

**TD-ENSEMBLES ET APPLICATIONS**

**Exercices d'application et de réflexions**

**Exercice1** :1)Ecrire en extension les ensembles

suiuants :  $D_{180} = \{n \in \mathbb{N} / n/180\}$

$$A = \left\{ n \in \mathbb{Z} / \frac{-5}{2} \leq n^2 \leq \frac{3}{2} \right\} ;$$

$$B = \{x \in \mathbb{R} / x^2 + x + 1 = 0\}$$

2)Ecrire en compréhension l'ensemble Des nombres pairs

**Exercice2** :1) Ecrire en extension les ensembles suiuvants :

$$E_1 = \{k \in \mathbb{Z} / |k+1| \leq 2\}$$

$$E_2 = \{x \in \mathbb{Z} / k^2 \leq 7\}$$

$$E_3 = \{k \in \mathbb{Z} / 7 \leq k^2 \leq 35\}$$

$$E_4 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / (x+y)(x-y) = 32\}$$

$$E_5 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / x^2 - y^2 = 15\}$$

$$E_6 = \{(x; y) \in \mathbb{Z}^2 / 0 < 2xy \leq 7\}$$

$$E_7 = \left\{ x \in \mathbb{Z}^* / (\forall n \in \mathbb{N}) \frac{1}{x} \geq \frac{n}{n+1} \right\}$$

$$E_8 = \{x \in \mathbb{Z} / (\forall n \in \mathbb{N}) x^2 \leq 4 + n^3\}$$

$$E_9 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / 0 < 2x \leq y \leq 5\}$$

$$E_{10} = \left\{ x \in \mathbb{Q} / x = \frac{p}{q} \text{ et } p; q \in \mathbb{N}^* \text{ Vérifiant } p \leq 3q \leq 11 \right\}$$

2)Ecrire en compréhension l'ensemble Des multiples de 5 dans  $\mathbb{N}$

**Exercice3** : Ecrire en extension les ensembles

$$\text{suiuants : } A = \left\{ \cos \left( \frac{\pi}{5} + \frac{n\pi}{6} \right) : n \in \mathbb{Z} \right\}$$

$$B = \left\{ \sin \left( \frac{\pi}{12} + \frac{n\pi}{6} \right) : n \in \mathbb{Z} \right\}$$

**Exercice4** :  $A = \{k \in \mathbb{Z} / |2k+1| \leq 3\}$  et  $B =$

$\{-2, -1, 0, 1\}$

Montrons que :  $A = B$

**Exercice5** : Soit  $E = \{0; 1; 2\}$  déterminer tous les ensembles inclus dans E. Qui s'appelle l'ensemble des parties de E et se note  $\mathcal{P}(E)$ .

**Exercice6** : Ecrire en extension les ensembles suiuvants : 1)  $P(P(\emptyset))$  2)  $P(P(\{a; b\}))$

**Exercice7** : donner Complémentaire des ensembles suiuvants :  $[a; b[$  l'ensemble  $\mathbb{Q}$

2) l'intervalle  $[a; b[$   $a < b$

**Exercice8** : Soient les ensembles :

$$A = \left\{ \frac{\pi}{4} + 2 \frac{k\pi}{5} : k \in \mathbb{Z} \right\} \quad B = \left\{ \frac{\pi}{2} + 2 \frac{k\pi}{5} : k \in \mathbb{Z} \right\}$$

Monter que :  $A \cap B = \emptyset$

**Exercice9** : Soient  $A ; B ; C$  et  $D$  des parties d'un ensemble  $E$

$$\text{Monter que : } \begin{cases} (B-C) \cup A = E \\ (C-D) \cup A = E \end{cases} \Rightarrow (B-D) \subset A$$

