

Corrigé série 25

Exercice 1 (10 points)

a) Soit $I = \int_{1+}^2 \frac{1}{x-1} dx$. Par le changement de variables $y = x - 1$, on voit que

$$I = \int_{0+}^1 \frac{1}{y} dy,$$

et on sait par le Théorème 1.3 des notes que cette intégrale diverge.

b) Soit $I = \int_{1+}^2 \frac{1}{\sqrt{x-1}} dx$. Effectuons le changement de variables $y = x - 1$. Alors, on a

$$I = \int_{0+}^1 \frac{1}{y^{1/2}} dy,$$

qui existe par le Théorème 1.3. (En fait, $I = 2$.)

c) Soit $I = \int_{1+}^2 \frac{1}{(x-1)^7} dx$. Effectuons le changement de variables $y = x - 1$. Alors, on a

$$I = \int_{0+}^1 \frac{1}{y^7} dy,$$

qui diverge par le Théorème 1.3.

d) Notons que, pour tout $x \in]0, 1[$,

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots < 1 + x + x^2 + x^3 + \dots = \frac{1}{1-x}.$$

Par suite, $e^x - 1 < \frac{1}{1-x} - 1 = \frac{x}{1-x}$,

et comme $e^x - 1 > 0$ pour tout $x \in]0, 1[$, en prenant les inverses, $\frac{1}{e^x - 1} > \frac{1-x}{x} = \frac{1}{x} - 1$.

Ainsi,

$$\int_{0+}^1 \frac{1}{e^x - 1} dx > \int_{0+}^1 \frac{1}{x} - 1 dx = \int_{0+}^1 \frac{1}{x} dx - 1.$$

Mais, $\int_{0+}^1 \frac{1}{x} dx$ diverge, donc $\int_{0+}^1 \frac{1}{e^x - 1} dx$ diverge aussi.

Exercice 2 (10 points)

a) On a que

$$\int_{0^+}^1 \ln x \, dx = (1 \cdot \ln 1 - 1) - \lim_{y \rightarrow 0^+} (y \ln y - y) = -1.$$

b) Soit $y = x + 1$. Alors,

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(x+1)^2+4} \, dx &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{y^2+4} \, dy = \frac{1}{4} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\left(\frac{y}{2}\right)^2+1} \, dy \\ &= \frac{1}{2} \left[\lim_{y \rightarrow \infty} \left(\arctan \frac{y}{2} \right) - \lim_{y \rightarrow -\infty} \left(\arctan \frac{y}{2} \right) \right] = \frac{\pi}{2}. \end{aligned}$$

c) En utilisant la décomposition en éléments simples, on trouve que

$$\begin{aligned} \int_1^{\infty} \frac{3x-1}{x(4x^2+1)} \, dx &= \int_1^{\infty} \frac{4x}{4x^2+1} \, dx + \int_1^{\infty} \frac{3}{4x^2+1} \, dx - \int_1^{\infty} \frac{1}{x} \, dx \\ &= \left[\frac{1}{2} \log(4x^2+1) \right]_1^{\infty} + \left[\frac{3}{2} \arctan 2x \right]_1^{\infty} - [\log x]_1^{\infty} \\ &= \left[\log \sqrt{4+1/x^2} \right]_1^{\infty} + \frac{3}{4} (\pi - 2 \arctan 2) \\ &= \log \frac{2}{\sqrt{5}} + \frac{3}{4} (\pi - 2 \arctan 2). \end{aligned}$$

d) On a que

$$\int_0^{1^-} \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \, dx = \left(\lim_{x \rightarrow 1^-} \arcsin x \right) - \arcsin 0 = \frac{\pi}{2}.$$

e) Effectuons le changement de variables $u = x - 1$. Alors,

$$I = \int_{1^+}^{\infty} \frac{1}{x\sqrt{x-1}} \, dx = \int_{0^+}^{\infty} \frac{1}{(u+1)\sqrt{u}} \, du.$$

Maintenant, effectuons le changement de variables $w = \sqrt{u}$. Alors, $dw = \frac{1}{2\sqrt{u}} du$ et on trouve que

$$I = 2 \int_0^{\infty} \frac{1}{w^2+1} \, dw = [2 \arctan w]_0^{\infty} = \pi.$$

Exercice 3 (10 points)a) Effectuons le changement de variables $t^2 = e^x - 1$. Alors $\varphi(t) = \ln(t+1)$ et $\varphi'(t) = \frac{2t}{t^2+1}$, donc

$$\int_1^{\infty} \frac{1}{\sqrt{e^x-1}} \, dx = \int_{\sqrt{e-1}}^{\infty} \frac{1}{t} \cdot \frac{2t}{t^2+1} \, dt = \pi - 2 \arctan \sqrt{e-1}.$$

b) Effectuons le changement de variables $x = \varphi(t) = t^2$. Alors, $\varphi'(t) = 2t$ et donc

$$I = \int_0^\infty e^{-\sqrt{x}} dx = \int_0^\infty 2te^{-t} dt.$$

En intégrant par parties, on trouve que

$$I = [-2te^{-t}]_0^\infty + \int_0^\infty 2e^{-t} dt = [-2te^{-t} - 2e^{-t}]_0^\infty = 2.$$

c) Effectuons le changement de variables $t = \tan x$. Alors $\varphi(t) = \arctan(t)$ et $\varphi'(t) = \frac{1}{t^2 + 1}$, donc

