

**Exercices avec solutions : LIMITE ET CONTINUITÉ**

**Exercice1** : Soit la fonction :  $f : x \mapsto 2x^2 + 3x + 1$   
 Montrer en utilisant la définition que :  $\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 6$

**Solution** : Montrons que :  
 $(\forall \varepsilon > 0)(\exists \alpha > 0)(\forall x \in Df)(0 < |x-1| < \alpha \Rightarrow |f(x)-6| < \varepsilon$  ?

Soit :  $I = \left] 1 - \frac{1}{2}; 1 + \frac{1}{2} \right[ = \left] \frac{1}{2}; \frac{3}{2} \right[$

$x \in \left] 1 - \frac{1}{2}; 1 + \frac{1}{2} \right[$  donc

$|f(x) - 6| = |2x^2 + 3x - 5| = |x-1||2x+5|$

$x \in \left] \frac{1}{2}; \frac{3}{2} \right[$  donc :  $|x-1| < \frac{1}{2}$

$x \in \left] \frac{1}{2}; \frac{3}{2} \right[$  donc :  $\frac{1}{2} < x < \frac{3}{2}$  donc :  $6 < 2x+5 < 8$

donc :  $|2x+5| < 8$  donc :  $|2x+5||x-1| \leq 8|x-1|$

Soit  $\varepsilon > 0$  on cherche  $\alpha > 0$  tel que :

$0 < |x-1| < \alpha \Rightarrow |f(x)-6| < \varepsilon$

Pour avoir  $\Rightarrow |f(x)-6| < \varepsilon$  il suffit d'avoir  $8|x-1| < \varepsilon$

et  $|x-1| < \frac{1}{2}$  cad  $|x-1| < \frac{\varepsilon}{8}$  et  $|x-1| < \frac{1}{2}$

Il suffit de prendre  $\alpha$  le plus petit des

nombres :  $\frac{\varepsilon}{8}$  et  $\frac{1}{2}$  cad  $\alpha = \inf\left(\frac{\varepsilon}{8}; \frac{1}{2}\right)$

donc :  $\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 6$

**Exercice2** : Soit la fonction  $f : x \mapsto \frac{(x+1)^2}{|x^2-1|}$

Etudier la limite de f en  $x_0 = -1$

**Solution** :

Déterminons  $\lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x > -1}} f(x)$  et  $\lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x < -1}} f(x)$  ?

Solution :  $\forall x \in \mathbb{R} - \{-1; 1\}$

Si :  $-1 < x < 1$  :  $f(x) = \frac{(x+1)^2}{|x+1||x-1|} = -\frac{x+1}{x-1}$

Donc :  $\lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x > -1}} f(x) = \lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x > -1}} -\frac{x+1}{x-1} = 0$

Si :  $x < -1$  :  $f(x) = \frac{(x+1)^2}{|x+1||x-1|} = \frac{x+1}{x-1}$

Donc :  $\lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x < -1}} f(x) = \lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x < -1}} \frac{x+1}{x-1} = 0$

donc :  $\lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x > -1}} f(x) = \lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x < -1}} f(x) = 0$  donc :  $\lim_{x \rightarrow -1} f(x) = 0$

**Exercice3**: Déterminer les limites suivantes :

1)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x^2+3}+1}{2x-1}$       2)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} 2x^3 + x^2 - x + 4$

3)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{2x+5x^2-7x^4}{x-10x^2+14x^3}$       4)  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{3x+8x^2-2x^5}{x^2+2x^6}$

5)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{x^2+x} - x$       6)  $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{\tan x - 1}{x - \frac{\pi}{4}}$

**Solutions** : 1)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x^2+3}+1}{2x-1} = \frac{3}{1} = 3$

2)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} 2x^3 + x^2 - x + 4 = \lim_{x \rightarrow +\infty} 2x^3 = +\infty$

3)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{2x+5x^2-7x^4}{x-10x^2+14x^3} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{-7x^4}{14x^3} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{-x}{2} = -\infty$

4)  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{3x+8x^2-2x^5}{x^2+2x^6} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{-2x^5}{2x^6} = \lim_{x \rightarrow -\infty} -\frac{1}{x} = 0$

5)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{x^2+x} - x$  ?

On a :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} x^2 + x = +\infty$  donc :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{x^2+x} = +\infty$

Et  $\lim_{x \rightarrow +\infty} -x = -\infty$

on trouve une formes indéterminée : "+∞ - ∞"

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

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

$= \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x}{|x|\sqrt{\left(1+\frac{1}{x}\right)}+x}$  or  $x \rightarrow +\infty$  donc  $|x| = x$

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

6)  $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{\tan x - 1}{x - \frac{\pi}{4}}$  On pose  $x - \frac{\pi}{4} = h$

donc  $x \rightarrow \frac{\pi}{4} \Leftrightarrow h \rightarrow 0$

$$\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{\tan x - 1}{x - \frac{\pi}{4}} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\tan\left(h + \frac{\pi}{4}\right)}{h}$$

or :  $\tan\left(h + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{\tan h + \tan \frac{\pi}{4}}{1 - \tan h \times \tan \frac{\pi}{4}} = \frac{\tan h + 1}{1 - \tan h}$

$$\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \frac{\tan x - 1}{x - \frac{\pi}{4}} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{2}{1 - \tan h} \times \frac{\tan h}{h} = \frac{2}{1} \times 1 = 2$$

**Exercice4** : Soient les fonctions tels que :

$$f(x) = \sqrt{2x+1}(-3x^2 + x) \text{ et } g(x) = \frac{-2x^2+1}{(x-3)^2}(\sqrt{x}+1)$$

$$k(x) = \frac{-3x+1}{x(x-2)} \text{ et } h(x) = \frac{x^2+1}{x^3} \sin x$$

1) Déterminer :  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$  et  $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x)$

2) Déterminer :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} g(x)$  et  $\lim_{x \rightarrow 3} g(x)$

3) Déterminer :  $\lim_{x \rightarrow 0} h(x)$

4) Déterminer les limites aux bornes du domaine de définition de k

**Solution :**

1) Déterminer :  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$  et  $f(x) = \sqrt{2x+1}(-3x^2 + x)$

$$\lim_{x \rightarrow 2} 2x+1 = 5 \text{ et } \lim_{x \rightarrow 2} -3x^2 + x = -10$$

$$\text{Donc : } \lim_{x \rightarrow 2} f(x) = \sqrt{5} \times (-10) = -10\sqrt{5}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} 2x+1 = \lim_{x \rightarrow +\infty} 2x = +\infty$$

$$\text{Donc : } \lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{2x+1} = +\infty$$

$$\text{Et on a : } \lim_{x \rightarrow +\infty} -3x^2 + x = \lim_{x \rightarrow +\infty} -3x^2 = -\infty$$

$$\text{Donc : } \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = -\infty$$

- 2)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} g(x)$  ? et  $g(x) = \frac{-2x^2+1}{(x-3)^2}(\sqrt{x}+1)$

On a :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{x} = +\infty$  donc :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{x}+1 = +\infty$

Et  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{-2x^2+1}{(x-3)^2} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{-2x^2}{x^2} = -2$  donc :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} g(x) = -\infty$

- 2)  $\lim_{x \rightarrow 3} g(x)$  ? et  $g(x) = \frac{-2x^2+1}{(x-3)^2}(\sqrt{x}+1)$

$\lim_{x \rightarrow 3} \sqrt{x}+1 = \sqrt{3}+1$  et  $\lim_{x \rightarrow 3} -2x^2+1 = -17$  et

$\lim_{x \rightarrow 3} (x-3)^2 = 0^+$  donc :  $\lim_{x \rightarrow 3} g(x) = -\infty$

3)  $\lim_{x \rightarrow 0} h(x)$  ?

$$\lim_{x \rightarrow 0} h(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^2+1}{x^2} \frac{\sin x}{x}$$

Or  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$  et puisque :  $\lim_{x \rightarrow 0} x^2+1 = 1$  et

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^2 = 0^+$$

et  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^2+1}{x^2} = +\infty$  alors :  $\lim_{x \rightarrow 0} h(x) = +\infty$

4)  $k(x) = \frac{-3x+1}{x(x-2)}$  donc :  $D_k = ]-\infty; 0[ \cup ]0; 2[ \cup ]2; +\infty[$

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

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

- $\lim_{x \rightarrow 0} -3x+1 = 1$  et  $\lim_{x \rightarrow 0} x^2-2x = 0$

Etude du signe de :  $x^2 - 2x$

$x$	$-\infty$	$0$	$2$	$+\infty$
$x(x-2)$	$+$	$0$	$-$	$+$

Donc :  $\lim_{x \rightarrow 0^+} x^2 - 2x = 0^-$  et  $\lim_{x \rightarrow 0^-} x^2 - 2x = 0^+$

Donc :  $\lim_{x \rightarrow 0^+} k(x) = -\infty$  et  $\lim_{x \rightarrow 0^-} k(x) = +\infty$

$\lim_{x \rightarrow 2} -3x+1 = -5$  et  $\lim_{x \rightarrow 2^+} x^2 - 2x = 0^+$  et  $\lim_{x \rightarrow 2^-} x^2 - 2x = 0^-$

Donc :  $\lim_{x \rightarrow 2^+} k(x) = -\infty$  et  $\lim_{x \rightarrow 2^-} k(x) = +\infty$

**Exercice5** : Considérons la fonction f définie

par : 
$$\begin{cases} f(x) = \frac{x^2 - 6x + 5}{x - 1}; \text{ si } \dots x \neq 1 \\ f(1) = -4 \end{cases}$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 1$

**Solution :**

$$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^2 - 6x + 5}{x - 1} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(x-1)(x-5)}{x-1} = \lim_{x \rightarrow 1} x - 5 = -4$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = f(1)$$

donc  $f$  est continue en  $x_0 = 1$

**Exercice6 :** Considérons la fonction  $f$  définie par

$$f(x) = \frac{\sin(x-2)}{x^2 - 2x}; \text{ si } x \neq 0 \text{ et } x \neq 2 \text{ et } f(2) = \frac{1}{2}$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 2$

**Solution :**  $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{1 \cdot \sin(x-2)}{x \cdot x-2} = \frac{1}{2} = f(2)$  Alors :

$$\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = f(2) \text{ Donc } f \text{ est continue en } x_0 = 2$$

**Exercice7 :** Considérons la fonction  $f$  définie par

$$f(x) = 2 + x^2 \sin\left(\frac{1}{x}\right); \text{ si } x \neq 0 \text{ et } f(0) = 2$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 0$

**Solution :**  $x \in \mathbb{R}^* \left| \sin\left(\frac{1}{x}\right) \right| \leq 1$  donc :

$$\left| f(x) - 2 \right| = x^2 \left| \sin\left(\frac{1}{x}\right) \right| \leq x^2 \text{ et on a } \lim_{x \rightarrow 0} x^2 = 0$$

$$\text{Alors : } \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 2 = f(0)$$

Donc  $f$  est continue en  $x_0 = 0$

**Exercice8 :** Considérons la fonction  $f$  définie par

$$f(x) = \frac{x^2 + x - 12}{x - 3}; \text{ si } x \neq 3 \text{ et } f(3) = 7$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 3$