**Exercice10** : Soient  $A ; B ; C$  des ensembles

Monter que :  $A \subset B \subset C \Leftrightarrow A \cup B = B \cap C$

**Exercice11** : Soient  $A ; B ; C$  des parties d'un ensemble  $E$

Monter que :

$$1) A = (A \cap B \cap C) \cup (A \cap \bar{B} \cap C) \cup (A \cap \bar{B} \cap \bar{C}) \cup (A \cap B \cap \bar{C})$$

$$2) (A \cup B) \cap (B \cup C) \cap (C \cup A) = (A \cap B) \cup (B \cap C) \cup (C \cap A)$$

$$3) A \cap \bar{B} = A \cap \bar{C} \Leftrightarrow A \cap B = A \cap C$$

**Exercice12** : Soient  $A ; B ; C$  des parties d'un ensemble  $E$

$$\text{Monter que : } \begin{cases} A \cup B \subset A \cup C \\ A \cap B \subset A \cap C \end{cases} \Rightarrow B \subset C$$

**Exercice13** : Soient  $A ; B ; C$  des parties d'un ensemble  $E$

La différence symétrique de  $A$  et  $B$  c'est l'ensemble Qu'on note :  $A \Delta B$  tel que :  $A \Delta B = (A - B) \cup (B - A)$

$$1) \text{Monter que : } A \Delta B = (A \cup B) - (A \cap B)$$

$$2) \text{Monter que : } \overline{A \Delta B} = A \Delta B$$

$$3) \text{Monter que : } \forall C \in P(E) : A \Delta B = A \Delta C \Leftrightarrow B = C$$

**Exercice14** : Soit l'ensemble :

$$E = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x^2 + xy - 2y^2 + 5 = 0\}$$

1) a) vérifier que :

$$\forall (x; y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + xy - 2y^2 = (x - y)(x + 2y)$$

b) Ecrire en extension l'ensemble  $E \cap \mathbb{Z}^2$

c) montrer que :  $E = \left\{ \left( \frac{2t^2 - 5}{3t}; \frac{-t^2 - 5}{3t} \right) / t \in \mathbb{R}^* \right\}$

4) Ecrire en compréhension les ensembles suivants :

$$A = \{0; 1; 4; 9; 16; \dots\} \text{ et } B = \left\{ -1; \frac{1}{2}; -\frac{1}{3}; \frac{1}{4}; \dots \right\}$$

$$C = \{\dots; -5; -2; 1; 4; 7; \dots\}$$

**Exercice15** : soient  $E$  et  $F$  deux ensembles et  $A$  et  $B$  deux parties respectives de  $E$  et  $F$

1) déterminer le complémentaire de  $A \times F$  dans  $E \times F$

2) déterminer le complémentaire de  $E \times F$  dans  $E \times F$

3) déterminer le complémentaire de  $A \times B$  dans  $E \times F$

**Exercice17** : soient l'ensemble :

$$L = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x^2 + y^2 \leq 1\}$$

Montrer qu'il n'existe pas deux parties  $A$  et  $B$  de  $\mathbb{R}$  tels que :  $L = A \times B$

**Exercice18** : Soient les ensembles :

$$H = \left\{ y \in \mathbb{R} / y = \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} : x \in \mathbb{R} \right\}$$

$$G = \left\{ y \in \mathbb{R} / y = \frac{1}{1 + \sqrt{x^2 + 1}} : x \in \mathbb{R} \right\}$$

1- montrer que :  $H = ]0, 1]$ .

a- Considérer un élément  $y_0 \in H$

et montrer que  $y_0 \in ]0, 1]$

b- Considérer un élément  $y_0 \in ]0, 1]$

et montrer que  $y_0 \in H$

2- Montrer que  $G \subset H$

3- Est-ce que  $G = H$  ?