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{\pi/2^-} \frac{1}{4 + \tan^2 x} dx = \int_0^\infty \frac{1}{4 + t^2} \cdot \frac{1}{t^2 + 1} dt = \int_0^\infty \frac{1}{3(t^2 + 1)} - \frac{1}{3(t^2 + 4)} dt \\ &= \frac{1}{3} (\arctan \infty - \arctan 0) - \frac{1}{6} (\arctan \infty - \arctan 0) = \frac{\pi}{12}. \end{aligned}$$

Exercice 4 (10 points)

- a) **Faux.** Par exemple, prendre $f(x) = 1$ et $g(x) = -\frac{1}{x}$.
- b) **Vrai.** Effectuer le changement de variables $y = 1 - x$ pour le voir.
- c) **Faux.** Voir l'Exercice 5.
- d) **Vrai.** Comme f est continue, l'intégrale $\int_0^5 f(x) dx$ existe. Ainsi, la somme des trois intégrales sur les intervalles $] -\infty, 0]$, $[0, 5]$, et $[5, \infty[$ existe aussi.

Exercice 5 (5 points)

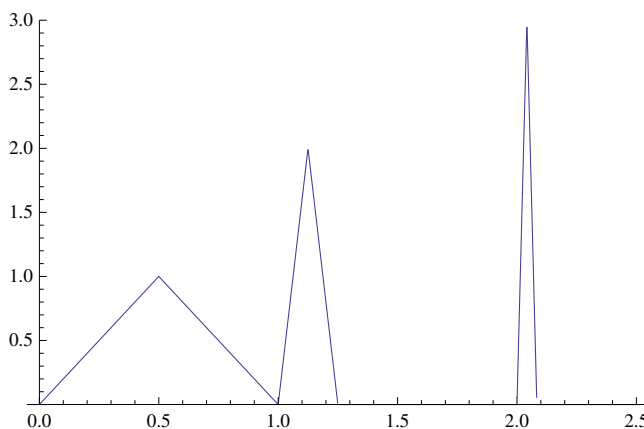
Rappelons que

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 1.$$

On voudrait utiliser la convergence de cette série infinie. On construit $f(x)$ comme suit. Pour chaque $n = 0, 1, 2, \dots$, on pose

$$f(x) = \begin{cases} 2^{n+1}(n+1)^2(x-n) & \text{si } x \in \left[n, n + \frac{1}{2^{n+1}(1+n)} \right], \\ -2^{n+1}(n+1)^2\left(x - n - \frac{1}{2^n(1+n)}\right) & \text{si } x \in \left[n + \frac{1}{2^{n+1}(1+n)}, n + \frac{1}{2^n(1+n)} \right], \\ 0 & \text{si } x \in \left[n + \frac{1}{2^n(1+n)}, n + 1 \right]. \end{cases}$$

Tout cela semble compliqué, mais l'idée est simple. Dans chaque intervalle $[n, n + 1]$, $f(x)$ fait un triangle isocèle de hauteur $n + 1$ avec une base étroite de longueur $\frac{1}{2^n(1+n)}$. (Donc, en générale, sur la plupart de l'intervalle, $f(x)$ est nulle.) Note aussi que f n'est pas bornée, et que l'aire du triangles de l'intervalle $[n, n + 1]$ est $\frac{1}{2^{n+1}}$. (Voir le diagramme ci-dessous.) Donc, on a décrit une fonction non-bornée f telle que $\int_0^\infty f(x) dx < \infty$.



Exercice 6 (10 points)

a) La fonction $\frac{1}{1-x}$ est croissante sur l'intervalle $[0, 1[$. Ainsi, pour tout $t \in [a_k, b_k]$, on a que

$$\frac{1}{1-t} \in \left[\frac{1}{1-a_k}, \frac{1}{1-b_k} \right] = \left[2k\pi + \frac{\pi}{3}, 2k\pi + \frac{2\pi}{3} \right].$$

Par conséquent,

$$\left| \sin \left(\frac{1}{1-t} \right) \right| \geq \sin \frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{2} > \frac{1}{2}$$

pour tout $t \in [a_k, b_k]$.