**Solution :** on a :  $f(x) = \frac{x^2 + x - 12}{x - 3} = x + 4$  D.E.C

$$\lim_{x \rightarrow 3} f(x) = \lim_{x \rightarrow 3} x + 4 = 7 = f(3)$$

$$\text{Alors : } \lim_{x \rightarrow 3} f(x) = f(3)$$

Donc  $f$  est continue en  $x_0 = 3$

**Exercice9 :** Considérons la fonction  $f$  définie par

$$f(x) = \frac{\sqrt{x+1}-1}{\tan x}; \text{ si } x \neq 0 \text{ et } f(0) = \frac{1}{2}$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 0$

**Solution :**

$$\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{x+1}-1}{\tan x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\sqrt{x+1}-1)(\sqrt{x+1}+1)}{(\sqrt{x+1}+1)\tan x}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{\tan x} \times \frac{1}{\sqrt{x+1}+1} = 1 \times \frac{1}{2} = f(0)$$

$$\text{Alors : } \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = f(0)$$

Donc  $f$  est continue en  $x_0 = 0$

**Exercice10 :** Considérons la fonction  $f$  définie

$$\text{Par : } \begin{cases} f(x) = \frac{\sin(\pi x)}{x-1}; \text{ si } x \neq 1 \\ f(1) = m \end{cases}$$

avec  $m$  paramètre réel

déterminer la valeur du réel  $m$  pour laquelle

$f$  est continue en  $x_0 = 1$

$$\text{Solution : } \lim_{x \rightarrow 1} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sin(\pi x)}{x-1}$$

on pose :  $h = x - 1 \quad x \rightarrow 1 \Leftrightarrow h \rightarrow 0$

$$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\sin(\pi(h+1))}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\sin(\pi h + \pi)}{h}$$

$$= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{-\sin(\pi h)}{\pi h} \pi = -\pi$$

donc  $f$  est continue en  $x_0 = 1$  ssi  $m = -\pi$

**Exercice11 :** Considérons la fonction  $f$  définie par

$$f(x) = \frac{x}{2} E\left(\frac{3}{x}\right); \text{ si } x \neq 0 \text{ et } f(0) = \frac{1}{2}$$

( $E$  désigne la partie entière)

$$1) \text{ Montrer que } \left| f(x) - \frac{3}{2} \right| \leq \frac{|x|}{2}$$

2)  $f$  est-elle continue en  $x_0 = 0$  ?

**Solution :** 1) on a :  $x - 1 < E(x) \leq x \quad \forall x \in \mathbb{R}$

$$\text{Donc : } \forall x \in \mathbb{R}^* \quad \frac{3}{x} - 1 < E\left(\frac{3}{x}\right) \leq \frac{3}{x}$$

$$\text{Si } x > 0 : \frac{x}{2} \left( \frac{3}{x} - 1 \right) < \frac{x}{2} E\left(\frac{3}{x}\right) \leq \frac{x}{2} \times \frac{3}{x}$$

$$\text{Cad : } \frac{3}{2} - \frac{x}{2} < f(x) \leq \frac{3}{2}$$

$$\text{donc : } -\frac{x}{2} < f(x) - \frac{3}{2} \leq 0$$

$$\text{donc : } \left| f(x) - \frac{3}{2} \right| \leq \frac{|x|}{2} \quad \forall x \in \mathbb{R}_+$$

$$\text{Si } x < 0 : \frac{x}{2} \times \frac{3}{x} \leq \frac{x}{2} E \left( \frac{3}{x} \right) < \frac{x}{2} \left( \frac{3}{x} - 1 \right)$$

$$\text{Cad : } \frac{3}{2} \leq f(x) < \frac{3}{2} - \frac{x}{2}$$

$$\text{donc : } 0 \leq f(x) - \frac{3}{2} < -\frac{x}{2}$$

$$\text{donc : } \left| f(x) - \frac{3}{2} \right| \leq \frac{|x|}{2} \quad \forall x \in \mathbb{R}_-$$

$$\text{finalement : } \left| f(x) - \frac{3}{2} \right| \leq \frac{|x|}{2} \quad \forall x \in \mathbb{R}^*$$

$$2) \text{ on a } \left| f(x) - \frac{3}{2} \right| \leq \frac{|x|}{2} \text{ et on a } \lim_{x \rightarrow 0} \frac{|x|}{2} = 0$$

$$\text{Donc : } \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = \frac{3}{2} \neq f(0)$$

Donc :  $f$  est discontinue en  $x_0 = 0$

**Exercice12 :** Soit  $f$  définie sur  $\mathbb{R}$  par :

$$\begin{cases} f(x) = x^2; \text{ si } \dots x \leq 0 \\ f(x) = 2 + x; \text{ si } \dots x > 0 \end{cases}$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 0$

$$\text{Solution : } \lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} x^2 = 0 = f(0)$$

donc  $f$  est continue à gauche de  $x_0 = 0$

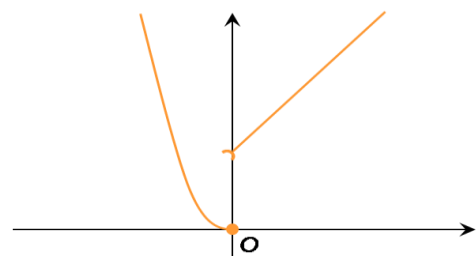
$$\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^+} 2 + x = 2 \neq f(0)$$

donc  $f$  n'est pas continue à droite de 0

$$\text{Et on a : } \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow 0^-} f(x)$$

Donc, la limite en 0 n'existe pas.

$f$  est discontinue en 0



Graphiquement : La courbe de  $f$  ne peut être tracée sur un intervalle contenant 0, « sans lever le crayon ».

**Exercice13 :** Soit  $f$  définie par :

$$\begin{cases} f(x) = 3 - x^2; \text{ si } \dots x \leq 0 \\ f(x) = \frac{x^2 - 3}{2x - 1}; \text{ si } \dots x > 0 \end{cases}$$

Etudier la continuité de  $f$  à droite et à gauche de  $x_0 = 0$

$$\text{Solution : } \lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{x^2 - 3}{2x - 1} = 3 = f(0)$$

donc  $f$  est continue à droite de  $x_0 = 0$

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} 3 - x^2 = 3 = f(0)$$

donc  $f$  est continue à gauche de  $x_0 = 0$

**Exercice14 :** Considérons la fonction  $f$  définie

$$\text{Par : } \begin{cases} f(x) = \frac{2x+1}{7-3x}; \text{ si } \dots x \leq 2 \\ f(x) = \frac{x^2+x-6}{x-2}; \text{ si } \dots x > 2 \end{cases}$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 2$

$$\text{Solution : on a : } f(2) = \frac{2 \times 2 + 1}{7 - 3 \times 2} = \frac{5}{7 - 3 \times 2} = 5$$

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} \frac{x^2 + x - 6}{x - 2} = \lim_{x \rightarrow 2^+} \frac{(x-2)(x+3)}{x-2}$$

$$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} x + 3 = 5 = f(2)$$

Donc  $f$  est continue à droite de  $f$  en  $x_0 = 2$

$$\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} \frac{2x+1}{7-3x} = \frac{5}{1} = 5 = f(2)$$

Donc  $f$  est continue à gauche en  $x_0 = 2$

Donc  $f$  est continue en  $x_0 = 2$

**Exercice15 :** Soit la fonction  $f : x \mapsto \frac{x^2 - 1}{|x - 1|}$  si  $x \neq 1$

$$\text{Et : } f(1) = 2$$

Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 1$

$$\text{Solution : } \forall x \in \mathbb{R} - \{1\}$$

$$\lim_{\substack{x \rightarrow 1 \\ x > 1}} f(x) = \lim_{\substack{x \rightarrow 1 \\ x > 1}} \frac{x^2 - 1}{x - 1} = \lim_{\substack{x \rightarrow 1 \\ x > 1}} x + 1 = 2 = f(1)$$

donc  $f$  est continue à droite de  $x_0 = 1$

$$\lim_{\substack{x \rightarrow 1 \\ x < 1}} f(x) = \lim_{\substack{x \rightarrow 1 \\ x < 1}} -\frac{x^2 - 1}{x - 1} = \lim_{\substack{x \rightarrow 1 \\ x < 1}} -(x + 1) = -2 \neq f(1)$$

donc  $f$  n'est pas continue à gauche de  $x_0 = 1$

donc  $f$  n'est pas continue en  $x_0 = 1$

donc  $f$  est discontinue en  $x_0 = 1$

**Exercice16 :** Soit la fonction  $h$  définie par

$$f(x) = \frac{x^3 + 1}{x^2 + 3x + 2}$$

1- Déterminer l'ensemble de définition de la fonction  $f$ .

2- Déterminer la limite  $\lim_{x \rightarrow -1} f(x)$ ,  $f$  est-elle continue en  $x_0 = -1$  ?

3- Soit la fonction  $f$  définie par :

$$\begin{cases} f(x) = f(x); \text{ si } \dots x \neq -1 \\ f(-1) = 3 \end{cases} \quad \text{a) Déterminer } D_f$$

b) Etudier la continuité de la fonction

$f$  en  $x_0 = -1$  La fonction  $f$  s'appelle un prolongement par continuité de la fonction de  $f$  en  $-1$

4- Peut-on prolonger  $f$  par continuité en  $a = -2$   
**Solution :** 1)

$$x \in D_f \Leftrightarrow x^2 + 3x + 2 \neq 0 \Leftrightarrow x \neq -1 \text{ et } x \neq -2$$

$$\text{Donc : } D_f = \mathbb{R} - \{-1; -2\}$$

$$2) \lim_{x \rightarrow -1} f(x) = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^3 + 1}{x^2 + 3x + 2} = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{(x+1)(x^2 - x + 1)}{(x+1)(x+2)}$$

$$\lim_{x \rightarrow -1} f(x) = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2 - x + 1}{x + 2} = 3$$

$-1 \notin D_f$  donc  $f$  n'est pas continue en  $x_0 = -1$

$$3) \text{ a) } \begin{cases} f(x) = f(x); \text{ si } \dots x \neq -1 \\ f(-1) = 3 \end{cases} \quad \text{donc : } D_f = \mathbb{R} - \{-2\}$$

$$\text{b) } \lim_{x \rightarrow -1} f(x) = 3 = f(-1)$$

donc  $f$  est continue en  $x_0 = -1$

$$4) \lim_{x \rightarrow -2} f(x) = \lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^3 + 1}{x^2 + 3x + 2} ?$$

$$\lim_{x \rightarrow -2^+} x^3 + 1 = -7$$

$$\lim_{x \rightarrow -2^+} x^2 + 3x + 2 = 0^- \quad \text{donc : } \lim_{x \rightarrow -2^+} f(x) = +\infty$$

Donc on ne peut pas prolonger  $f$  par continuité en  $a = -2$

**Exercice 17 :** Soit  $f$  une fonction définie par

$$f(x) = \frac{1 - \cos x}{x} \quad \text{Donner un prolongement par}$$

continuité de la fonction  $f$  en  $x_0 = 0$

$$\text{Solution : } \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} \times x = 0$$

$$\text{Car : } \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} = \frac{1}{2}$$

Donc La fonction  $f$  définie par :

$$\begin{cases} f(x) = f(x); \text{ si } \dots x \neq 0 \\ f(0) = 0 \end{cases} \quad \text{Est une prolongement}$$

par continuité de la fonction  $f$  en  $x_0 = 0$

**Exercice 18 :** Soit la fonction  $h$  définie par

$$h(x) = \frac{x^2 + x - 6}{x - E(x)} \quad (E \text{ désigne la partie entière})$$

Peut-on prolonger  $h$  par continuité en  $a = 2$  ?

