]$.

De [1], $\forall z_1 \in G, \exists x_1 \in E, z_1 = g(f(x_1))$. donc $\exists y_1 \in F, y_1 = f(x_1)$.

De [2], $\nexists y_2 \in F, y_2 \neq y_1, g(y_1) = g(y_2)$. Donc y_1 est unique.

$\exists y_1 \in F, \forall x \in E, y_1 \neq f(x)$.

Buffon TD7 - Exercice 1.1

Etude de $\arcsin(\frac{1+x}{\sqrt{2(1+x^2)}})$.

1-dérivée de la fonction. On prend $g(x) = \arcsin(x)$ et $f(x) = \frac{1+x}{\sqrt{2(1+x^2)}}$. Donc

$$\left(\arcsin\left(\frac{1+x}{\sqrt{2(1+x^2)}}\right) \right)' = (g \circ f(x))' = f'(x) \cdot \frac{1}{\sqrt{1-f^2(x)}}$$

Donc calcul de $f'(x) = \left(\frac{1+x}{\sqrt{2(1+x^2)}} \right)' = \left(\frac{u}{v} \right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}$ avec $u(x) = 1+x$ et $v(x) = \sqrt{2(1+x^2)}$. Donc $u'(x) = 1$ et $v'(x) = \sqrt{2}w(x)^{1/2} = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot w^{\frac{1}{2}-1} w'(x)$ avec $w(x) = 1+x^2$ et $w'(x) = 2x$. Donc

$$f'(x) = \frac{1 \cdot \sqrt{1+x^2} - (1+x) \cdot \frac{\sqrt{2}x}{\sqrt{1+x^2}}}{2(1+x^2)} = \frac{1-x}{2\sqrt{2}(1+x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Et

$$d(x) = \left(\arcsin\left(\frac{1+x}{\sqrt{2(1+x^2)}}\right) \right)' = \frac{1-x}{2\sqrt{2}(1+x^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(1+x)^2}{2(1+x^2)}}}$$

La dérivée de la fonction n'est pas définie en $x = 1$. Lorsque $x < 1$, $d(x) > 0$ et lorsque $x > 1$, $d(x) < 0$. Donc $f(1) = 1$ est un maximum.

Regardons le domaine de définition de $\arcsin(\frac{1+x}{\sqrt{2(1+x^2)}})$. $\arcsin(x)$ est définie pour $x \in]-1, 1[$. Calculons les x tel que $-1 < \frac{1+x}{\sqrt{2(1+x^2)}} < 1$. On a $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ et $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = -\frac{1}{\sqrt{2}}$. Donc la fonction est définie sur $x \in]-\infty, +\infty[$.

Donc $\lim_{x \rightarrow +\infty} \arcsin(f(x)) = \arcsin(\frac{1}{\sqrt{2}}) = \frac{\pi}{4}$, Donc $\lim_{x \rightarrow -\infty} \arcsin(f(x)) = \arcsin(-\frac{1}{\sqrt{2}}) = -\frac{\pi}{4}$ et $\arcsin(1) = \frac{\pi}{2}$ le maximum.

Buffon TD7 - Exercice 2.1

résoudre $\arctan(x) + \arctan(2x) = \frac{\pi}{4}$.

$$\arctan(x) + \arctan(2x) = \arctan\left(\frac{x+2x}{1-2x^2}\right) = \frac{\pi}{4}$$

$$\frac{x+2x}{1-2x^2} = 1$$

$$2x^2 + 3x - 1 = 0$$

Donc $x_1 = \frac{-3+\sqrt{17}}{4} \approx 0.280$ et $x_2 = \frac{-3-\sqrt{17}}{4} \approx -1.78$.

Buffon TD7 - Exercice 3.1

$$\sqrt{3}\cos(x) + \sin(x) = 1$$

Première solution triviale $\cos(x) = 0$ et $\sin(x) = 1$ donc $\frac{\pi}{2} + 2k\pi$.

