Devoir Libre 9

Exercice 1: Développement Eulérien et Fonction périodique

Partie 1: Etude de φ

1. **Symétrie et prériode**

   (a) $D = \mathbb{R} - \mathbb{Z}$ Pour $x \in D$, on a :

$$\varphi(x) = \frac{1}{x} - \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2x}{n^2 - x^2} = \frac{1}{x} - \sum_{n=1}^{+\infty} u_n(x)$$

Soit x un réel.
Pour que $\varphi(x)$ soit définie sur D, il faut que $\forall x \in D$, $\varphi(x)$ converge. Décomposons $\varphi(x)$ en deux :

$$\varphi(-x) = \underbrace{\frac{1}{x}}_{A(x)} - \underbrace{\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2x}{n^2 - x^2}}_{B(x)}$$

❏ $A(x)$ existe pour $x \neq 0$.

❏ $B(x)$ n'existe pas si $x = n \in \mathbb{N}$. De plus, pour $x \in D$, on a :

$$\frac{2x}{n^2 - x^2} \underset{n \to +\infty}{\sim} \frac{1}{n^2}$$

Ainsi, par le théorème de compraison des séries à termes positifs, $B(x)$ a même nature que $\sum\limits_{n=0}^{+\infty} \frac{1}{n^2}$.

Or, la série de référence de Riemann $\sum\limits_{n=0}^{+\infty} \frac{1}{n^2}$ converge. Alors $B(x)$ converge.

D'où, φ bien définie sur D.
De plus, pour $x \in D$:

$$\begin{array}{rrcl} & \varphi(-x) & = & \frac{1}{-x} - \sum\limits_{n=1}^{+\infty} \frac{2(-x)}{n^2-x^2} \\ \iff & \varphi(-x) & = & -\frac{1}{x} + \sum\limits_{n=1}^{+\infty} \frac{2x}{n^2-x^2} \\ \iff & \varphi(-x) & = & -\left(\frac{1}{x} - \sum\limits_{n=1}^{+\infty} \frac{2x}{n^2-x^2}\right) \\ \iff & \varphi(-x) & = & -\varphi(x) \end{array}$$

Ainsi :

$$\boxed{\varphi \text{ est bien définie sur } D \text{ et } \varphi \text{ est } \textbf{impaire}.}$$

   (b) Soit $x \in D$. D'après l'ennoncé, on a :

$$\varphi(x) = \frac{1}{x} - \underbrace{\sum_{n=1}^{+\infty} \left(\frac{1}{n-x}\right)}_{A(x)} + \underbrace{\sum_{n=1}^{+\infty} \left(\frac{1}{n+x}\right)}_{B(x)}$$

Ces séries $A(x)$ et $B(x)$ sont divergentes, passons donc par des somme partielles puis faisons tendre la borne N vers $+\infty$. ☺

Soit $N \in \mathbb{N}$. Posons $\varphi_N(x) = \frac{1}{x} - \sum\limits_{n=1}^{+\infty}\left(\frac{1}{n-x}\right) + \sum\limits_{n=1}^{+\infty}\left(\frac{1}{n+x}\right)$. Calculons $\varphi_N(x+1)$:

$$\begin{array}{rrcl}
 & \varphi_N(x+1) & = & \frac{1}{x+1} - \sum\limits_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{n-1-x}\right) + \sum\limits_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{n+1+x}\right) \\
\iff & \varphi_N(x+1) & = & \frac{1}{x+1} - \sum\limits_{n=0}^{N-1}\left(\frac{1}{n-x}\right) + \sum\limits_{n=2}^{N+1}\left(\frac{1}{n+x}\right) \\
\iff & \varphi_N(x+1) & = & \frac{1}{x+1} - \left(\sum\limits_{n=1}^{N-1}\left(\frac{1}{n-x}\right) + \frac{1}{-x} - \frac{1}{N-x}\right) + \left(\sum\limits_{n=1}^{N+1}\left(\frac{1}{n+x}\right) - \frac{1}{1+x} + \frac{1}{N+1+x}\right) \\
\iff & \varphi_N(x+1) & = & \frac{1}{x} - \sum\limits_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{n-x} - \frac{1}{n+x}\right) + \underbrace{\frac{1}{N+1+x} + \frac{1}{N-x}}_{\epsilon(x)} \\
\iff & \varphi_N(x+1) & = & \varphi_N(x) + \epsilon(x)
\end{array}$$