**Exercice 19 :** Etudier la la continuité des fonctions suivantes :

$$1) h(x) = \sqrt{x^2 + x + 3} \quad 2) g(x) = \frac{x^4 + x^3 - 6}{x^2 + 2x - 3}$$

$$3) t(x) = \tan x$$

$$\text{Solution : } 1) h(x) = \sqrt{x^2 + x + 3}$$

$x^2 + x + 3$  Est continue sur  $\mathbb{R}$  car c'est une Fonction polynôme

de plus  $(\forall x \in \mathbb{R})(x^2 + x + 3 \geq 0)$

(Son discriminant  $\Delta$  est négatif)

Donc  $h$  est continue sur  $\mathbb{R}$

$$2) g(x) = \frac{x^4 + x^3 - 6}{x^2 + 2x - 3} \text{ est continue sur :}$$

$] - \infty, -3[$  et sur  $] - 3, 2[$  et sur  $] 2, +\infty[$ .

3) La fonction  $t$  est continue sur tous les intervalles de la forme :  $] -\pi/2 + k\pi ; \pi/2 + k\pi[$  (Où  $k \in \mathbb{Z}$ )

**Exercice 20 :** Etudier la la continuité des fonctions suivantes :

$$1) f(x) = \cos(2x^2 - 3x + 4)$$

$$2) g(x) = \sqrt{\frac{x}{1 + \sin^2 x}} \quad 3) h(x) = \sin\left(\frac{1}{x^2 + 1}\right)$$

**Solution :** 1) Soit  $f$  une fonction définie par

$$f(x) = \cos(2x^2 - 3x + 4)$$

Montrons que  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$

Puisque les fonctions :  $f_1 : x \rightarrow 2x^2 - 3x + 4$  et

$f_2 : x \rightarrow \cos x$  sont continues sur  $\mathbb{R}$

Et  $f_1(\mathbb{R}) \subset \mathbb{R}$  alors :  $f = f_2 \circ f_1$  est continue sur  $\mathbb{R}$

2) Soit  $g$  une fonction définie par

$g(x) = \sqrt{\frac{x}{1+\sin^2 x}}$  Montrons que  $g$  est continue sur  $\mathbb{R}^+$  On a :  $D_g = [0; +\infty[$  et Puisque la fonction :

$g_1 : x \rightarrow \frac{x}{1+\sin^2 x}$  est continue sur  $\mathbb{R}^+$  et

$g_1(\mathbb{R}^+) = \mathbb{R}^+$  et  $g_2 : x \rightarrow \sqrt{x}$  sont continue sur  $\mathbb{R}^+$

Donc :  $g = g_2 \circ g_1$  est continue sur  $\mathbb{R}^+$

3)  $h(x) = \sin\left(\frac{1}{x^2+1}\right)$  est continue sur  $\mathbb{R}$  car

$x \rightarrow x^2+1$  est continue sur  $\mathbb{R}$  et ne s'annule pas

sur  $\mathbb{R}$  donc :  $x \rightarrow \frac{1}{x^2+1}$  est continue sur  $\mathbb{R}$

et  $(\forall x \in \mathbb{R}) \left(\frac{1}{x^2+1} \in \mathbb{R}\right)$  et  $\sin$  est continue sur  $\mathbb{R}$

**Exercice 21 :** Soit  $f$  et  $g$  deux fonctions définies

par :  $\begin{cases} f(x) = x+1; si...x < 0 \\ f(x) = 0; si...x \geq 0 \end{cases}$  et  $g(x) = 5$

Montrer que  $f$  est n'est pas continue en  $x_0 = 0$  et

$h = g \circ f$  est continue en  $x_0 = 0$

**Solution :** on a  $f(0) = 0$  et

$\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} x+1 = 1 \neq f(0)$

Et  $g$  est continue en  $x_0 = 0$

mais on a :  $(g \circ f)(x) = 5$  est continue en  $x_0 = 0$

**Exercice 22 :** Déterminer les limites suivantes :

1)  $\lim_{x \rightarrow 0} \sin\left(\frac{1-\cos x}{x^2} \pi\right)$  2)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \cos\left(\pi \sqrt{\frac{x-1}{x+1}}\right)$

**Solution :** 1) Soient :  $f : x \rightarrow \frac{1-\cos x}{x^2} \pi$  et  $g : x \rightarrow \sin x$

Puisque :  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1-\cos x}{x^2} \pi = \frac{\pi}{2}$   $g$  est continue sur  $\mathbb{R}$

Donc continue en  $x_0 = \frac{\pi}{2}$

donc :  $\lim_{x \rightarrow 0} \sin\left(\frac{1-\cos x}{x^2} \pi\right) = \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1$

2) puisque :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \pi \sqrt{\frac{1-\frac{1}{x}}{1+\frac{1}{x}}} = \pi$

Et la fonction :  $x \rightarrow \cos x$  continue en  $\pi$

donc :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \cos\left(\pi \sqrt{\frac{x-1}{x+1}}\right) = \cos \pi = -1$

**Exercice23 :** Déterminer les limites suivantes :

1)  $\lim_{x \rightarrow 0} \cos\left(\frac{\pi \tan x}{3x}\right)$  2)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sin\left(\frac{\pi x^2 - 4x + 3}{4x^2 + 7}\right)$

3)  $\lim_{x \rightarrow 0} \sin \sqrt{\frac{2x^2}{1-\cos x}}$

**Solution :** 1)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\pi \tan x}{3x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\pi}{3} \frac{\tan x}{x} = \frac{\pi}{3}$

et Puisque :  $x \rightarrow \cos x$  est continue sur  $\mathbb{R}$

Donc continue en  $x_0 = \frac{\pi}{3}$  donc :

$\lim_{x \rightarrow 0} \cos\left(\frac{\pi \tan x}{3x}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = \frac{1}{2}$

2)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\pi x^2 - 4x + 3}{4x^2 + 7} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\pi x^2}{4x^2} = \frac{\pi}{4}$

et Puisque :  $x \rightarrow \sin x$  est continue sur  $\mathbb{R}$

Donc continue en  $x_0 = \frac{\pi}{4}$  donc :

donc :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sin\left(\frac{\pi x^2 - 4x + 3}{4x^2 + 7}\right) = \sin \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2}$

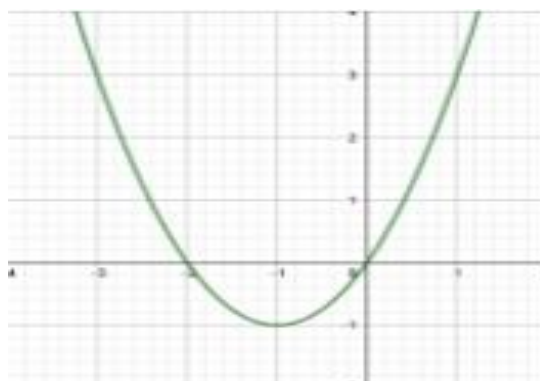
3) on a :  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1-\cos x}{x^2} = \frac{1}{2}$  donc :  $\lim_{x \rightarrow 0} 2 \frac{x^2}{1-\cos x} = 4$

donc :  $\lim_{x \rightarrow 0} \sin \sqrt{\frac{2x^2}{1-\cos x}} = \sin 2$  car :  $x \rightarrow \sqrt{x}$  est continue en 4

donc :  $\lim_{x \rightarrow 0} \sin \sqrt{\frac{2x^2}{1-\cos x}} = \sin 2$  car :  $x \rightarrow \sin x$  est

continue en 2

**Exercice24 :** Le graphe ci-contre est le graphe de la fonction  $f(x) = x^2 + 2x$



Déterminer graphiquement les images des intervalles :  $[-1, 2]$  ,  $[0, 2[$  ;  $]-1, 0]$

$[2, +\infty[$  ;  $]-\infty, 1]$

**Solution :** Graphiquement on a :  $f([-1, 2]) = [-1, 3]$

$f([0, 2[) = [-1, 0]$        $f(]-1, 0]) = [0, 3[$

$$f([2, +\infty[) = [0, +\infty[ \quad f(]-\infty, 1]) = [-1, +\infty[$$

**Exercice25 :** Soit  $f$  une fonction définie par

$$f(x) = \frac{2x-3}{x+1} \quad \text{Déterminer les images des}$$

intervalles suivants :

$$[0, 1] ; [-2, -1[ ; ]-1, 1] ; [2, +\infty[$$

**Solution :**  $D_f = ]-\infty; -1[ \cup ]-1; +\infty[$

$$\begin{vmatrix} 2 & -3 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} = 2+3 = 5 > 0 \quad \text{donc : } f \text{ continue et}$$

strictement croissante sur les intervalles  $]-\infty; -1[$

$$\text{et } ]-1; +\infty[ \quad \text{donc on a : } f([0; 1]) = [f(0); f(1)] = \left[-3; \frac{1}{2}\right]$$

$$f(]-2; -1[) = \left[ f(-2); \lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x < -1}} f(x) \right] = [7; +\infty[$$

$$f(]-1; 1]) = \left[ \lim_{\substack{x \rightarrow -1 \\ x > -1}} f(x); f(1) \right] = \left] -\infty; \frac{-1}{2} \right]$$

$$f([2; +\infty[) = \left[ f(2); \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) \right] = \left[ \frac{1}{3}; 2 \right[$$

**Exercice26 :** Montrer que l'équation :

$$4x^3 - 3x - \frac{1}{2} = 0 \quad \text{admet une racine dans chacune}$$

$$\text{des intervalles suivants : } ]-1; -\frac{1}{2}[ ; ]-\frac{1}{2}; 0[ \quad \text{et } ]0; 1[$$

**Solution :** on considère la fonction :  $g$  tel que

$$g(x) = 4x^3 - 3x - \frac{1}{2}$$

• On a :  $g$  est continue sur  $\mathbb{R}$  (car c'est une fonction polynôme) donc continue sur tout intervalle de  $\mathbb{R}$