Ou alors

$$\sqrt{3}\cos(x) + \sin(x) = 1$$

$$\sqrt{3}\cos(x) = 1 - \sin(x)$$

$$3\cos^2(x) = 1 - 2\sin(x) + \sin^2(x)$$

$$3 \cos^2(x) = 1 - 2 \sin(x) + (1 - \cos^2(x))$$

$$4 \cos^2(x) = 2 - 2 \sin(x)$$

$$2 \cos^2(x) = 1 - \sin(x)$$

$$2(1 - \sin^2(x)) = 1 - \sin(x)$$

$$-2 \sin^2(x) + \sin(x) + 1 = 0$$

Donc $\sin(x) = -\frac{1}{2}$ ou $\sin(x) = 1$. Ce qui fait $x_1 = \frac{\pi}{6} + 2k\pi$ et $x_2 = \frac{\pi}{2} + 2k\pi$.

Nombres réels

Toute partie finie non vide s de \mathbb{R} possède un plus petit et un plus grand élément.

Preuve par récurrence sur la taille de la partie de \mathbb{R} .

L'ensemble s est un singleton $s = \{a\}$. Le plus petit élément de s est $m = a$, le plus grand élément de s est $M = a$.

Hypothèse de récurrence: Supposons que l'ensemble s_n de taille n admet un plus petit élément m et un plus grand élément M . Prouvons que l'ensemble s_{n+1} de taille $n+1$ admet un plus petit et un plus grand élément. Soit $a \in \mathbb{R}, a \notin s_n$, construisons $s_{n+1} = s_n \cup \{a\}$. La taille de s_{n+1} est $n+1$ éléments. On a 4 cas:

- $a < M$, alors le plus grand élément de s_{n+1} est M
- $a \geq M$, alors le plus grand élément de s_{n+1} est a
- $a < m$, alors le plus petit élément de s_{n+1} est a
- $a \geq m$, alors le plus petit élément de s_{n+1} est m

On a trouvé un plus petit et un plus grand élément pour l'ensemble s_{n+1} donc la proposition est vraie.

Exo7 - Limites

Rappel de cours:

- pour $x \rightarrow +\infty$, on a $\ln(x) < x < x^n$
- pour $x \rightarrow -\infty$, on a $\ln(x) > x > x^n$ si n est impair uniquement
- pour $x \rightarrow 0+$, on a $\ln(x) < 0$

Exo7 - Limites.1

$$\lim_{x \rightarrow 0+} \frac{x+2}{x^2 \ln x}$$

On a $\lim_{x \rightarrow 0+} x+2 = 2$, calculons $\lim_{x \rightarrow 0+} x^2 \ln x$, posons $y = \frac{1}{x}$.

$$\lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{\ln(\frac{1}{y})}{y^2}$$

$$\lim_{y \rightarrow +\infty} -\frac{\ln(y)}{y^2}$$

Quand $x \rightarrow +\infty$, on a $\ln(x) < x < x^n$ donc

$$\lim_{y \rightarrow +\infty} -\frac{\ln(y)}{y^2} = \lim_{x \rightarrow 0+} x^2 \ln x = 0^-$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow 0+} \frac{x+2}{x^2 \ln x} = \frac{2}{0^-} = -\infty$$

Exo7 - Limites.2

$$\lim_{x \rightarrow 0+} 2x \ln(x + \sqrt{x})$$

$$\lim_{x \rightarrow 0+} 2x \ln(x + \sqrt{x})$$

$\lim_{x \rightarrow 0+} 2x \ln(x + \sqrt{x}) = 2 \lim_{x \rightarrow 0+} x \ln(x + \sqrt{x})$ et posons $y = \frac{1}{x}$.

$$\lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{1}{y} \ln\left(\frac{1}{y} + \sqrt{\frac{1}{y}}\right)$$

On a $\lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{1}{y} + \sqrt{\frac{1}{y}} = \frac{1}{y}$.

$$\lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{1}{y} \ln\left(\frac{1}{y}\right)$$

$$\lim_{y \rightarrow +\infty} -\frac{\ln(y)}{y} = 0$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow 0+} 2x \ln(x + \sqrt{x}) = 2 \lim_{x \rightarrow 0+} x \ln(x + \sqrt{x}) = 2 \lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{1}{y} \ln\left(\frac{1}{y} + \sqrt{\frac{1}{y}}\right) = 2 \cdot 0 = 0$$