**Exercice19** : soit  $a$  un nombre réel on considère les deux ensembles suivants :

$$E = \{x \in \mathbb{Z} / |x+1| \leq 3\} \text{ et } F = \{x \in \mathbb{Z} / |2x-a| \leq 4\}$$

1) Ecrire  $E$  en extension

2) déterminer les valeurs possibles de  $a$  pour lesquelles  $E \cap F = \emptyset$

3) déterminer les valeurs possibles de  $a$  pour lesquelles  $\mathbb{N} \cap F = \emptyset$

4) déterminer les valeurs possibles de  $a$  pour lesquelles  $F \subset \mathbb{N}$

**Exercice20** : on considère dans  $\mathbb{Z}$  les deux parties suivantes :

$$A = \left\{ x \in \mathbb{Z} / \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1} \in \mathbb{Z} \right\} \text{ et } B = \left\{ x \in \mathbb{Z} / \frac{x + 10}{x - 5} \in \mathbb{Z} \right\}$$

1) a) montrer que  $(\forall x \in \mathbb{Z} - \{5\}) \frac{x + 10}{x - 5} = 1 + \frac{15}{x - 5}$

1) b) montrer que  $(\forall x \in \mathbb{Z}) \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1} = 2x - 1 + \frac{9}{2x - 1}$

2) déterminer :  $A$  ;  $B$  ;  $A - B$  ;  $B - A$  et  $A \Delta B$  en extension

3) on admet que l'opération est associative dans l'ensembles des parties de  $\mathbb{Z}$  :  $P(\mathbb{Z})$

Résoudre dans  $P(\mathbb{Z})$  l'équation :  $A \Delta X = B$

**Exercice21** : Soient les ensembles :

$$E = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x^2 - xy - 2y^2 = 0\}$$

$$F = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x + y = 0\}$$

1) montrer que :  $F \subset E$

2) déterminer  $y$  de  $\mathbb{R}$  tel que :  $(1; y) \in E$  ; est ce que on a  $E \subset F$  ?

3) montrer que :  $E = F \cup G$  ou  $G$  est un ensemble à déterminer

4) Soient les ensembles :

$$A = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / y = x + 1 + \sqrt{x^2 + 1} = 0\}$$

$$B = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / y = x + 1 - \sqrt{x^2 + 1} = 0\}$$

a) montrer que :  $H = A \cup B$

b) déterminer :  $H \cap F$

**Exercice22** : Soient  $A$  ;  $B$  ;  $C$  des parties d'un ensemble  $E$

1) a) déterminer une condition suffisante de

l'existence de  $X$  dans  $P(E)$  tel que :  $A \cup X = B$

b) résoudre dans  $P(E)$  l'équation :  $A \cup X = B$

2) on suppose que  $C \subset A \subset B$

résoudre dans  $P(E)$  le système :  $\begin{cases} A \cup X = B \\ A \cap X = C \end{cases}$

**Exercice23** : soit les 2 applications :

$$f : \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R} \quad g : \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}$$
$$n \mapsto (-1)^n \quad \text{et} \quad n \mapsto \sin\left(\frac{\pi}{2} + n\pi\right)$$

Est-ce que  $f = g$  ?

**Exercice24** : soit l'application :  $f : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$   
 $x \mapsto x + \sqrt{x}$

$f$  est-elle injective ?

**Exercice25:** soit l'application :  $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto x^2 - 1$   
 g est-elle injective ?

$$f : \mathbb{R} - \{2\} \rightarrow \mathbb{R}$$

**Exercice26 :** 1)  $x \mapsto \frac{3x+1}{x-2}$

Montrer que f est injective

2)  $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto x^2 + 4$  g est-elle injective ?

$$h : \mathbb{N}^* \rightarrow \mathbb{Q}$$

2)  $n \mapsto 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}$

1- déterminer les images des entiers 1, 2, 3

2- Montrer que  $n > m \Rightarrow h(n) > h(m)$

3- En déduire que h est injective.

**Exercice27 :** soit l'application :  $f : \mathbb{R}^+ \rightarrow ]-\infty; 3]$   
 $x \mapsto 3 - x^2$

f est-elle surjective de  $\mathbb{R}^+$  vers  $]-\infty; 3]$ .

**Exercice28 :** soit l'application :  $f : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 3 - x^2$

f est-elle surjective de  $\mathbb{R}^+$  vers  $\mathbb{R}$  ?

$$f : \mathbb{R} - \{2\} \rightarrow \mathbb{R}$$

**Exercice29 :** 1)  $x \mapsto \frac{3x+1}{x-2}$

a- f est-elle surjective de  $\mathbb{R} - \{2\}$  vers  $\mathbb{R}$ .

b- Modifier l'ensemble d'arrivée pour définir une application surjective.