○ Et on a :  $g(-1) = -\frac{3}{2}$  et  $g\left(-\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}$  donc :

$$g\left(-\frac{1}{2}\right) \times g(-1) < 0 \quad \text{donc : d'après le (T.V.I)}$$

il existe  $\alpha_1 \in ]-1; -\frac{1}{2}[$  tel que :  $g(\alpha_1) = 0$

○ Et on a :  $g(0) = -\frac{1}{2}$  et  $g\left(-\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}$  donc :

$$g\left(-\frac{1}{2}\right) \times g(0) < 0 \quad \text{donc : d'après le (T.V.I)}$$

il existe  $\alpha_2 \in ]-\frac{1}{2}; 0[$  tel que :  $g(\alpha_2) = 0$

○ Et on a :  $g(0) = -\frac{1}{2}$  et  $g(1) = \frac{1}{2}$  donc :

$$g(1) \times g(0) < 0 \quad \text{donc : d'après le (T.V.I)}$$

il existe  $\alpha_3 \in ]0; 1[$  tel que :  $g(\alpha_3) = 0$

donc l'équation :  $4x^3 - 3x - \frac{1}{2} = 0$  admet 3 racines

différentes dans chacune des intervalles:

$$\left] -1; -\frac{1}{2} \right[ ; \left] -\frac{1}{2}; 0 \right[ \quad \text{et } ]0; 1[$$

**Exercice27 :** Montrer que l'équation :

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

Admet une racine unique dans  $]-1; 0[$

**Solution :** on considère la fonction :  $f$  tel que

$$f(x) = x^3 + x + 1$$

• On a :  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$  (car c'est une fonction polynôme) donc continue sur

$$]-1; 0[$$

• on a :  $f(-1) = -1$  et  $f(0) = 1$  donc :

$$f(1) \times f(-1) < 0$$

•  $f'(x) = 3x^2 + 1 > 0$  sur  $]-1; 0[$  donc  $f$  strictement croissante sur  $]-1; 0[$

Donc : d'après le (T.V.I) l'équation  $f(x) = 0$

admet une solution unique dans  $]-1; 0[$

**Exercice28 :** Montrer que l'équation :  $\cos x = x$

Admet au moins une racine dans intervalle :

$$I = [0; \pi]$$

**Solution :**  $\cos x = x \Leftrightarrow \cos x - x = 0$

On pose :  $f(x) = \cos x - x$

• On a :  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$  (car c'est la différence de deux fonctions continues) donc continue sur  $I = [0; \pi]$

• on a :  $f(\pi) = -1 - \pi < 0$  et  $f(0) = 1$  donc :

$$f(0) \times f(\pi) < 0$$

Donc : d'après le (T.V.I)

il existe  $\alpha \in ]0; \pi[$  tel que :  $f(\alpha) = 0$

**Exercice29 :** Montrer que l'équation :  $1 + \sin x = x$

Admet au moins une racine dans intervalle :

$$I = \left[ \frac{\pi}{2}; \frac{2\pi}{3} \right]$$

**Solution :**  $1 + \sin x = x \Leftrightarrow 1 + \sin x - x = 0$

On pose :  $f(x) = 1 + \sin x - x$

- On a :  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$  (car c'est la différence de deux fonctions continues) donc

continue sur  $I = \left[ \frac{\pi}{2}; \frac{2\pi}{3} \right]$

- on a :  $f\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{4-\pi}{2} > 0$  et

$$f\left(\frac{2\pi}{3}\right) = \frac{6+3\sqrt{3}-4\pi}{6} < 0 \text{ donc : } f\left(\frac{\pi}{2}\right) \times f\left(\frac{2\pi}{3}\right) < 0$$

Donc : d'après le **(T.V.I)**

il existe  $\alpha \in \left] \frac{\pi}{2}; \frac{2\pi}{3} \right[$  tel que :  $f(\alpha) = 0$

**Exercice30 :** on considère la fonction :  $f$  tel que

$$f(x) = x^3 + x - 1$$

1) Montrer que l'équation :  $f(x) = 0$  admet une solution unique  $\alpha$  sur  $\mathbb{R}$

2) Montrer que l'équation :  $f(x) = 0$  admet une solution unique  $\alpha \in ]0; 1[$

3) étudier le signe de  $f(x)$  sur  $\mathbb{R}$

**Solution :**

1)a) On a :  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$  (car c'est une fonction polynôme)

b)  $f'(x) = 3x^2 + 1 > 0$  sur  $\mathbb{R}$  donc  $f$  strictement croissante sur  $\mathbb{R}$

c) on a :  $f(\mathbb{R}) = f(]-\infty; +\infty[) = \left] \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x); \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) \right[$   
 $= ]-\infty; +\infty[$  et on a :  $0 \in f(\mathbb{R})$

donc d'après le **(T.V.I)** l'équation  $f(x) = 0$  admet une solution unique  $\alpha$  dans  $\mathbb{R}$

1) on a  $f$  est continue sur  $[0; 1]$  et

$$f(0) \times f(1) < 0 \quad (f(0) = -1 \text{ et } f(1) = 1)$$

et  $f$  strictement croissante sur  $[0; 1]$

Donc : d'après le **(T.V.I)** l'équation  $f(x) = 0$  admet une solution unique dans  $\alpha \in ]0; 1[$

3) étudions le signe de  $f(x)$  sur  $\mathbb{R}$

1cas : si  $x \leq \alpha$  alors  $f(x) \leq f(\alpha)$  (car  $f$  strictement croissante sur  $\mathbb{R}$ )

Donc  $f(x) \leq 0$  (car  $f(\alpha) = 0$ )

2cas : si  $x \geq \alpha$  alors  $f(x) \geq f(\alpha)$  (car  $f$  strictement croissante sur  $\mathbb{R}$ )

Donc  $f(x) \geq 0$  (car  $f(\alpha) = 0$ )

**Exercice31 :** Soit  $f$  la fonction définie par :

$$f(x) = \frac{x-3}{x+2}$$

1) Montrer que la fonction  $g$  la restriction de  $f$  sur l'intervalle  $I = ]-2; +\infty[$  admet une fonction réciproque  $g^{-1}$  définie sur un  $J$  qu'il faut déterminer.

2) Déterminer  $g^{-1}(x)$  pour tout  $x$  de l'intervalle  $J$

**Solution : 1)**  $f(x) = \frac{x-3}{x+2}$   $D_f = \{x \in \mathbb{R} / x+2 \neq 0\}$

$$D_f = \mathbb{R} - \{-2\}$$

$$f'(x) = \left( \frac{x-3}{x+2} \right)' = \frac{(x-3)'(x+2) - (x-3)(x+2)'}{(x+2)^2} = \frac{1(x+2) - 1 \times (x-3)}{(x+2)^2}$$

$$f'(x) = \frac{5}{(x+2)^2} > 0$$

$x$	$-\infty$	$-2$	$+\infty$
$f'(x)$	$+$		$+$
$f(x)$	$1$	$+\infty$	$1$

puisque  $g$  est strictement croissante et continue sur :  $I = ]-2; +\infty[$

donc  $g$  admet une fonction réciproque  $g^{-1}$  définie sur  $J = g(I) = g(]-2; +\infty[) = ]-\infty; 1[$

$$2) \begin{cases} g(y) = x \\ y \in I \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} y = g^{-1}(x) \\ x \in g(I) \end{cases}$$

$$\begin{cases} g(y) = x \\ y \in ]-2; +\infty[ \end{cases} \Leftrightarrow \frac{y-3}{y+2} = x \Leftrightarrow y-3 = x(y+2)$$

$$\Leftrightarrow y - xy = 2x + 3 \Leftrightarrow y(1-x) = 2x + 3$$

$$\Leftrightarrow y = \frac{2x+3}{1-x} \text{ Donc } g^{-1}(x) = \frac{2x+3}{1-x}$$

$$g^{-1} : ]-\infty; 1[ \rightarrow ]-2; +\infty[$$

Donc :

$$x \rightarrow g^{-1}(x) = \frac{2x+3}{1-x}$$

**Exercice32 :** Soit  $f$  la fonction définie sur

$$I = \left[ \frac{1}{2}; +\infty \right[ \text{ par : } f(x) = \sqrt{2x-1}$$

1) Montrer que la fonction  $f$  admet une fonction réciproque  $f^{-1}$  définie sur un  $J$  qu'il faut déterminer.

2) Déterminer  $f^{-1}(x)$  pour tout  $x$  de l'intervalle  $J$

3) Représenter  $(C_f)$  et  $(C_{f^{-1}})$  dans le même repère orthonormé  $(o, \vec{i}, \vec{j})$

**Solution :** 1)  $D_f = \left[ \frac{1}{2}; +\infty \right[ = I$

$$\forall x \in \left[ \frac{1}{2}; +\infty \right[ \quad f'(x) = (\sqrt{2x-1})' = \frac{(2x-1)'}{2\sqrt{2x-1}} = \frac{1}{\sqrt{2x-1}} > 0$$

$x$	$\frac{1}{2}$	$+\infty$
$f'(x)$		+
$f(x)$		$+\infty$

$0$

Donc :  $f$  est strictement croissante et continue

**sur :**  $\left[ \frac{1}{2}; +\infty \right[ = I$

donc  $f$  admet une fonction réciproque  $f^{-1}$

définie sur  $J = f(I) = f\left(\left[\frac{1}{2}; +\infty \right[ \right) = [0; +\infty[$

$$2) \begin{cases} f(y) = x \\ y \in I \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} y = f^{-1}(x) \\ x \in f(I) \end{cases}$$

$$\begin{cases} f(y) = x \\ y \in [0; +\infty[ \end{cases} \Leftrightarrow \sqrt{2y-1} = x \Leftrightarrow 2y-1 = x^2$$

$$\Leftrightarrow 2y = x^2 + 1 \Leftrightarrow y = \frac{x^2 + 1}{2}$$

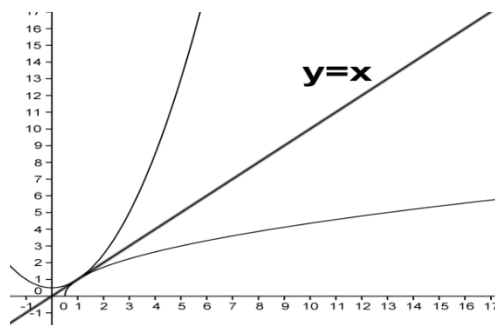
$$\text{Donc } f^{-1}(x) = \frac{x^2 + 1}{2}$$

$$\text{Donc : } f^{-1} : [0; +\infty[ \rightarrow \left[ \frac{1}{2}; +\infty \right[$$

$$x \rightarrow f^{-1}(x) = \frac{x^2 + 1}{2}$$

3)  $(C_{f^{-1}})$  et  $(C_f)$  sont symétriques par rapport à

$(\Delta) y = x$



**Exercice33 :** Résoudre dans  $\mathbb{R}$  les équations suivantes :

1)  $x^5 = 32$    2)  $x^7 = -128$    3)  $x^4 = 3$    4)  $x^6 = -8$

**Solutions :** 1)  $x^5 = 32$  donc  $x > 0$

$$x = \sqrt[5]{32} \Leftrightarrow x = \sqrt[5]{2^5} \Leftrightarrow x = 2 \quad \text{donc : } S = \{2\}$$