Exo7 - Limites.3

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^3 - 2x^2 + 3}{x \ln x}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1 - 2x^{-1} + 3x^{-3}}{x^{-2} \ln x}$$

On a $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln x}{x^2} = 0^-$ (voir limite.1). Donc

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1 - 2x^{-1} + 3x^{-3}}{x^{-2} \ln x} = \frac{1}{0^+} = +\infty$$

Exo7 - Limites.4

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^{\sqrt{x}+1}}{x+2}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln(e^{\sqrt{x}+1})}{\ln(x+2)} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\sqrt{x}}{\ln(x)}$$

Posons $y = \sqrt{x}$.

$$\lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{\sqrt{y}}{\ln(y^2)} = \lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{y}{2 \ln(y)} = \lim_{y \rightarrow +\infty} \frac{1}{2} \frac{y}{\ln(y)} = \frac{1}{2} \cdot +\infty = +\infty$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^{\sqrt{x}+1}}{x+2} = +\infty$$

Exo7 - Limites.5

$$\lim_{x \rightarrow 0+} \frac{\ln(3x+1)}{2x}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0+} \frac{1}{2} \frac{\ln(3x+1)}{x}$$

Posons $y = 3x$

$$\lim_{y \rightarrow 0+} \frac{1}{2} \frac{\ln(y+1)}{\frac{y}{3}} = \lim_{y \rightarrow 0+} \frac{3}{2} \frac{\ln(y+1)}{y}$$

En utilisant le developpement limité $\ln(1+x)$ en 0, on a

$$\lim_{y \rightarrow 0+} \frac{3}{2} \frac{y - \frac{y^2}{2} + \frac{y^3}{3} + \epsilon(y)}{y} = \lim_{y \rightarrow 0+} \frac{3}{2} \left(1 - \frac{y^3}{2} + \frac{y^4}{3} + \epsilon(y)\right) = \frac{3}{2}$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow 0+} \frac{\ln(3x+1)}{2x} = \frac{3}{2}$$

Exo7 - Limites.8

$$\lim_{x \rightarrow (-1)+} (x^2 - 1) \ln(7x^3 + 4x^2 + 3)$$

Posons $y = x + 1$

$$\lim_{y \rightarrow (0)+} ((y-1)^2 - 1) \ln(7(y-1)^3 + 4(y-1)^2 + 3)$$

$$\lim_{y \rightarrow (0)+} (y^2 - 2y) \ln(7y^3 - 17y^2 + 13y) = \lim_{y \rightarrow (0)+} (y^2 - 2y)(\ln(y) + \ln(7y^2 - 17y + 13))$$

$$\lim_{y \rightarrow (0)+} (y^2 - 2y) \cdot \lim_{y \rightarrow (0)+} \ln(y) = \lim_{y \rightarrow (0)+} y(y-2) \ln(y) = 0$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow (-1)+} (x^2 - 1) \ln(7x^3 + 4x^2 + 3) = 0$$

Exo7 - Limites.9

$$\lim_{x \rightarrow (2)+} (x-2)^2 \ln(x^3 - 8)$$

Posons $y = x - 2$

$$\lim_{y \rightarrow (0)+} y^2 \ln((y+2)^3 - 8)$$

$$\lim_{y \rightarrow (0)+} y^2 \ln(y^3 + 6y^2 + 12y) = \lim_{y \rightarrow (0)+} y^2 (\ln(y) + \ln(y^2 + 6y + 12))$$

$$\lim_{y \rightarrow (0)+} y^2 \ln(y) + \lim_{y \rightarrow (0)+} y^2 \ln(y^2 + 6y + 12) = 0 + 0 = 0$$

Exo7 - Limites.10

$$\lim_{x \rightarrow (0)^+} \frac{x(x^x - 1)}{\ln(x + 1)}$$

En utilisant le developpement limité $\ln(1 + x)$ en 0, on a

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow (0)^+} \frac{x(x^x - 1)}{x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + \epsilon(x)} \\ \lim_{x \rightarrow (0)^+} \frac{(x^x - 1)}{1 - \frac{x}{2} + \frac{x^2}{3} + \epsilon(x)} \\ \lim_{x \rightarrow (0)^+} (x^x - 1) \\ \lim_{x \rightarrow (0)^+} (1 - 1) = 0 \end{aligned}$$