2)  $f : \mathbb{R} \rightarrow [2; +\infty[$   
 $x \mapsto x^2 - 2x + 3$

a- Montrer que la fonction g est surjective.

b- g est-elle injective ?

$$h : \mathbb{N}^* \rightarrow \mathbb{Q} \cap [1; +\infty[$$

3)  $n \mapsto 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}$

h est-elle surjective ?

**Exercice30 :** soit l'application :  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 2 - 5x$

f est-elle une bijection de  $\mathbb{R}$  vers  $\mathbb{R}$  ?

**Exercice31 :**  $f : [1; +\infty[ \rightarrow [2; +\infty[$   
 $x \mapsto x^2 - 2x + 3$

1- Montrer que f est une bijection de  $[1; +\infty[$  vers  $[2; +\infty[$ .

2- Soit y un élément de  $[2; +\infty[$ , déterminer (en fonction de y) l'élément x dans  $[1; +\infty[$  tel que  $f(x) = y$

L'application qui lie l'élément y de  $[2; +\infty[$ , à l'élément unique x de  $[1; +\infty[$  et solution de l'équation  $f(x) = y$  s'appelle : la bijection réciproque de la bijection f et se note :  $f^{-1}$

$$f : ]1; +\infty[ \rightarrow ]0; +\infty[$$

**Exercice32 :** soit l'application :  $x \mapsto \frac{2}{x-1}$

Montrer que f est une bijection et déterminer sa bijection réciproque.

**Exercice33 :** Déterminer la fonction réciproque de la fonction  $f : [1; +\infty[ \rightarrow [2; +\infty[$   
 $x \mapsto x^2 - 2x + 3$

**Exercice34 :** Soit la fonction g définie par :

$$g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto \frac{x}{1+x^2}$$

Montrer que g est une bijection et déterminer sa bijection réciproque.

**Exercice35 :** Soit  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 2x^2 - x$

1- Montrer que  $\forall x \in [-1; 1] \quad f(x) \in \left[ \frac{-3}{16}; 3 \right]$

2- Montrer que :  $\forall y \in \left[ \frac{-3}{16}; 3 \right] \exists x \in [-1; 1] / (f(x) = y)$

on dit que l'image de l'intervalle  $[-1; 1]$  par

l'application f est l'intervalle  $\left[ \frac{-3}{16}; 3 \right]$  et on écrit :

$$f([-1; 1]) = \left[ \frac{-3}{16}; 3 \right]$$

$$h : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

**Exercice36 :** Soit  $(x; y) \mapsto \frac{1}{x^2 + y^2}$

1- Déterminer les couples (x,y) qui vérifient

$$h((x,y)) = 1$$

2- Représenter dans le plan muni d'un repère

orthonormé les points M (x, y) qui vérifient

$$h((x, y)) = 1.$$

$$f : \mathbb{R} - \{-1\} \rightarrow \mathbb{R}$$

**Exercice37 :** soit l'application :  $x \mapsto \frac{3x-1}{x+1}$

1) Montrer que :  $\forall x \in \mathbb{R} - \{-1\} \quad f(x) = 3 - \frac{4}{x+1}$

2) Déterminer :  $f(K)$  avec  $K = ]-\infty; -1[$

**Exercice38 :** soit l'application :  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto x^2$

Déterminer :  $f^{-1}(B)$  avec  $B = [-1; 4]$

**Exercice39** : soit l'application :  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto \cos x$

Déterminer :  $f^{-1}(D)$  avec  $D = ]1; 2]$

**Exercice40** : Soit  $g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

$$x \mapsto \frac{3}{1+x^2} \quad \text{déterminer } f^{-1}([1; 2]) \quad f^{-1}([1; 2])$$

**Exercice41** : Soit l'application :

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \\ x \mapsto 3|1-x^2| + x \quad \text{Ecrire l'expression de } f \text{ sur } [-1; 1]$$