2)  $x^7 = -128$  donc  $x < 0$

$$\text{Donc : } x = -\sqrt[7]{128} \Leftrightarrow x = -\sqrt[7]{2^7} \Leftrightarrow x = -2$$

$$\text{Donc : } S = \{-2\}$$

3)  $x^4 = 3 \Leftrightarrow x = \sqrt[4]{3}$  ou  $x = -\sqrt[4]{3}$

$$\text{Donc : } S = \{-\sqrt[4]{3}; \sqrt[4]{3}\}$$

4)  $x^6 = -8$

On a  $x^6 \geq 0$  et  $-8 < 0$  donc  $S = \emptyset$

**Exercice34 :** simplifier les expressions

suivantes : 1)  $(\sqrt[3]{2})^3$    2)  $\sqrt[2]{\sqrt[4]{2}}$

3)  $A = \sqrt[5]{32} - (\sqrt[2]{2})^7 + \sqrt[3]{\sqrt[3]{512}} + \frac{\sqrt[5]{96}}{\sqrt[3]{3}}$

4)  $B = \frac{\sqrt[3]{2} \times \sqrt[5]{16} \times \sqrt{\sqrt[3]{4}} \times \sqrt[15]{2}}{\sqrt[15]{256}}$

5)  $C = \frac{(27)^{\frac{2}{9}} \times (81)^{\frac{1}{4}} \times 9^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{17}{3}}}$    6)  $D = \sqrt[6]{\frac{2^5 \times 128000000}{27^2}}$

7)  $E = \frac{\sqrt[5]{2} \times \sqrt{8}}{\sqrt{\sqrt[3]{128}}}$    8)  $F = \frac{\sqrt[3]{4} \times \sqrt{8} \times (\sqrt{\sqrt{2}})^2}{\sqrt{\sqrt[3]{4}}}$

**Solutions :** 1)  $(\sqrt[3]{2})^3 = 2$    2)  $\sqrt[2]{\sqrt[4]{2}} = 2^{\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}} = 2^{\frac{1}{8}} = \sqrt[8]{2}$

2)  $A = \sqrt[5]{32} - (\sqrt[2]{2})^7 + \sqrt[3]{\sqrt[3]{512}} + \frac{\sqrt[5]{96}}{\sqrt[3]{3}} = \sqrt[5]{2^5} - 2 + \sqrt[3]{2^9} + \sqrt[4]{\frac{96}{3}}$

$$A = 2 - 2 + \sqrt[3]{2^9} + \sqrt[5]{32} = 2 - 2 + 2 + 2 = 4$$

3)  $B = \frac{\sqrt[3]{2} \times \sqrt[5]{16} \times \sqrt[6]{4} \times \sqrt[15]{2}}{\sqrt[15]{256}} = \frac{\sqrt[3]{2} \times \sqrt[5]{2^4} \times \sqrt[6]{2^2} \times \sqrt[15]{2}}{\sqrt[15]{256}}$

4)

$$B = \frac{2^{\frac{1}{3}} \times 2^{\frac{4}{5}} \times 2^{\frac{2}{6}} \times 2^{\frac{1}{15}}}{\sqrt[15]{2^8}} = \frac{2^{\frac{1}{3} + \frac{4}{5} + \frac{2}{6} + \frac{1}{15}}}{2^{\frac{8}{15}}} = \frac{2^{\frac{23}{15}}}{2^{\frac{8}{15}}} = 2^{\frac{23-8}{15}} = 2^{\frac{15}{15}} = 2$$

$$5) C = \frac{(27)^{\frac{2}{9}} \times (81)^{\frac{1}{4}} \times 9^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{17}{3}}} = \frac{(3^3)^{\frac{2}{9}} \times (3^4)^{\frac{1}{4}} \times (3^2)^{\frac{5}{2}}}{3^{\frac{17}{3}}} = \frac{3^{\frac{2}{3}} \times 3^1 \times 3^5}{3^{\frac{17}{3}}}$$

$$C = \frac{3^{\frac{20}{3}}}{3^{\frac{17}{3}}} = 3^{\frac{20-17}{3}} = 3^{\frac{3}{3}} = 3^1 = 3$$

$$6) D = \sqrt[6]{\frac{2^5 \times 128000000}{27^2}} = \sqrt[6]{\frac{2^5 \times 2^7 \times 10^6}{(3^3)^2}} = \sqrt[6]{\frac{10^6}{3^6} \times 2^{12}} =$$

$$D = \sqrt[6]{\left(\frac{10}{3}\right)^6} \times \sqrt[6]{(2^2)^6} = \frac{10}{3} \times 2^2 = \frac{40}{3}$$

7)

$$E = \frac{\sqrt{2} \times \sqrt{8}}{\sqrt[5]{128}} = \frac{\sqrt{2} \times \sqrt{2^3}}{10\sqrt{2^7}} = \frac{10\sqrt{2^2} \times 10\sqrt{2^{15}}}{10\sqrt{2^7}}$$

$$= \frac{10\sqrt{2^{17}}}{10\sqrt{2^7}} = 10\sqrt{2^{10}} = 2$$

$$8) F = \frac{\sqrt[3]{4} \times \sqrt{8} \times (\sqrt{\sqrt{2}})^2}{\sqrt[3]{4}} = \frac{4^{\frac{1}{3}} \times 8^{\frac{1}{2}} \times \left(\left(2^{\frac{1}{2}}\right)^{\frac{1}{2}}\right)^2}{\left(4^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$F = \frac{4^{\frac{1}{3}} \times 8^{\frac{1}{2}} \times 2^{\frac{2}{4}}}{4^{\frac{1}{6}}} = \frac{2^{\frac{2}{3}} \times 2^{\frac{3}{2}} \times 2^{\frac{2}{4}}}{2^{\frac{2}{6}}} = 2^{\frac{2}{3} + \frac{3}{2} + \frac{2}{4} - \frac{1}{3}} = 2^{\frac{7}{2}}$$

$$F = 2^{2 + \frac{1}{2}} = 2^2 \times 2^{\frac{1}{2}} = 4\sqrt{2}$$

**Exercice35** : comparer :  $\sqrt[5]{2}$  et  $\sqrt[3]{3}$ **Solutions** : on a :  $n \times m \sqrt{x^m} = n \sqrt{x}$ 

$$\sqrt[3]{3} = \sqrt[7 \times 5]{3^5} = \sqrt[35]{243} \text{ et } \sqrt[5]{2} = \sqrt[7 \times 5]{2^7} = \sqrt[35]{128}$$

On a :  $\sqrt[35]{243} > \sqrt[35]{128}$  car  $243 > 128$ Donc :  $\sqrt[3]{3} > \sqrt[5]{2}$ **Exercice36** : résoudre dans  $\mathbb{R}$  :

$$1) \sqrt[5]{3x-4} = 2 \quad 2) (\sqrt[5]{x})^2 - 5\sqrt[5]{x} + 6 = 0$$

**Solutions :1)**

$$\sqrt[5]{3x-4} = 2 \Leftrightarrow (\sqrt[5]{3x-4})^5 = (2)^5 \Leftrightarrow 3x-4 = 32$$

$$\Leftrightarrow x=12 \text{ donc : } S = \{12\}$$

$$2) (\sqrt[5]{x})^2 - 5\sqrt[5]{x} + 6 = 0 \text{ on pose : } \sqrt[5]{x} = X$$

L'équation devient :  $X^2 - 5X + 6 = 0$ 

$$\Delta = b^2 - 4ac = (-5)^2 - 4 \times 1 \times 6 = 25 - 24 = 1 > 0$$

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = 3 \text{ et } x_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = 2$$

Donc :  $\sqrt[5]{x} = 3$  ou  $\sqrt[5]{x} = 2$ Donc :  $x = 243$  ou  $x = 32$ Donc :  $S = \{32; 243\}$ **Exercice37** : calculez les limites suivantes :

$$1) \lim_{x \rightarrow 2} \sqrt[5]{x^3 + 24} \quad 2) \lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[3]{x^5 + 2x^3 - x + 4}$$

$$3) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{x+1} - 1}{x} \quad 4) \lim_{x \rightarrow 8} \frac{\sqrt[3]{x} - 2}{x - 8}$$

$$5) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{2x+6} - \sqrt{x+3}}{x-1} \quad 6) \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\sqrt{x+1}}{\sqrt[3]{x^2 - 2}}$$

$$7) \lim_{x \rightarrow 1^+} \frac{\sqrt[4]{x^2 - 1}}{\sqrt{x - 1}}$$

**Solutions :**

$$1) \lim_{x \rightarrow 2} \sqrt[5]{x^3 + 24} = \sqrt[5]{2^3 + 24} = \sqrt[5]{8 + 24} = \sqrt[5]{32} = \sqrt[5]{2^5} = 2$$

$$2) \lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[3]{x^5 + 2x^3 - x + 4} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[3]{x^5} = \sqrt[3]{+\infty} = +\infty$$

$$3) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{x+1} - 1}{x} = \left(\frac{0}{0}\right)'' \text{ FI}$$

On a :  $a^3 - b^3 = (a-b)(a^2 + ab + b^2)$ 

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{x+1} - 1}{x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\sqrt[3]{x+1} - 1)((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 + \sqrt[3]{x+1} + 1^2)}{x((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 + \sqrt[3]{x+1} + 1^2)}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt[3]{x+1} - 1}{x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\sqrt[3]{x+1})^3 - (1)^3}{x((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 + \sqrt[3]{x+1} + 1^2)} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x+1-1}{x((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 + \sqrt[3]{x+1} + 1^2)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{(\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 + \sqrt[3]{x+1} + 1^2} = \frac{1}{1+1 \times 1+1} = \frac{1}{3}$$

$$4) \lim_{x \rightarrow 8} \frac{\sqrt[3]{x} - 2}{x - 8} = \left(\frac{0}{0}\right)'' \text{ FI}$$

On a :  $a^3 - b^3 = (a-b)(a^2 + ab + b^2)$ 

$$\lim_{x \rightarrow 8} \frac{\sqrt[3]{x} - 2}{x - 8} = \lim_{x \rightarrow 8} \frac{(\sqrt[3]{x})^3 - 2^3}{(x-8)((\sqrt[3]{x})^2 + 2 \times \sqrt[3]{x} + 2^2)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 8} \frac{x-8}{(x-8)((\sqrt[3]{x})^2 + 2 \times \sqrt[3]{x} + 2^2)} = \lim_{x \rightarrow 8} \frac{1}{(\sqrt[3]{x})^2 + 2 \times \sqrt[3]{x} + 4} = \frac{1}{12}$$

$$5) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{2x+6} - \sqrt{x+3}}{x-1} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{2x+6} - 2}{x-1} - \frac{\sqrt{x+3} - 2}{x-1}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x+6-8}{(x-1)\left(\left(\sqrt[3]{2x+6}\right)^2 + 2 \times \sqrt[3]{2x+6} + 2\right)} - \frac{1}{(x-1)(\sqrt{x+3}+2)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2}{\left(\sqrt[3]{2x+6}\right)^2 + 2 \times \sqrt[3]{2x+6} + 2} - \frac{1}{\sqrt{x+3}+2} - \frac{1}{4} = \frac{-1}{12}$$

$$6) \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\sqrt{x+1}}{\sqrt[3]{x^2-2}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\sqrt[6]{(x+1)^3}}{\sqrt[6]{(x^2-2)^2}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[6]{\frac{(x+1)^3}{(x^2-2)^2}} = 0$$