Avec

$$\lim_{x \rightarrow (0)^+} x^x = \lim_{x \rightarrow (0)^+} e^{\ln(x^x)} = \lim_{x \rightarrow (0)^+} e^{x \ln(x)} = e^0 = 1$$

Exo7 - Limites.11

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow +\infty} x \ln(x) - x \ln(x + 2) \\ \lim_{x \rightarrow +\infty} x(\ln(x) - \ln(x + 2)) \end{aligned}$$

Posons $y = \frac{1}{x}$

$$\begin{aligned} \lim_{y \rightarrow 0^+} \frac{1}{y} \left(\ln\left(\frac{1}{y}\right) - \ln\left(\frac{1}{y} + 2\right) \right) &= \lim_{y \rightarrow 0^+} \frac{1}{y} \left(\ln\left(\frac{1}{y}\right) - \ln\left(\frac{1 + 2y}{y}\right) \right) = \lim_{y \rightarrow 0^+} \frac{1}{y} \left(-\ln(y) - \ln\left(\frac{1 + 2y}{y}\right) \right) \\ &= \lim_{y \rightarrow 0^+} \frac{1}{y} (-\ln(y) - (\ln(1 + 2y) - \ln(y))) = \lim_{y \rightarrow 0^+} -\frac{1}{y} \ln(1 + 2y) \end{aligned}$$

En utilisant le developpement limité $\ln(1 + x)$ en 0, on a

$$\lim_{y \rightarrow 0^+} -\frac{1}{y} \left(2y - \frac{4y^2}{2} + \frac{8y^3}{3} + \epsilon(y) \right) = \lim_{y \rightarrow 0^+} -2 - \frac{4y}{2} + \frac{8y^2}{3} = -2$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} x \ln(x) - x \ln(x + 2) = -2$$

Exo7 - Limites.14

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x+1}{x-3} \right)^x \\ \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{1 + \frac{1}{x}}{1 - \frac{3}{x}} \right)^x \\ = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(1 + \frac{1}{x} \right)^x \left(\frac{1}{1 - \frac{3}{x}} \right)^x \\ = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(1 + \frac{1}{x} \right)^x \cdot \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{1}{1 - \frac{3}{x}} \right)^x \\ = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x+1}{x} \right)^x \cdot \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x}{x-3} \right)^x \end{aligned}$$

On a $\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x+k}{x} \right)^x = e^k$ et $\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x}{x+k} \right)^x = \frac{1}{e^k}$ Donc

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x+1}{x-3} \right)^x = e^1 + \frac{1}{e^{-3}} = e \cdot e^3 = e^4$$

Exo7 - Limites.15

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x^3 + 5}{x^2 + 2} \right)^{\frac{x+1}{x^2+1}}$$

Calculons

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \ln \left(\left(\frac{x + \frac{5}{x^2}}{1 + \frac{2}{x^2}} \right)^{\frac{1 + \frac{1}{x}}{x + \frac{1}{x}}} \right)$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1 + \frac{1}{x}}{x + \frac{1}{x}} \ln \left(\frac{x + \frac{5}{x^2}}{1 + \frac{2}{x^2}} \right)$$

On a

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1 + \frac{1}{x}}{x + \frac{1}{x}} = \frac{1}{x}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \ln \left(\frac{x + \frac{5}{x^2}}{1 + \frac{2}{x^2}} \right) = \ln(x)$$

Et (voir exercice 2)

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln(x)}{x} = 0$$

On a

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} a^b = \lim_{x \rightarrow +\infty} e^{\ln(a^b)}$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{x + \frac{5}{x^2}}{1 + \frac{2}{x^2}} \right)^{\frac{1 + \frac{1}{x}}{x + \frac{1}{x}}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} e^{\ln \left(\left(\frac{x + \frac{5}{x^2}}{1 + \frac{2}{x^2}} \right)^{\frac{1 + \frac{1}{x}}{x + \frac{1}{x}}} \right)} = e^0 = 1$$