**Exercice42** : Soit l'application

$$g: \mathbb{R} - \{1\} \rightarrow \mathbb{R} \\ x \mapsto \frac{3x+1}{x-1} \quad 1-g \text{ est-elle bijective ?}$$

2- A partir de  $g$ , définir une bijection de  $\mathbb{R}$  dans  $\mathbb{R}$

**Exercice43** : soit l'application :  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto \sqrt{x^2 - 2x + 1}$

Déterminer la restriction de  $f$  sur l'intervalle  $] -\infty; 1]$

**Exercice44** : soit l'application :  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 2x - |x| + 3$

Déterminer la restriction de  $f$  sur l'intervalle  $] -\infty; 0]$

**Exercice45** : soit les applications :

$$f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R} \quad g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \\ x \mapsto x \quad \text{et} \quad x \mapsto 2|x| - x$$

Est-ce que  $g$  est un prolongement de  $f$  ?

**Exercice46** : 1) Montrer que :

$$(\forall x \in \mathbb{R})(\forall m \in \mathbb{Z})(E(m+x) = m + E(x)).$$

2) Vérifier par un contre-exemple que :

$$E(x+y) \neq E(x) + E(y)$$

3) Soit l'application  $h: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto E(3x+1) + x$

1- Vérifier que  $h$  n'est pas injective.

2- Donner la restriction de  $h$  sur l'intervalle  $\left[0; \frac{1}{3}\right]$ .

3- Déterminer :  $h^{-1}\{4\}$  et  $h^{-1}\{2\}$ ;  $h$  est-elle surjective ?.

**Exercice47** : Soient les deux applications :

$$f: \mathbb{R} - \{0\} \rightarrow \mathbb{R} \quad g: \mathbb{R} - \{1\} \rightarrow \mathbb{R} \\ x \mapsto \frac{1}{x^2} \quad \text{et} \quad x \mapsto \frac{x}{x-1}$$

1- Déterminer  $f(g(3))$ ;  $f(g(-1))$   $g(f(3))$

2- Donner la condition sur  $x$  pour que le réel  $g(f(x))$  existe.

3- Donner la condition sur  $x$  pour que le réel  $f(g(x))$  existe.

4- Déterminer les application  $f \circ g$  et  $g \circ f$ .

**Exercice48** : soit l'application :  $h: \mathbb{R}^+ \rightarrow \left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$   
 $x \mapsto x + \sqrt{x} + \frac{1}{4}$

1) Ecrire l'application  $h$  comme la composée de deux applications  $f$  et  $g$  :  $h = g \circ f$

2) a) Montrer que  $f$  est une bijection et déterminer sa bijection réciproque

b) Montrer que  $g$  est une bijection et déterminer sa bijection réciproque

c) en déduire que  $h$  est une bijection de  $\mathbb{R}^+$  dans

$\left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$  et déterminer sa bijection réciproque

**Exercice49** : soient les applications :

$$f: ]1; +\infty[ \rightarrow ]1; +\infty[ \quad g: ]1; +\infty[ \rightarrow ]1; +\infty[ \\ x \mapsto 1 + \frac{2}{\sqrt{x}-1} \quad \text{et} \quad x \mapsto \left(\frac{\sqrt{x}+1}{\sqrt{x}-1}\right)^2$$

1) Déterminer :  $f([2; 4[)$  et  $g^{-1}(\{9\})$

2) Montrer que  $f$  est une bijection de  $]1; +\infty[$  dans

$]1; +\infty[$  et déterminer sa bijection réciproque

3) a) vérifier que :  $\forall x \in ]1; +\infty[ : g(x) = (f(x))^2$

3) b) en déduire que :  $g$  est une bijection de  $]1; +\infty[$  dans  $]1; +\infty[$  et déterminer sa bijection réciproque