Car :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{(x+1)^3}{(x^2-2)^2} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^3}{x^4} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x} = 0$

$$7) \lim_{x \rightarrow 1^+} \frac{\sqrt[4]{x^2-1}}{\sqrt{x-1}} = \lim_{x \rightarrow 1^+} \frac{\sqrt[4]{x^2-1}}{\sqrt[4]{(x-1)^2}} = \lim_{x \rightarrow 1^+} \sqrt[4]{\frac{x^2-1}{(x-1)^2}}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1^+} \sqrt[4]{\frac{(x-1)(x+1)}{(x-1)(x-1)}} = \lim_{x \rightarrow 1^+} \sqrt[4]{\frac{x+1}{x-1}} = +\infty$$

Car :  $\lim_{x \rightarrow 1^+} x+1 = 2$  et  $\lim_{x \rightarrow 1^+} x-1 = 0^+$

**Exercice38** : simplifier les expressions

suivantes :1)  $A = \frac{\sqrt[3]{1024} \times \sqrt[5]{3200000}}{\sqrt[4]{64} \times \sqrt[3]{\sqrt{252}} \times \sqrt{18}}$

2) a) comparer :  $\sqrt[3]{4}$  et  $\sqrt[4]{3}$

b) comparer :  $\sqrt[3]{28}$  et  $\sqrt{13}$

c) comparer :  $\sqrt[5]{23}$  et  $\sqrt[15]{151}$

**Solutions :1)**

$$A = \frac{\sqrt[3]{1024} \times \sqrt[5]{3200000}}{\sqrt[4]{64} \times \sqrt[3]{\sqrt{252}} \times \sqrt{18}} = \frac{\sqrt[3]{2^{10}} \times \sqrt[5]{2^{10} \times 10^5}}{\sqrt[4]{2^6} \times \sqrt[3]{\sqrt{2^8} \times 3} \times \sqrt{2 \times 3^2}}$$

$$A = \frac{2^{\frac{10}{3}} \times 2 \times 10}{2^{\frac{1}{4}} \times 2^{\frac{4}{3}} \times 3 \times 2^{\frac{1}{2}}} = 20$$

2) a) comparaison de :  $\sqrt[3]{4}$  et  $\sqrt[4]{3}$

on a  $n \times m \sqrt{x^m} = n \sqrt{x}$

et on a :  $\sqrt[4]{3} = \sqrt[4 \times 5]{3^5} = \sqrt[20]{243}$  et  $\sqrt[3]{4} = \sqrt[4 \times 5]{4^4} = \sqrt[20]{256}$

donc  $\sqrt[3]{4} > \sqrt[4]{3}$  car  $256 > 243$

b) comparaison de :  $\sqrt[3]{28}$  et  $\sqrt{13}$

on a  $\sqrt[3]{28} = \sqrt[6]{28^2} = \sqrt[6]{784}$  et

$\sqrt{13} = \sqrt[2]{13} = \sqrt[2 \times 3]{13^3} = \sqrt[6]{2197}$

on a  $\sqrt[6]{2197} > \sqrt[6]{784}$  car  $\sqrt{13} > \sqrt[3]{28}$

b) comparaison de :  $\sqrt[15]{151}$  et  $\sqrt[5]{23}$

$$\sqrt[5]{23} = \sqrt[15]{23^3} = \sqrt[15]{12167}$$

Donc :  $\sqrt[5]{23} > \sqrt[15]{151}$

**Exercice39** :1) Rendre le dénominateur

rationnel :  $a = \frac{3\sqrt{2}}{\sqrt[3]{2}-2}$        $b = \frac{1}{\sqrt[3]{4} + \sqrt[3]{2} + 1}$

$c = \frac{1}{\sqrt[3]{2}-\sqrt[3]{5}}$        $d = \frac{1}{\sqrt[3]{25} + \sqrt[3]{10} + \sqrt[3]{4}}$

2) Déterminer les limites suivantes :

a)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x+3} - \sqrt{3x+1}}{\sqrt[3]{x}-1}$       b)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[3]{x^3+1} - x$

**Solutions :1)**

$a = \frac{3\sqrt{2}}{\sqrt[3]{2}-2}$  on utilise :  $a^3 - b^3 = (a-b)(a^2 + ab + b^2)$

$$a = \frac{3\sqrt{2}(\sqrt[3]{2^2} + 2\sqrt[3]{2} + 2^2)}{(\sqrt[3]{2}-2)(\sqrt[3]{2^2} + 2\sqrt[3]{2} + 2^2)} = \frac{3\sqrt{2}(\sqrt[3]{2^2} + 2\sqrt[3]{2} + 2^2)}{\sqrt[3]{2^3} - 2^3}$$

$$a = \frac{3\sqrt{2}(\sqrt[3]{2^3} + 2\sqrt[3]{2} + 2^2)}{-6} = -\frac{\sqrt{2}(\sqrt[3]{2^3} + 2\sqrt[3]{2} + 2^2)}{2}$$

$$b = \frac{1}{\sqrt[3]{4} + \sqrt[3]{2} + 1} = \frac{\sqrt[3]{2}-1}{(\sqrt[3]{2}-1)(\sqrt[3]{2^2} + \sqrt[3]{2} \times 1 + 1^2)}$$

$$b = \frac{\sqrt[3]{2}-1}{(\sqrt[3]{2})^3 - 1^3} = \sqrt[3]{2} - 1$$

$$c = \frac{1}{\sqrt[3]{2}-\sqrt[3]{5}} = \frac{\sqrt[3]{2^2} + \sqrt[3]{2} \times \sqrt[3]{5} + \sqrt[3]{5^2}}{(\sqrt[3]{2}-\sqrt[3]{5})(\sqrt[3]{2^2} + \sqrt[3]{2} \times \sqrt[3]{5} + \sqrt[3]{5^2})}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt[3]{2}-\sqrt[3]{5}} = \frac{\sqrt[3]{2^2} + \sqrt[3]{2} \times \sqrt[3]{5} + \sqrt[3]{5^2}}{(\sqrt[3]{2})^3 - (\sqrt[3]{5})^3} = -\frac{\sqrt[3]{4} + \sqrt[3]{10} + \sqrt[3]{25}}{3}$$

$$d = \frac{1}{\sqrt[3]{25} + \sqrt[3]{10} + \sqrt[3]{4}} = \frac{1}{\sqrt[3]{5^2} + \sqrt[3]{2}\sqrt[3]{5} + \sqrt[3]{2^2}}$$

$$d = \frac{\sqrt[3]{5} - \sqrt[3]{2}}{(\sqrt[3]{5} - \sqrt[3]{2})(\sqrt[3]{5^2} + \sqrt[3]{2}\sqrt[3]{5} + \sqrt[3]{2^2})} = \frac{\sqrt[3]{5} - \sqrt[3]{2}}{(\sqrt[3]{5})^3 - (\sqrt[3]{2})^3}$$

$$d = \frac{\sqrt[3]{5} - \sqrt[3]{2}}{3}$$

2) a)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x+3} - \sqrt{3x+1}}{\sqrt[3]{x}-1}$  on utilise :

$a^3 - b^3 = (a-b)(a^2 + ab + b^2)$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(\sqrt{x+3} - \sqrt{3x+1})(\sqrt{x+3} + \sqrt{3x+1})(\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{x} \times 1 + 1^2)}{(\sqrt{x+3} + \sqrt{3x+1})(\sqrt[3]{x} - 1)(\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{x} \times 1 + 1^2)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{-2(x-1)(\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{x} \times 1 + 1)}{(\sqrt{x+3} + \sqrt{3x+1})(\sqrt[3]{x} - 1)(\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{x} \times 1 + 1^2)} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{-2(\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{x} \times 1 + 1)}{(\sqrt{x+3} + \sqrt{3x+1})} = \frac{-6}{2} = \frac{-3}{2}$$

b)

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[3]{x^3+1} - x = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{(\sqrt[3]{x^3+1} - x)(\sqrt[3]{(x^3+1)^2} + x\sqrt[3]{x^3+1} \times 1 + x^2)}{\sqrt[3]{(x^3+1)^2} + x\sqrt[3]{x^3+1} \times 1 + x^2}$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[3]{x^3+1} - x = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{\sqrt[3]{(x^3+1)^2} + x\sqrt[3]{x^3+1} \times 1 + x^2} = 0$$

**Exercice40** : Déterminer la limite suivante :

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[4]{20x^2-4} - 2}{2x^2 + x - 3}$$

**Solutions** :  $\frac{\sqrt[4]{20x^2-4} - 2}{2x^2 + x - 3} = \frac{\sqrt[4]{20x^2-4} - \sqrt[4]{16}}{2x^2 + x - 3}$

$$= \frac{20x^2 - 4 - 16}{(2x^2 + x - 3)(\sqrt[4]{(20x^2-4)^3} + \sqrt[4]{(20x^2-4)^2} \times 4 + \sqrt[4]{(20x^2-4)16} + \sqrt[4]{16^3})}$$

$$= \frac{20(x+1)}{(2x+3)(\sqrt[4]{(20x^2-4)^3} + \sqrt[4]{(20x^2-4)^2} \times 4 + \sqrt[4]{(20x^2-4)16} + \sqrt[4]{16^3})}$$

Donc :  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[4]{20x^2-4} - 2}{2x^2 + x - 3} = \frac{1}{8}$

**Exercice41**: 1) simplifier les expressions

suites :  $A = \frac{\sqrt[5]{3^5} \times \sqrt[3]{9} \times (\sqrt[5]{9})^3}{\sqrt[5]{3}}$

et  $B = \frac{\sqrt[4]{9} \times \sqrt{\sqrt[3]{3^3} \times \sqrt{9}}}{\sqrt[5]{81} \times \sqrt{\sqrt{3}}}$

2) Résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'équation :

a)  $\sqrt[3]{x-1} = 3$       b)  $x^{\frac{2}{3}} - 7x^{\frac{1}{3}} - 8 = 0$

c)  $\sqrt{x} - \sqrt[3]{x} - 12 = 0$

2) Déterminer les limites suivantes :

a)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[5]{x^5 + x^2} + 1$       b)  $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{x} - 1}{x - 1}$

c)  $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{\sqrt[3]{x+1} - 1}$

**Solution** :

$$A = \frac{\sqrt[5]{3^5} \times \sqrt[3]{9} \times (\sqrt[5]{9})^3}{\sqrt[5]{3}} = \frac{(3^5)^{\frac{1}{5}} \times (3^2)^{\frac{1}{3}} \times (3^{\frac{1}{5}})^3}{3^{\frac{1}{5}}} = \frac{3^{\frac{1}{5}} \times 3^{\frac{2}{3}} \times 3^{\frac{3}{5}}}{3^{\frac{1}{5}}}$$

$$A = \frac{3^{\frac{1}{5} + \frac{2}{3} + \frac{3}{5}}}{3^{\frac{1}{5}}} = \frac{3^{\frac{8}{3}}}{3^{\frac{1}{5}}} = 3^{\frac{8}{3} - \frac{1}{5}} = 3^{\frac{37}{15}} = (\sqrt[15]{3})^{37}$$

$$B = \frac{\sqrt[4]{9} \times \sqrt{\sqrt[3]{3^3} \times \sqrt{9}}}{\sqrt[5]{81} \times \sqrt{\sqrt{3}}} = \frac{(3^2)^{\frac{1}{4}} \times (3^4)^{\frac{1}{6}}}{(3^4)^{\frac{1}{5}} \times (3)^{\frac{1}{8}}} = \frac{3^{\frac{1}{2}} \times 3}{(3^4)^{\frac{1}{5}} \times (3)^{\frac{1}{8}}}$$

$$B = \frac{3^{\frac{3}{2}}}{3^{\frac{4}{5}} \times 3^{\frac{1}{8}}} = 3^{\frac{3}{2} - \frac{4}{5} - \frac{1}{8}} = 3^{\frac{3 \cdot 40 - 4 \cdot 16 - 5}{40}} = 3^{\frac{11 \cdot 40 - 4}{40}} = 3^{\frac{55 \cdot 32}{40}}$$

$$B = 3^{\frac{23}{40}} = \sqrt[40]{3^{23}}$$

2) a)  $\sqrt[3]{x-1} = 3 \Leftrightarrow (\sqrt[3]{x-1})^3 = 3^3 \Leftrightarrow x-1 = 27$