Or

$$\begin{array}{rrcl}
 & \lim\limits_{N\to+\infty} \epsilon(x) & = & 0 \\
\Rightarrow & \varphi(x+1) & = & \varphi(x)
\end{array}$$

Ainsi :

$$\boxed{\varphi \text{ est 1-préiodique.}}$$

Remarques :

— *j'ai noté "1-périodique" comme on note "π-périodique" $\rightarrow$ vous m'avez déjà répondu en cours.*

— *j'ai utilisé les sommes partielles parce que vous nous l'avez dit en cours, je n'avais pas vu de problème à utiliser des séries qui divergent...*

(c) D n'est pas un intervalle mais une union infinie d'intervalles ouverts. De plus, φ est une somme infinie de fonctions continues, donc je ne pense pas que l'argument "en tant que somme de fonctions continues" marche ici.

2. **Continuité**

(a) Je n'avais pas réussi cette question. J'ai compris avec le corrigé, mais franchement je ne pense pas que j'aurai trouvé sans y passer beaucoup de temps... Concrètement en DS/concours j'aurai sauté la question !

Par contre dans le corrigé il n'y aurait pas une erreur ? à la ligne :

$$\text{Mais on a } x+h \in \left[-\tfrac{1}{2}, \tfrac{3}{2}\right] \text{ donc } \begin{cases} x+h \leq \frac{3}{2} \Rightarrow n-(x+h) \geq n - \frac{3}{2} \\ x+h \leq -\frac{1}{2} \Rightarrow n+(x+h) \geq n - \frac{1}{2} \end{cases}$$

(b) D'après la question précédente, on a :

$$\forall x \in [0,1], \left|\frac{g(x+h)-g(x)}{h}\right| \leq C$$

avec $C = \sum\limits_{n=2}^{+\infty} \frac{2}{(n-1)\left(n-\frac{3}{2}\right)}$ Or, $\frac{2}{(n-1)\left(n-\frac{3}{2}\right)} \underset{+\infty}{\sim} \frac{2}{n^2}$, donc par le théorème de comparaison de séries à termes positifs, C converge.

$$\boxed{g \in \mathcal{C}([0,1])}$$

(c) Soit $x \in]0,1[$.

$$\varphi(x) = \underbrace{\frac{1}{x} + \frac{2x}{1-x^2}}_{\in\mathcal{C}(]0,1[)} - \underbrace{g(x)}_{\in\mathcal{C}([0,1])}$$

Alors $\varphi \in \mathcal{C}(]0,1[)$. De plus, comme φ est 1-périodique :

$$\boxed{\varphi \in \mathcal{C}(D)}$$

(d) Je suppose qu'ici c'est le piège d'inverser limite et somme infinie :

$$\lim_{x\to 0}\left(\sum_{n=0}^{+\infty}\frac{2x}{n^2-x^2}\right)\underset{\text{pas forcément}}{=}0$$

Ha oui mais non car ici $g(0)$ existe d'après la question 2.(b). Donc on peut le calculer directement, sans faire de limite ?
$g(0)=0$ et

$$\begin{aligned} & \varphi(x)=\tfrac{1}{x}+\tfrac{2x}{1-x^2}-g(x) \\ \Rightarrow\quad & \varphi(x)\underset{x\to 0}{\sim}\tfrac{1}{x}\end{aligned}$$

De plus, comme φ est 1-périodique, φ aura le même équivalent en 0 qu'en $0+1$
D'où

$$\boxed{\begin{cases}\varphi(x)\underset{x\to 0}{\sim}\frac{1}{x}\\[2ex] \varphi(x)\underset{x\to 1}{\sim}\frac{1}{x}\end{cases}}$$

Partie 2: Etude d'un endomorphisme de E

1. Bon comme je ne me suis pas bouché les oreilles, je sais qu'il faut faire attention à l'***endo*** plus qu'au *morphisme* !