**Exercice50** : Soient les ensembles :

$$E = \{x \in ]-\pi; 2\pi[ / \tan x = \sqrt{3} : x \in \mathbb{R}\}$$

$$F = \left\{x \in ]-\pi; 2\pi[ / x = \frac{\pi}{6} + k\pi : k \in \mathbb{Z}\right\}$$

$$G = \left\{x \in ]-\pi; 2\pi[ / x = \frac{\pi}{6} + \frac{k}{2}\pi : k \in \mathbb{Z}\right\}$$

$$S = \left\{\frac{-5\pi}{3}; \frac{-\pi}{3}; \frac{\pi}{6}; \frac{2\pi}{3}; \frac{7\pi}{6}; \frac{5\pi}{3}\right\}$$

Vérifier que :  $S \subseteq E$  et  $E \subseteq S$  et que  $E = S$  et  $E = G$

Vérifier que :  $\frac{\pi}{8}$  n'est pas un élément de  $E$  et que

$$E \neq F$$

**Exercice51** : Soient  $A = \left\{\frac{5n+8}{8n-1} / n \in \mathbb{N}\right\}$  et

$$B = \left\{\frac{2n+4}{2n-1} / n \in \mathbb{N}\right\}$$

1- Est ce que :  $\frac{17}{3} \in A$  ?  $\frac{43}{25} \in B$  ?  $\frac{42}{37} \in B$  ?

2- montrer que  $\frac{6}{5}$  est un élément commun entre  $A$  et  $B$ .

**Exercice52** : Soit la fonction  $f$  définie par :

$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto \frac{x}{1+x^2}$$

$$\bar{A} = \{x \in E / x \notin A\}$$

1-Montrer que chaque élément de  $\mathbb{R}$  à une image.

2- l'implication suivante est-elle vraie :

(P)  $(a \neq b) \Rightarrow (f(a) \neq f(b))$ .

3-Montrer que  $(\forall x \in \mathbb{R}) f(x) \in \left[-\frac{1}{2}; \frac{1}{2}\right]$

4- Montrer que  $(\forall y \in \left[-\frac{1}{2}; \frac{1}{2}\right]) (\exists x \in \mathbb{R})(f(x) = y)$

**Exercice53** Soient les deux applications suivantes :

$$f : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z} \quad g : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z}$$
$$n \mapsto (-1)^n \times n \quad \text{et} \quad n \mapsto \begin{cases} n. \text{si } n. \text{pair} \\ -n. \text{si } n. \text{impair} \end{cases}$$

Vérifier que  $(\forall n \in \mathbb{N})(f(n) = g(n))$

**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**



## ENSEMBLES ET APPLICATIONS

**Exercice1** : 1) Ecrire en extension les ensembles

suyvants :  $D_{180} = \{n \in \mathbb{N} / n/180\}$

$$A = \left\{ n \in \mathbb{Z} / \frac{-5}{2} \leq n^2 \leq \frac{3}{2} \right\};$$

$$B = \{x \in \mathbb{R} / x^2 + x + 1 = 0\}$$

2) Ecrire en compréhension l'ensemble Des nombres pairs

**Solution : 1)**  $180 = 2^2 \times 3^2 \times 5$

$$D_{180} = \{1; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 10; 12; 15; 18; 20; 30; 36; 45; 60; 90; 180\}$$

$$A = \{-1; 0; 1\}$$

$$x^2 + x + 1 = 0 \quad \Delta = -3 < 0 \text{ donc : } B = \emptyset$$

$$2) P = \{2k / k \in \mathbb{N}\}$$

**Exercice2** : 1) Ecrire en extension les ensembles suivants :

$$E_1 = \{k \in \mathbb{Z} / |k+1| \leq 2\}$$

$$E_2 = \{x \in \mathbb{Z} / k^2 \leq 7\}$$

$$E_3 = \{k \in \mathbb{Z} / 7 \leq k^2 \leq 35\}$$

$$E_4 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / (x+y)(x-y) = 32\}$$

$$E_5 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / x^2 - y^2 = 15\}$$

$$E_6 = \{(x; y) \in \mathbb{Z}^2 / 0 < 2xy \leq 7\}$$

$$E_7 = \left\{ x \in \mathbb{Z}^* / (\forall n \in \mathbb{N}) \frac{1}{x} \geq \frac{n}{n+1} \right\}$$

$$E_8 = \{x \in \mathbb{Z} / (\forall n \in \mathbb{N}) x^2 \leq 4 + n^3\}$$

$$E_9 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / 0 < 2x \leq y \leq 5\}$$

$$E_{10} = \left\{ x \in \mathbb{Q} / x = \frac{p}{q} \text{ et } p; q \in \mathbb{N}^* \text{ Vérifiant } p \leq 3q \leq 11 \right\}$$