$\Leftrightarrow x = 28$     donc :  $S = \{28\}$

b)  $x^{\frac{2}{3}} - 7x^{\frac{1}{3}} - 8 = 0 \Leftrightarrow \left(x^{\frac{1}{3}}\right)^2 - 7x^{\frac{1}{3}} - 8 = 0$

on pose :  $x^{\frac{1}{3}} = X$     donc :  $X^2 - 7X - 8 = 0$

$\Delta = b^2 - 4ac = (-7)^2 - 4 \times 1 \times (-8) = 49 + 32 = 81 > 0$

$x_1 = \frac{7+9}{2 \times 1} = \frac{16}{2} = 8$     et     $x_2 = \frac{7-9}{2 \times 1} = \frac{-2}{2} = -1$

Donc :  $x^{\frac{1}{3}} = 8$     ou     $x^{\frac{1}{3}} = -1$

$x^{\frac{1}{3}} = -1$  n'a pas de solutions

$x^{\frac{1}{3}} = 8 \Leftrightarrow \left(x^{\frac{1}{3}}\right)^3 = (8)^3 \Leftrightarrow x = 512$

Donc :  $S = \{512\}$

c)  $\sqrt{x} - \sqrt[3]{x} - 12 = 0$     on a  $x \geq 0$

$\sqrt{x} - \sqrt[3]{x} - 12 = 0 \Leftrightarrow \sqrt[6]{x^3} - \sqrt[6]{x^2} - 12 = 0$

on pose :  $\sqrt[6]{x} = X$     donc :  $X^3 + X^2 - 12 = 0$

on remarque que 2 est racine de cette équation

donc :  $X^3 + X^2 - 12 = (X - 2)(X^2 + 3X + 6)$

$X^3 + X^2 - 12 = 0 \Leftrightarrow X = 2$     ou     $X^2 + 3X + 6 = 0$

$\Delta = -15 < 0$     donc  $X^2 + 3X + 6 = 0$  n'a pas de solutions

Donc :  $X = 2 \Leftrightarrow \sqrt[6]{x} = 2 \Leftrightarrow x = 2^6 = 64$

Donc :  $S = \{64\}$

$$2) a) \lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[5]{x^5 + x^2 + 1} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt[5]{x^5} = +\infty$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{x} - 1}{x - 1} \text{ on a } a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2)$$

$$b) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{x} - 1}{x - 1} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(\sqrt[3]{x} - 1)((\sqrt[3]{x})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x} + 1^2)}{(x - 1)((\sqrt[3]{x})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x} + 1^2)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 1} \frac{((\sqrt[3]{x})^3 - 1^3)}{(x - 1)((\sqrt[3]{x})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x} + 1^2)} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{x - 1}{(x - 1)((\sqrt[3]{x})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x} + 1^2)}$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{x} - 1}{x - 1} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{1}{((\sqrt[3]{x})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x} + 1^2)} = \frac{1}{1 + 1 \times 1 + 1} = \frac{1}{3}$$

$$c) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{\sqrt[3]{x+1} - 1} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x ((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x+1} + 1^2)}{(\sqrt[3]{x+1} - 1)((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x+1} + 1^2)}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x ((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x+1} + 1^2)}{(\sqrt[3]{x+1})^3 - (1)^3} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x ((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x+1} + 1^2)}{x}$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} ((\sqrt[3]{x+1})^2 + 1 \times \sqrt[3]{x+1} + 1^2) = 1 \times 3 = 3$$

#### Exercice 42:

1. Résoudre dans  $\mathbb{R}$  :  $x^4 = 16$

2. Résoudre dans  $\mathbb{R}$  :  $(x - 1)^3 = -27$

#### Exercice 43 :

1. Résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'équation:  $\sqrt[3]{x} - x = 0$

2. Résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'équation :

$$\sqrt[3]{x} - 5\sqrt[6]{x} + 6 = 0$$

3. Résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'inéquation :

$$\sqrt[3]{x-1} - \sqrt[3]{x-2} > 1$$

#### Exercice 44 : Déterminer les réels suivants :

1)  $a = \text{Arctan}(\tan(\frac{2007\pi}{5}))$

2)  $b = \tan(\text{Arctan}(\frac{2007\pi}{5}))$

3)  $c = \tan(\text{Arctan}(-1))$

4)  $d = \text{Arctan}(\tan(-1))$

5)  $e = \tan(\text{Arctan}(\sqrt{123}))$

**Solution :** 1) on a si  $x \in ]-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}[$  :

$$\arctan(\tan x) = x$$

$$a = \text{Arctan}(\tan(\frac{2007\pi}{5}))$$

$$= \text{Arctan}(\tan(405\pi + \frac{2\pi}{5})) = \text{Arctan}(\tan(\frac{2\pi}{5}))$$

Et puisque :  $-\frac{\pi}{2} < \frac{2\pi}{5} < \frac{\pi}{2}$  alors :  $a = \frac{2\pi}{5}$

2)  $b = \tan(\text{Arctan}(\frac{2007\pi}{5})) = \frac{2007\pi}{5}$

Car :  $(\forall x \in \mathbb{R})(\tan(\arctan x) = x)$

3)  $c = \tan(\text{Arctan}(-1)) = -1$

4)  $d = \text{Arctan}(\tan(-1)) = -1$  car  $-\frac{\pi}{2} < -1 < \frac{\pi}{2}$

5)  $e = \tan(\text{Arctan}(\sqrt{123})) = \sqrt{123}$

#### Exercice 45 : on considère les nombres

suyvants :  $a = \text{Arctan}(\frac{1}{2})$  et  $b = \text{Arctan}(\frac{1}{5})$

et  $c = \frac{\pi}{4} - \text{Arctan}(\frac{1}{8})$

1) montrer que :  $\tan(a+b) = \tan c$

2) En déduire que :

$$\text{Arctan}(\frac{1}{2}) + \text{Arctan}(\frac{1}{5}) + \text{Arctan}(\frac{1}{8}) = \frac{\pi}{4}$$

**Solution :** 1) on a :  $\tan(a+b) = \frac{\tan a + \tan b}{1 - \tan a \times \tan b}$

$$\tan(a+b) = \frac{\tan \arctan(\frac{1}{2}) + \tan \arctan(\frac{1}{5})}{1 - \tan \arctan(\frac{1}{2}) \times \tan \arctan(\frac{1}{5})} = \frac{\frac{1}{2} + \frac{1}{5}}{1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{5}} = \frac{7}{9}$$

$$\tan c = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \arctan\left(\frac{1}{8}\right)\right) = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4}\right) - \tan \arctan\left(\frac{1}{8}\right)}{1 + \tan\left(\frac{\pi}{4}\right) \times \tan \arctan\left(\frac{1}{8}\right)}$$

$$\tan c = \frac{1 - \frac{1}{8}}{1 + \frac{1}{8}} = \frac{7}{9} \quad \text{Donc : } \tan(a+b) = \tan c$$

2)  $0 < \frac{1}{2} < 1 \Rightarrow \arctan 0 < \arctan \frac{1}{2} < \arctan 1 \Rightarrow 0 < \arctan \frac{1}{2} < \frac{\pi}{4}$

$0 < \frac{1}{5} < 1 \Rightarrow \arctan 0 < \arctan \frac{1}{5} < \arctan 1 \Rightarrow 0 < \arctan \frac{1}{5} < \frac{\pi}{4}$

Donc  $0 < a+b < \frac{\pi}{2}$

Et on a :  $0 < \frac{1}{8} < 1 \Rightarrow 0 < \arctan \frac{1}{8} < \frac{\pi}{4} \Rightarrow 0 < \frac{\pi}{4} - \arctan \frac{1}{8} < \frac{\pi}{4}$

Donc  $0 < c < \frac{\pi}{4}$

On a :  $\tan(a+b) = \tan c$  et puisque  $\tan$  est une

bijection de  $\left] -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right[ \rightarrow \mathbb{R}$ . Donc :  $a+b=c$

$$\text{Cad : } \text{Arctan} \frac{1}{2} + \text{Arctan} \frac{1}{5} = \frac{\pi}{4} - \text{Arctan} \frac{1}{8}$$

$$\text{Donc : } \text{Arctan} \frac{1}{2} + \text{Arctan} \frac{1}{5} + \text{Arctan} \frac{1}{8} = \frac{\pi}{4}$$

**Exercice 46 :** Considérons la fonction  $f$  définie

par :  $f(x) = x \cos \frac{1}{x}$ ; si  $x \neq 0$  et  $f(0) = 0$

1) Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 0$

2) Etudier la continuité de  $f$  sur les intervalles  $]0; +\infty[$  et  $]-\infty; 0[$  et est-ce que  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$

3)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x)$  **Solution :** 1)  $x \in \mathbb{R}^* \left| \cos\left(\frac{1}{x}\right) \right| \leq 1$

donc :  $|x| \left| \cos\left(\frac{1}{x}\right) \right| \leq |x|$  donc :  $\left| x \cos\left(\frac{1}{x}\right) \right| \leq |x|$

donc :  $-|x| \leq f(x) \leq |x|$

et puisque :  $\lim_{x \rightarrow 0} |x| = 0$  et  $\lim_{x \rightarrow 0} -|x| = 0$

Alors :  $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 0 = f(0)$

Donc :  $f$  est continue en  $x_0 = 0$

2) on a la fonction :  $f_1 : x \rightarrow \frac{1}{x}$  continue sur les

intervalles  $]0; +\infty[$  et  $]-\infty; 0[$  et les fonctions :

$f_2 : x \rightarrow \cos x$  et  $f_3 : x \rightarrow x$  sont continues sur les

intervalles  $]0; +\infty[$  et  $]-\infty; 0[$

Donc :  $f = f_3 \circ (f_2 \circ f_1)$  est continue sur les

intervalles  $]0; +\infty[$  et  $]-\infty; 0[$

Et puisque :  $f$  est continue en  $x_0 = 0$

Alors  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$

3)  $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x)$  ?