   Soit $f\in E \iff f\in\mathcal{C}([0,1])$

   ❏ Montrons que T est une application linéaire.
   Soit $(f,i)\in E^2$ et $(\lambda,\mu)\in\mathbb{R}^2$.

$$\begin{aligned} T(\mu f+\lambda i)(x) &= (\mu f+\lambda i)\left(\tfrac{x}{2}\right)+(\mu f+\lambda i)\left(\tfrac{x+1}{2}\right)\\ &= \mu f\left(\tfrac{x}{2}\right)+\lambda i\left(\tfrac{x}{2}\right)+\mu f\left(\tfrac{x+1}{2}\right)+\lambda i\left(\tfrac{x+1}{2}\right)\\ &= \mu T(f)(x)+\lambda T(i)(x)\end{aligned}$$

   Donc T est linéaire.

   ❏ Montrons que $T: E\to E$ $x\in[0,1]\to\frac{x}{2}\in[0,1]$ et $\frac{x+1}{2}\in[0,1]$. Donc :

$$T(f)(x)=\underbrace{f\left(\frac{x}{2}\right)}_{\in E}+\underbrace{f\left(\frac{x+1}{2}\right)}_{\in E}$$

   Ainsi, T est un endomorphisme.

   ❏ Montrons que F_n est stable par T
   i.e. montrons que $T(F_n)=F_n$ avec :
   Pour $x\in[0,1]$, $F_n=Vect\{(\underbrace{x\mapsto 1}_{e_0},\underbrace{x\mapsto x}_{e_1},\underbrace{x\mapsto x^2}_{e_2},\underbrace{x\mapsto x^3}_{e_3},...,\underbrace{x\mapsto x^n}_{e_n})\}$

$$\begin{aligned} f\in F_n \quad&\Rightarrow\quad f=\sum_{k=0}^{n}\alpha_k e_k\\ &\Rightarrow\quad T(f)(x)=\sum_{k=0}^{n}\alpha_k T(e_k)(x)\\ &\Rightarrow\quad T(f)(x)=\sum_{k=0}^{n}\alpha_k\frac{x^k+(x+1)^k}{2^k}\\ &\Rightarrow\quad T(f)(x)=\sum_{k=0}^{n}\beta_k\left(x^k+(x+1)^k\right)\end{aligned}$$

   On retrouve une combinaison linéaire des e_k. Donc $T(f)=\sum_{k=0}^{n}\alpha'_k e_k$.

Ainsi

$$\boxed{T \text{ est un endomorphisme de } E \text{ et } F_n \text{ est stable par } T.}$$

2. On a donc ; $T_n : F_n \to F_n$. *Les fonctions sont donc maintenant uniquement des polynômes*
Montrons que T_n est diagonalisable. Notons d'abord que $\mathcal{B}_n$ est une base car une famille de degré échelonnée donc libre et génératrice de F_n car $\mathcal{B}_n = Vect\{F_n\}$. Ecrivons la matrice associée à T_n dans la base $\mathcal{B}_n$. On a :

$$\begin{aligned} T_n(e_j) &= x \mapsto \frac{x^j}{2^j} + \frac{(x+1)^j}{2^j} \\ &= x \mapsto \frac{x^j}{2^j} + \frac{1}{2^j} \times \sum_{k=0}^{j} \begin{pmatrix} j \\ k \end{pmatrix} x^k \end{aligned}$$

Donc :

$$\underset{\mathcal{B}_n,\mathcal{B}_n}{mat}(T_n) = A = \begin{array}{cc} \begin{array}{cccccc} T_n(e_1) & T_n(e_2) & \dots & T_n(e_j) & \dots & T_n(e_n) \end{array} & \\ \begin{pmatrix} 2 & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ 0 & 1 & & & & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 2^{1-i} & & a_{in} \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 2^{1-n} \end{pmatrix} & \begin{array}{c} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_i \\ \vdots \\ e_n \end{array} \end{array}$$

On remarque donc que A est triangulaire supérieure, et donc, par propriété son déterminant est le produit des coefficients de la diagnoale. On en déduit son polynôme caractéristique :

$$\chi(x) = \prod_{k=0}^{n} \left(x - \frac{1}{2^{k-1}} \right)$$

χ est donc scindé à racines simples dans $\mathbb{R}$, par théorème, A est diagonalisable, d'où :

$$\boxed{T_n \text{ est diagonalisable.}}$$

3. **Etude de l'espace propre de T associé à 2**
   (a) Comme on l'a montré précédemment, $\chi(x) = \prod_{k=0}^{n} \left(x - \frac{1}{2^{k-1}} \right)$. 2 est racine du polynôme, donc 2 est valeur propre de T_n. Ainsi