Exo7 - Limites.16

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{e^x + 1}{x + 2} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

Calculons

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \ln \left(\left(\frac{e^x + 1}{x + 2} \right)^{\frac{1}{x+1}} \right)$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x+1} \ln \left(\frac{e^x + 1}{x + 2} \right)$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x+1} (\ln(e^x + 1) - \ln(x + 2))$$

On a

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x+1} = \frac{1}{x}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \ln(e^x + 1) = x$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} -\ln(x + 2) = -\ln(x)$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x+1} (\ln(e^x + 1) - \ln(x + 2)) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x} (x - \ln(x)) = \lim_{x \rightarrow +\infty} 1 - \frac{\ln(x)}{x} = 1$$

On a

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} a^b = \lim_{x \rightarrow +\infty} e^{\ln(a^b)}$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(\frac{e^x + 1}{x + 2} \right)^{\frac{1}{x+1}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} e^{\ln \left(\left(\frac{e^x + 1}{x + 2} \right)^{\frac{1}{x+1}} \right)} = e^1 = e$$

Exo7 - Limites.17

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} (\ln(1+x))^{\frac{1}{\ln(x)}}$$

On a

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{\ln(x)} = 0^-$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \ln(1+x) = 0$$

Dead end.

Calculons

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \ln \left((\ln(1+x))^{\frac{1}{\ln(x)}} \right)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{\ln(x)} \ln(\ln(1+x))$$

On a

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \ln(\ln(1+x)) = e$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{\ln(x)} = 0$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{\ln(x)} \ln(\ln(1+x)) = 0$$

Et

On a

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} a^b = \lim_{x \rightarrow 0^+} e^{\ln(a^b)}$$

Donc

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} (\ln(1+x))^{\frac{1}{\ln(x)}} = \lim_{x \rightarrow 0^+} e^{\ln \left((\ln(1+x))^{\frac{1}{\ln(x)}} \right)} = e^0 = 1$$

Exo7 - Limites.18

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^{(x^{x-1})}}{x^{(x^x)}}$$

$$\frac{x^{(x^{x-1})}}{x^{(x^x)}} = \frac{x.x.x \dots (x^{x-1} \text{ fois})}{x.x.x \dots (x^x \text{ fois})} = \frac{1}{x^x} = 0$$

Exercice Cauchy

Solution de l'équation différentielle de la forme $(y'(t) = a(t)y(t) + b(t)$ est $y(t) = \lambda e^{A(t)} + y_1(t)$ avec $A(t)$ une primitive de la fonction $a(t)$ et $y_1(t)$ est une solution particulière de l'équation.

Pour $y'(t) - \frac{y(t)}{t^2} = e^{\frac{1}{i}} \sin(t)$, donc $a(t) = \frac{1}{t^2}$ et $b(t) = e^{\frac{1}{i}} \sin(t)$. On a $A(t) = -\frac{1}{t}$. Recherchons une solution particulière de la forme $y_1(t) = \lambda(t)a^{A(t)}$ avec $\lambda'(t) = b(t)e^{A(t)}$.

$$\lambda'(t) = b(t)e^{A(t)} = e^{\frac{1}{i}} \sin(t)e^{-\frac{1}{t}} = \sin(t)$$

donc $\lambda(t) = -\cos(t)$ et $y_1(t) = -\cos(t)e^{-\frac{1}{t}}$

Par conséquent

$$y(t) = \lambda e^{A(t)} + y_1(t) = \lambda e^{-\frac{1}{t}} - \cos(t)e^{-\frac{1}{t}} = e^{-\frac{1}{t}}(\lambda - \cos(t))$$

Calculons l'unique solution $y(2\pi) = e^{-\frac{1}{2\pi}}(\lambda - \cos(2\pi)) = \lambda e^{-\frac{1}{2\pi}} = 0$.

Donc $\lambda = 0$ et l'unique solution est

$$y(t) = -\cos(t)e^{-\frac{1}{t}}$$

QED