$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x} = 0$  et  $x \rightarrow \cos x$  est continue en  $x_0 = 0$

Donc  $\lim_{x \rightarrow +\infty} \cos \frac{1}{x} = \cos 0 = 1$

Et puisque :  $\lim_{x \rightarrow +\infty} x = +\infty$

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

**Exercice 47 :** Considérons la fonction  $f$  définie

par :  $f(x) = E(x) + (x - E(x))^2$ ; si  $x \neq 0$  et  $f(0) = 0$

1) Etudier la continuité de  $f$  en  $x_0 = 2$

2) Etudier la continuité de  $f$  en  $x_1 = \sqrt{2}$

3) Etudier la continuité de  $f$  sur  $\mathbb{R}$

**Solution :** 1) on va écrire  $f$  sur les intervalles

Bien définies :  $\begin{cases} f(x) = 1 + (x-1)^2; \text{ si } \dots x \in [1; 2[ \\ f(x) = 2 + (x-2)^2; \text{ si } \dots x \in [2; 3[ \end{cases}$

On a  $f(2) = 2$

$\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^-} 1 + (x-1)^2 = 2 = f(2)$

donc  $f$  est continue à gauche de  $x_0 = 2$

$\lim_{x \rightarrow 2^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow 2^+} 2 + (x-2)^2 = 2 = f(2)$

donc  $f$  est continue à droite de  $x_0 = 2$

et puisque  $f$  est continue à droite et à gauche de  $x_0 = 2$  alors  $f$  est continue en  $x_0 = 2$

2) Etudions la continuité de  $f$  en  $x_1 = \sqrt{2}$

Puisque les fonctions :  $g : x \rightarrow E(x)$  et  $h : x \rightarrow x$

sont continues en  $x_1 = \sqrt{2}$

alors :  $f = g + (h - g)^2$  est continue en  $x_1 = \sqrt{2}$

3) Etudions la continuité de  $f$  sur  $\mathbb{R}$

Puisque les fonctions :  $g : x \rightarrow E(x)$  et  $h : x \rightarrow x$

sont continues sur chaque intervalle dans  $\mathbb{R} - \mathbb{Z}$

Alors la fonction :  $f = g + (h - g)^2$  est continue sur chaque intervalle dans  $\mathbb{R} - \mathbb{Z}$

3) Etudions la continuité de  $f$  sur  $\mathbb{Z}$

Soit :  $k \in \mathbb{Z}$  on a  $f(k) = k$

$\begin{cases} f(x) = k - 1 + (x - k + 1)^2; \text{ si } \dots x \in [k-1; k[ \\ f(x) = k + (x - k)^2; \text{ si } \dots x \in [k; k+1[ \end{cases}$

$\lim_{x \rightarrow k^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow k^-} k - 1 + (x - k + 1)^2 = k = f(k)$

donc  $f$  est continue à gauche de  $x_0 = k$

$\lim_{x \rightarrow k^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow k^+} k + (x - k)^2 = k = f(k)$

donc  $f$  est continue à droite de  $x_0 = k$

et puisque  $f$  est continue à droite et à gauche de  $x_0 = k$  alors  $f$  est continue sur  $\mathbb{Z}$

conclusion :  $f$  est continue sur  $\mathbb{R}$

**Exercice48** : soient  $f$  et  $g$  sont deux fonctions définies sur  $\mathbb{R}$  tels que  $f$  est bornée et  $g$  continue sur  $\mathbb{R}$  ; Montrer que  $f \circ g$  et  $g \circ f$  sont bornées sur  $\mathbb{R}$

**Solution :1)**  $f$  est bornée sur  $\mathbb{R}$  donc il existent deux réels  $m$  et  $M$  tel que :  $\forall x \in \mathbb{R}$   
 $m \leq f(x) \leq M$

Donc :  $f(x) \in [m; M] \quad \forall x \in \mathbb{R}$

Donc :  $g(f(x)) \in g([m; M]) \quad \forall x \in \mathbb{R}$

et puisque  $g$  est continue sur  $\mathbb{R}$  alors  $g$  est continue sur  $[m; M]$  donc il existent deux réels  $a$  et  $b$  tel que  $g([m; M]) = [a; b]$

donc  $g(f(x)) \in [a; b] \quad \forall x \in \mathbb{R}$

donc  $a \leq g(f(x)) \leq b \quad \forall x \in \mathbb{R}$

donc  $a \leq (g \circ f)(x) \leq b \quad \forall x \in \mathbb{R}$

Donc  $g \circ f$  sont bornée sur  $\mathbb{R}$

**2)** la fonction  $g$  est continue sur  $\mathbb{R}$  donc :

$g(\mathbb{R}) = I$  avec  $I$  un intervalle de  $\mathbb{R}$

et puisque  $f$  est bornée sur  $\mathbb{R}$  Donc :

$f(y) \in [m; M] \quad \forall y \in I$

Donc :  $f(g(x)) \in [m; M] \quad \forall x \in \mathbb{R}$

Donc :  $m \leq (f \circ g)(x) \leq M \quad \forall x \in \mathbb{R}$

Donc  $f \circ g$  sont bornée sur  $\mathbb{R}$

**Exercice 49:** Considérons la fonction  $f$  continue Sur l'intervalle  $[a; b]$  et  $x_1$  et  $x_2$  et  $x_3$  des nombres de l'intervalle  $[a; b]$

Montrer que l'équation :

$3f(x) = f(x_1) + f(x_2) + f(x_3)$  admet au moins une solution dans  $[a; b]$

**Solution :**

On considéré la fonction  $g$  définie sur  $[a; b]$  par

$$g(x) = 3f(x) - (f(x_1) + f(x_2) + f(x_3))$$

la fonction  $g$  est continue sur l'intervalle  $[a; b]$

soit  $f(\alpha)$  le plus petit des nombres  $f(x_1); f(x_2)$

;  $f(x_3)$  et soit  $f(\beta)$  le plus grand des nombres

$f(x_1); f(x_2)$  et  $f(x_3)$

$$\text{On a : } g(\alpha) = 3f(\alpha) - (f(x_1) + f(x_2) + f(x_3))$$

$$g(\alpha) = (f(\alpha) - f(x_1)) + (f(\alpha) - f(x_2)) + (f(\alpha) - f(x_3))$$

$$\text{Donc : } g(\alpha) \leq 0$$

$$\text{De même : on a : } g(\beta) = 3f(\beta) - (f(x_1) + f(x_2) + f(x_3))$$

$$g(\beta) = (f(\beta) - f(x_1)) + (f(\beta) - f(x_2)) + (f(\beta) - f(x_3))$$

$$\text{Donc : } g(\beta) \geq 0$$

et puisque  $g$  est continue sur  $[a; b]$

Donc : d'après le **(T.V.I)** il existe un réel  $c$  dans  $[a; b]$  tel que :  $g(c) = 0$

$$\text{Cad } 3f(c) = f(x_1) + f(x_2) + f(x_3)$$

Donc l'équation  $3f(x) = f(x_1) + f(x_2) + f(x_3)$

admet au moins une solution dans  $[a; b]$

**Exercice50** : soient  $f$  et  $g$  sont deux fonctions continues sur  $[a; b]$  tels que :

$$0 < g(x) < f(x) \quad \forall x \in [a; b]$$

Montrer que :

$$\exists \lambda \in \mathbb{R}_+^* / \forall x \in [a; b]; (1 + \lambda)g(x) \leq f(x)$$

**Solution :** Montrons que :

$$\exists \lambda \in \mathbb{R}_+^* / \forall x \in [a; b]; (1 + \lambda)g(x) \leq f(x) \quad \text{Cad :}$$

$$\exists \lambda \in \mathbb{R}_+^* / \forall x \in [a; b]; \lambda \leq \frac{f(x)}{g(x)} - 1$$

On considéré la fonction  $h$  définie sur  $[a; b]$  par

$$h(x) = \frac{f(x)}{g(x)} - 1 \quad \text{la fonction } h \text{ est continue sur}$$

l'intervalle  $[a; b]$  car  $f$  et  $g$  sont continues sur

l'intervalle  $[a; b]$  et  $g(x) \neq 0 \quad \forall x \in [a; b]$  Donc la

fonction  $h$  admet un minimum  $\lambda$  Cad il existe

$x_0 \in [a; b]$  tel que :

$$\lambda = h(x_0) = \frac{f(x_0)}{g(x_0)} - 1 \quad \text{et } \lambda \leq h(x) \quad \forall x \in [a; b]$$

$$\text{On a : } 0 < g(x_0) < f(x_0) \quad \text{donc } 0 < \frac{f(x_0)}{g(x_0)} - 1$$

donc :  $\lambda \in \mathbb{R}_+^*$  donc :

$$\exists \lambda \in \mathbb{R}_+^* / \forall x \in [a; b]; (1 + \lambda)g(x) \leq f(x)$$

**Exercice 51:** Considérons la fonction  $f$  continue

Sur l'intervalle  $[a;b]$  tel que :  $f(a) < 0$

il existe  $x_0 \in ]a;b[$  tel que :  $f(x_0) = \frac{a-x_0}{b-x_0}$

**Solution :**

On a :  $f(x_0) = \frac{a-x_0}{b-x_0} \Leftrightarrow (b-x_0)f(x_0) - (a-x_0) = 0$

On considère la fonction  $g$  définie par :

$g(x) = (b-x)f(x) - (a-x)$  ; la fonction  $g$  est

continue sur l'intervalle  $[a;b]$  car c'est la somme

de fonctions continues sur  $[a;b]$

On a :  $g(a) = (b-a)f(a) < 0$  car  $f(a) < 0$

Et  $b-a > 0$  et on a :  $g(b) = b-a > 0$

Donc : d'après le **(T.V.I)** il existe  $x_0 \in ]a;b[$  tel

que :  $g(x_0) = 0$  cad  $f(x_0) = \frac{a-x_0}{b-x_0}$

**Exercice 52 :** Soit la fonction  $f(x) = x^2 + x + 1$

définie sur  $\mathbb{R}$ .

1- Déterminer  $J = f([0,1])$

2- Montrer que  $f$  admet une fonction réciproque

de  $J$  vers  $[0,1]$  et déterminer  $f^{-1}(x) \forall x \in J$

**Exercice 53 :** Soit la fonction  $g(x) = x - 2\sqrt{x}$

définie sur  $\mathbb{R}^+$ .

1- Montrer que  $g$  est strictement croissante sur

$[1, +\infty[$  puis déterminer  $J = g([1, +\infty[)$

2- Montrer que  $g$  admet une fonction réciproque

de  $J$  vers  $[1, +\infty[$  et déterminer  $g^{-1}(x) \forall x \in J$

**Exercice 54 :** Soit la fonction  $h(x) = \frac{x}{1-x^2}$

Montrer que  $h$  est une bijection de  $] - 1,1[$  vers

un intervalle  $J$  qu'il faut déterminer et déterminer

et déterminer  $h^{-1}(x) \forall x \in J$

*C'est en forgeant que l'on devient forgeron » Dit un*

*proverbe. C'est en s'entraînant régulièrement aux*

*calculs et exercices Que l'on devient un*

*mathématicien*