   $$\boxed{2 \in Sp(T)}$$

   (b) On a :
   — $[0, 1]$ est un intervalle
   — $f \in \mathcal{C}([0, 1])$
   Par le théorème des bornes atteintes, f est bornée et atteint ses bornes. D'où :

   $$\boxed{\exists (x_0, x_1) \in [0, 1]/(m, M) = (f(x_0), f(x_1))}$$

   (c) On a $f \in Ker(T - 2Id_E)$, donc f est vecteur propre de T associé à la valeur propre 2, d'où :

   $$\begin{aligned} & T(f) = 2f \\ \Rightarrow \quad & T(f)(x_0) = 2f(x_0) \\ \Rightarrow \quad & f\left(\tfrac{x_0}{2}\right) + \underbrace{f\left(\frac{x_0+1}{2}\right)}_{\geq m} = 2m \\ \Rightarrow \quad & f\left(\tfrac{x_0}{2}\right) \leq m \end{aligned}$$

   De même :

   $$f\left(\tfrac{x_0}{2}\right) = 2f(x_0) - \underbrace{f\left(\frac{x_0+1}{2}\right)}_{\geq m}$$

   $$\begin{aligned} \Rightarrow \quad & f\left(\tfrac{x_0}{2}\right) \geq 2f(x_0) - m \\ \Rightarrow \quad & f\left(\tfrac{x_0}{2}\right) \geq m \end{aligned}$$

On a donc bien :

$$\boxed{f\left(\frac{x_0}{2}\right) = m}$$

(d) Pour $n \in \mathbb{N}$ on définit "$P(n) : f\left(\frac{x_0}{2^n}\right) = m$".

- Initialisation : pour $n = 0$
  $f(x_0) = m$: OK d'après la question 3.(b)
- Heredite : pour $n \in \mathbb{N}$ fixé, supposons $P(n)$ vraie, montrons que $P(n+1)$ l'est aussi. On a, d'après le raisonnement précédent :
  $$f\left(\frac{x_0}{2^n}\right) = m \Rightarrow f\left(\frac{x_0}{2^{n+1}}\right) = m$$
  D'où $P(n+1)$ vraie.
- Conclusion : On a montré l'initialisation et l'hérédité de P. Par le principe de démonstration par récurrence, on a montré :

$$\boxed{\forall n \in \mathbb{N}, f\left(\frac{x_0}{2^n}\right) = m}$$

De plus :

$$\underset{n\to+\infty}{lim} f\left(\frac{x_0}{2^n}\right) = m$$

$$\Rightarrow \quad f(0) = m$$

Donc

$$\boxed{f(0) = m}$$

(e) Par exactement le même raisonnement que pour les 3 relations précédentes :

$$\boxed{M = f(0)}$$

(f) On a montré que pour f quelconque appartenant à $Ker(T - 2Id_E)$:

$$\underset{x\in[0,1]}{inf} f(x) = \underset{x\in[0,1]}{sup} f(x) = f(0)$$

$$\Rightarrow \quad \forall x \in [0,1], f(x) = f(0)$$

Donc

$$\boxed{Ker(T - 2Id_E) = \{f \in \mathcal{C}([0,1]) / \forall x \in [0,1], f(x) = f(0)\}}$$

Partie 3: Etude de *cotan*

1. $cotan(x) = \frac{cos(x)}{sin(x)}$
   Soit $x \in \mathbb{R}$.
   D'après le théorème de la bijection écrit dans mon cours de PTSI :
   Si :
   — f est strictement monotone sur I
   — f et continue sur I
   Alors :
   — f réalise une bijection de I sur $f(I)$
   — f et f^{-1} ont la même monotonie
   — f^{-1} est continue

   - Continuité : $cotan$ est continue sur $]0,\pi[$ car sin s'annule en 0 et π.
   - Monotonie : Calculons la dérivée.
     $cotan$ est donc dérivable sur $]0,\pi[$ et :
     $\forall x \in]0,\pi[, cotan'(x) = \frac{-sin^2(x) - cos^2(x)}{sin^2(x)} = -\frac{1}{sin^2(x)}$ Ainsi, $cotan$ est strictement décroissante sur $]0,\pi[$.