b) Par la dernière partie et le fait que $\frac{1}{1-x}$ est croissante sur l'intervalle $[0, 1[$, on trouve que

$$\int_{a_k}^{b_k} \frac{1}{1-x} \left| \sin \left(\frac{1}{1-x} \right) \right| dx \geq \frac{1}{2} \int_{a_k}^{b_k} \frac{1}{1-x} dx \geq \frac{1}{2} \cdot (b_k - a_k) \cdot \frac{1}{1-a_k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6k+2}.$$

c) Observons que si $k \neq m$, $[a_k, b_k] \cap [a_m, b_m] = \emptyset$. Observons aussi que $[a_k, b_k] \subset [0, 1[$ pour tout $k = 0, 1, 2, \dots$. Ainsi, il est immédiat de la dernière partie que

$$\int_0^{1^-} \frac{1}{1-x} \left| \sin \left(\frac{1}{1-x} \right) \right| dx \geq \frac{1}{2} \sum_{k=0}^n \frac{1}{6k+2}.$$

d) La somme $\sum_{k=0}^n \frac{1}{6k+2}$ diverge. Ainsi, par la dernière partie, l'intégrale

$$\int_0^{1^-} \frac{1}{1-x} \left| \sin \left(\frac{1}{1-x} \right) \right| dx$$

diverge.

Exercice 7 (10 points)

a) Observons que si $x \in]0; 1]$,

$$|\ln x| = \ln \frac{1}{x}.$$

Pour montrer que

$$\ln \frac{1}{x} \leq \frac{2}{\sqrt{x}},$$

il suffit de montrer que

$$\frac{1}{x} \leq e^{2/\sqrt{x}}.$$

Comme, pour tout $y \in \mathbb{R}$,

$$e^y = 1 + y + \frac{y^2}{2!} + \frac{y^3}{3!} + \dots,$$

on a que

$$e^{2/\sqrt{x}} = 1 + \frac{2}{\sqrt{x}} + \frac{2}{x} + \dots.$$

Comme $x > 0$, il est maintenant clair que

$$e^{2/\sqrt{x}} > \frac{1}{x}.$$

b) En utilisant la première partie, on a que

$$\int_{0^+}^1 \left| \frac{\ln x}{1+x^2} \right| dx \leq \int_{0^+}^1 \frac{2}{x^{1/2} + x^{5/2}} dx < \int_{0^+}^1 \frac{2}{\sqrt{x}} dx = 4,$$

Il suit que $\int_{0^+}^1 \frac{\ln x}{1+x^2} dx$ est absolument convergente, donc convergente.

Exercice 8 (10 points)

a) Pour tout $x \in [a, b]$, soient $F(x) = \int_a^x f(t) dt$ et $G(x) = \int_a^x g(t) dt$. Si $\int_a^b g(x) dx$ converge, alors, par définition, la limite $\lim_{x \rightarrow b^-} G(x)$ existe. Notons que $0 \leq F(x) \leq G(x)$ pour tout $x \in [a, b]$. Ainsi, on a que

$$0 \leq \lim_{x \rightarrow b^-} F(x) \leq \lim_{x \rightarrow b^-} G(x),$$

c'est-à-dire que

$$0 \leq \int_a^{b^-} f(x) dx \leq \int_a^{b^-} g(x) dx < \infty.$$

Par conséquent, $\int_a^{b^-} f(x) dx$ converge aussi.

b) Cette partie est la contraposée de la partie précédente.

Exercice 9 (10 points)

- a) Supposons que $\int_{a^+}^{b^-} f(x) dx$ converge pour un certain $c \in]a, b[$, c'est-à-dire que les intégrales $\int_{a^+}^c f(x) dx$ et $\int_c^{b^-} f(x) dx$ convergent. Soit $d \in]a, b[$. Supposons que $d \geq c$. Alors,

$$\begin{aligned} \int_{a^+}^{b^-} f(x) dx &= \int_{a^+}^c f(x) dx + \int_c^{b^-} f(x) dx \\ &= \int_{a^+}^c f(x) dx + \int_c^d f(x) dx + \int_d^{b^-} f(x) dx \\ &= \int_{a^+}^d f(x) dx + \int_d^{b^-} f(x) dx. \end{aligned}$$

Ainsi, $\int_{a^+}^{b^-} f(x) dx$ converge pour d aussi. De même, $\int_{a^+}^{b^-} f(x) dx$ converge si $d \leq c$ aussi. Ainsi, $\int_{a^+}^{b^-} f(x) dx$ converge pour tout autre d aussi.

- b) Prendre $f(x) = \frac{1}{x}$, $a = -1$, et $b = 0$. Pour tout $c \in]a, b[$, on a que $\int_{a^+}^c f(x) dx$ converge, alors que $\int_c^{b^-} f(x) dx$ diverge.

Exercice 10 (10 points)

- a) Observons que

$$\int_{0^+}^{1/2} \frac{1}{x^r} dx \leq \int_{0^+}^{1/2} \frac{1}{x^r(1-x)^s} dx \leq 2^s \int_{0^+}^{1/2} \frac{1}{x^r} dx.$$

Il suit que $\int_{0^+}^{1/2} \frac{1}{x^r(1-x)^s} dx$ converge si et seulement si $r < 1$.

- b) On peut prouver de la même façon que $\int_{1/2}^{1^-} \frac{1}{x^r(1-x)^s} dx$ converge si et seulement si $s < 1$.
- c) Cette partie suit immédiatement des deux premières parties.