Par théorème :

$$\boxed{f \text{ réalise une bijection de } I =]0,\pi[\text{ sur } f(I) = \mathbb{R}}$$

2. Soit $y \in \mathbb{R}$. On cherche $x \in I$ tel que $y = cotan(x)$

$$\begin{aligned} &\iff \quad y = \tfrac{cos(x)}{sin(x)} \\ &\iff \quad y = \tfrac{1}{tan(x)} \\ &\iff \quad x = arctan\left(\tfrac{1}{y}\right) \\ &\iff \end{aligned}$$

Or, on a la relation : $\forall x \in \mathbb{R}, arctan(x) + arctan\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{\pi}{2}$. D'où

$$\iff \quad x = \tfrac{\pi}{2} - arctan(x)$$

Donc :

$$\boxed{\forall y \in \mathbb{R}, arccotan(y) = \tfrac{\pi}{2} - arctan(y)}$$

3. Pour $x \in I$

$$\begin{aligned} & \psi(x) = \pi cotan(\pi x) = \pi \tfrac{cos(\pi x)}{sin(\pi x} \\ \iff \quad & \psi(x) \underset{0}{=} \pi \left(\tfrac{1 - \frac{\pi^2 x^2}{2} + o(x^2)}{\pi x} \right) \\ \iff \quad & \psi(x) \underset{0}{=} \tfrac{1}{x} - \tfrac{\pi^2}{2} x + o(x) \end{aligned}$$

<u>Remarque</u> : Comme je ne trouve pas pareil je suppose que je ne suis pas allé assez loin dans mon DL, et qu'il est donc incomplet ? Ce qui explique qu'il manque $-\frac{\pi^2}{6}$ devant le coefficient de x.

$$\begin{aligned} \iff \quad & \psi(x) \underset{0}{=} \pi \left(\tfrac{1 - \frac{\pi^2 x^2}{2} + o(x^2)}{\pi x + \frac{\pi^3 x^3}{6} + o(x^3)} \right) \\ \iff \quad & \psi(x) \underset{0}{=} \left[\tfrac{1}{x}\right] \left[1 - \tfrac{\pi^2 x^2}{2} + o(x^2)\right] \underbrace{\left[\frac{1}{1 + \frac{\pi^2 x^2}{6} + o(x^2)} \right]}_{\underset{0}{=} 1 + \frac{\pi^2 x^2}{6} + o(x^2)} \\ \iff \quad & \psi(x) \underset{0}{=} \left[\tfrac{1}{x}\right] \left[1 - \tfrac{\pi^2 x^2}{2} + o(x^2)\right] \left[1 + \tfrac{\pi^2 x^2}{6} + o(x^2)\right] \\ \iff \quad & \psi(x) \underset{0}{=} \tfrac{1}{x} - \tfrac{\pi^2}{3} x + o(x) \end{aligned}$$

D'où :

$$\boxed{\psi(x) \underset{0}{=} \tfrac{1}{x} - \tfrac{\pi^2}{3} x + o(x)}$$

4. Soit $x \in D$.

$$\begin{aligned} \psi\left(\tfrac{x}{2}\right) + \psi\left(\tfrac{x+1}{2}\right) &= \pi \left[cotan\left(\tfrac{\pi x}{2}\right) + cotan\left(\tfrac{\pi(x+1)}{2}\right)\right] \\ &= \pi \left[cotan\left(X\right) + cotan\left(X + \tfrac{\pi}{2}\right)\right] \\ &= \pi \left[cotan\left(X\right) + tan\left(X\right)\right] \\ &= \pi \left[\tfrac{cos^2(X) + sin^2(X)}{sin(X)cos(X)}\right] \\ &= 2\pi \left[\tfrac{cos(2X)}{sin(2X)}\right] \\ &= 2\pi cotan(\pi x) \\ &= 2\psi\left(x\right) \end{aligned}$$

D'où

$$\boxed{\forall x \in D, \psi\left(\tfrac{x}{2}\right) + \psi\left(\tfrac{x+1}{2}\right) = 2\psi(x)}$$

5. ψ ne peut pas être vecteur propre de T car $\psi \notin E$ car ψ non continue en 0 et 1.

Partie 4: Développement eulérien

1. Passons par les sommes partielles. Soit $N \in \mathbb{N}$

$$\begin{aligned}
\varphi_N\left(\frac{x}{2}\right) &= \frac{2}{x} - \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{2}{2n-x}\right) + \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{2}{2n+x}\right) \\
&= 2\left[\frac{1}{x} - \sum_{n=2}^{2N}\left(\frac{1}{n-x}\right) + \sum_{n=2}^{2N}\left(\frac{1}{n+x}\right)\right]
\end{aligned}$$

Or,

$$\begin{cases}
\sum_{n=2}^{2N}\left(\frac{1}{n-x}\right) = -\frac{1}{1-x} + \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{n-x}\right) + \sum_{n=N+1}^{2N}\left(\frac{1}{n-x}\right) \\
\sum_{n=2}^{2N}\left(\frac{1}{n+x}\right) = -\frac{1}{1+x} + \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{n+x}\right) + \sum_{n=N+1}^{2N}\left(\frac{1}{n+x}\right)
\end{cases}$$

De même :

$$\begin{aligned}
\varphi_N\left(\frac{x+1}{2}\right) &= 2\left[\frac{1}{x+1} - \sum_{n=2}^{2N}\left(\frac{1}{n-x-1}\right) + \sum_{n=2}^{2N}\left(\frac{1}{n+x+1}\right)\right] \\
&= 2\left[\frac{1}{x+1} - \sum_{n=1}^{2N-1}\left(\frac{1}{n-x}\right) + \sum_{n=3}^{2N+1}\left(\frac{1}{n+x}\right)\right]
\end{aligned}$$

Et,

$$\begin{cases}
\sum_{n=1}^{2N-1}\left(\frac{1}{n-x}\right) = -\frac{1}{1-x} - \frac{1}{2N-x} + \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{n-x}\right) + \sum_{n=N+1}^{2N}\left(\frac{1}{n-x}\right) \\
\sum_{n=3}^{2N+1}\left(\frac{1}{n+x}\right) = -\frac{1}{1+x} - \frac{1}{2+x} + \frac{1}{2N-x} + \sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{n+x}\right) + \sum_{n=N+1}^{2N}\left(\frac{1}{n+x}\right)
\end{cases}$$

En sommant tous les termes, on trouve :

$$\varphi_N\left(\frac{x}{2}\right) + \varphi_N\left(\frac{x+1}{2}\right) = 2\varphi_N(x) + \frac{2}{2N-x}$$

Donc, lorsque $N \to +\infty$:

$$\boxed{\varphi\left(\frac{x}{2}\right) + \varphi\left(\frac{x+1}{2}\right) = 2\varphi(x)}$$

2. On a déjà $\varphi - \psi$ continue sur $]0,1[$.
Calculons, si elle existe, la limite en 0 de $\varphi - \psi$. Comme ψ et φ sont 1-périodiques, elles auront la même limite en 1. On a déjà calculé les DL en 0 de ψ et φ, d'où :

$$\begin{aligned}
\varphi - \psi &\underset{0}{=} \frac{1}{x} - \frac{1}{x} + \frac{\pi^2}{3}x + o(x) \\
&\underset{0}{=} \frac{\pi^2}{3}x + o(x) \\
\Rightarrow \quad \lim_{x\to 0}(\varphi - \psi) &= 0
\end{aligned}$$

Ainsi :

$$\boxed{\varphi - \psi \text{ se prolonge par continuité en 0 et 1, et } (\varphi-\psi)(0) = (\varphi-\psi)(1) = 0}$$

3. Pour un peu plus de clareté, notons $\Psi = \varphi - \psi$.
$\Psi \in \mathcal{C}([0,1]) \Rightarrow \Psi \in E$. On peut donc appliquer T à Ψ.

Notons de plus que, grâce aux questions III 4. et IV 1., on peut écrire :

$$\begin{aligned}
& T(\Psi) = 2\Psi \\
\Rightarrow \quad & \Psi \in Ker(T - 2Id_E) \\
\Rightarrow \quad & \forall x \in [0,1], \Psi(x) = \Psi(0) = 0 \\
\Rightarrow \quad & \varphi = \psi
\end{aligned}$$

On a donc montré que :

$$\boxed{\varphi = \psi}$$

4. **Application et généralisation**

(a) On remarque que :

$$\begin{aligned}
\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{9n^2-1} &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\times\frac{1}{3}}{n^2-\frac{1}{3}} \\
&= 3-\psi\left(\frac{1}{3}\right) \\
&= 3-\pi cotan\left(\frac{\pi}{3}\right) \\
&= 3-\pi\frac{1}{\sqrt{3}} \\
&= 1-\frac{\pi}{3\sqrt{3}}
\end{aligned}$$

D'où

$$\boxed{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{9n^2-1} = 1-\frac{\pi}{3\sqrt{3}}}$$

(b) Je suppose que ce n'est pas $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$ mais $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$.

On a :

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2-x^2} &=& \frac{1}{2x}(2-\varphi) \\
& &=& \frac{1}{2x}(2-\psi) \\
\text{Or} \quad & \frac{1}{2x}(2-\psi) &\underset{0}{\sim}& \frac{1}{2x}\left(2-\frac{1}{x}+\frac{\pi^2}{3}x+o(x)\right) \\
& &\underset{0}{\sim}& \frac{\pi^2}{6}+o(1) \\
\text{Donc} \quad & \lim_{x\to 0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2-x^2} &=& \frac{\pi^2}{6} \\
\Rightarrow \quad & \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} &=& \frac{\pi^2}{6}
\end{aligned}$$

D'où

$$\boxed{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}}$$

Remarques :

— *je ne pense pas avoir bien rédiger...*

— *il me semble qu'en cours on avait vu la fonction zeta de Riemann, et :*

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \zeta(2) = \frac{\pi^2}{6}$$

(c)

$$(\mathcal{R}_0') : \forall x \in \mathbb{C}-\mathbb{Z}, \pi cotan(\pi x) = \frac{1}{x} - \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{2x}{n^2-x^2}$$

Passons sous forme exponentielle

$$\begin{aligned}
& cotan(x) &=& \frac{cos(x)}{sin(x)} \\
\Rightarrow \quad & cotan(x) &=& i\frac{e^{ix}+e^{-ix}}{e^{ix}-e^{-ix}} \\
\Rightarrow \quad & cotan(x) &=& -i\frac{cosh(x)}{sinh(x)}
\end{aligned}$$

Donc, pour $y \in \mathbb{R}^*$

$$\begin{aligned}
-\pi\frac{cosh(\pi y)}{sinh(\pi x)} &= \frac{1}{x} - \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{2x}{n^2-x^2}\\
\Rightarrow \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^2-x^2} &= \frac{1}{2x}\left(\frac{1}{x} + \pi\frac{cosh(\pi x)}{sinh(\pi x)}\right)\\
\Rightarrow \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^2-x^2} &= \frac{1}{2x^2}\left(1 + \pi x\frac{cosh(\pi x)}{sinh(\pi x)}\right)\\
\Rightarrow \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^2-x^2} &= \frac{1}{2x^2}\left(1 + \pi x\frac{cosh(\pi x)}{sinh(\pi x)}\right)
\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \left\{\begin{aligned} x &= iy\\ \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^2+y^2} &= -\frac{1}{2y^2}\left(1 + \pi\frac{cosh(\pi iy)}{sinh(\pi iy)}\right)\end{aligned}\right.$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^2+y^2} &= \frac{1}{2y^2}\left(-\pi\frac{cosh(\pi iy)}{sinh(\pi iy)} - 1\right)\\
\Rightarrow \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^2+y^2} &= \frac{1}{2y^2}\left(\pi\frac{cosh(\pi y)}{sinh(\pi y)} - 1\right)
\end{aligned}$$

D'où

$$\boxed{\sum_{n=1}^{+\infty}\frac{1}{n^2+y^2} = \frac{1}{2y^2}\left(\pi\frac{cosh(\pi y)}{sinh(\pi y)} - 1\right)}$$

Partie 5: Calcul d'un intégrale à paramètre

1. (a) question a
   (b) question b
   (c) question c
2. question 2
3. question 3
4. question 4
5. question 5
6. question 6

Exercice 2: Temps d'attente d'une séquence dans un automate

Partie 1: Etude d'un cas simple

1. question 1
2. question 2
3. question 3
4. question 4

Partie 2: Etude d'un cas intermédiaire

1. question a
2. question a
3. question a
4. question a
5. question a
6. question a

7. question a
8. question a
9. question a
10. question a
11. question a