2) Ecrire en compréhension l'ensemble Des multiples de 5 dans  $\mathbb{N}$

**Solution : 1)**  $k \in E_1 \Leftrightarrow k \in \mathbb{Z} \text{ et } |k+1| \leq 2 \Leftrightarrow$

$$k \in \mathbb{Z} \text{ et } -2 \leq k+1 \leq 2 \Leftrightarrow$$

$$k \in \mathbb{Z} \text{ et } -3 \leq k \leq 1 \Leftrightarrow$$

$$\text{Donc : } E_1 = \{-3; -2; -1; 0; 1\}$$

$$k \in E_2 \Leftrightarrow k \in \mathbb{Z} \text{ et}$$

$$k^2 \leq 7 \Leftrightarrow |k| \leq \sqrt{7} \Leftrightarrow -\sqrt{7} \leq k \leq \sqrt{7} \text{ et } k \in \mathbb{Z}$$

$$\text{Donc : } E_2 = \{-2; -1; 0; 1; 2\}$$

$$k \in E_3 \Leftrightarrow k \in \mathbb{Z} \text{ et } 7 \leq k^2 \leq 35$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{7} \leq |k| \leq \sqrt{35} \Leftrightarrow |k| \in \{3; 4; 5\} \Leftrightarrow k \in \{-5; -4; -3; 3; 4; 5\}$$

$$\text{Donc : } E_3 = \{-5; -4; -3; 3; 4; 5\}$$

$$E_4 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / (x+y)(x-y) = 32\} ?$$

Et  $(x-y) + (x+y) = 2x$  est u nombre pair

Donc  $x-y$  et  $x+y$  ont la même parité et

$$x+y \geq x-y \quad 32 = 2^5$$

On dresse un tableau :

$x-y$	2	4
$x+y$	16	8
$x$	9	6
$y$	7	2

$$E_4 = \{(6; 2); (9; 7)\}$$

$$E_5 = \{(x; y) \in \mathbb{N}^2 / x^2 - y^2 = 15\} ?$$

$$x^2 - y^2 = 15 \Leftrightarrow (x+y)(x-y) = 15$$

De même que :  $E_4$  on a : les diviseurs de 15

sont 1 ; 3 ; 5 ; 15 et  $x+y \geq x-y$

On dresse un tableau :

$x-y$	1	3
$x+y$	15	5
$x$	8	4
$y$	7	1

$$E_5 = \{(8; 7); (4; 1)\}$$

$$E_6 = \{(x; y) \in \mathbb{Z}^2 / 0 < 2xy \leq 7\} ?$$

Soit :  $(x; y) \in E_6$  donc :  $0 < 2xy \leq 7$  donc :  $2xy$  est

u nombre relatif pair inferieur a 7

Donc :  $(x; y) \in E_6 \Leftrightarrow 2xy = 2$  ou  $2xy = 4$  ou  $2xy = 6$

$(x; y) \in E_6 \Leftrightarrow xy = 1$  ou  $xy = 2$  ou  $xy = 3$  Donc :

$$E_6 = \{(-1; -1); (1; 1); (1; 2); (-1; -2); (2; 1); (-2; -1); (1; 3); (-1; -3); (3; 1); (-3; -1)\}$$

$$E_7 = \left\{ x \in \mathbb{Z}^* / (\forall n \in \mathbb{N}) \frac{1}{x} \geq \frac{n}{n+1} \right\} ?$$

Soit :  $(x; y) \in E_6$  donc :  $x \in \mathbb{Z}^*$  et  $(\forall n \in \mathbb{N}) \frac{1}{x} \geq \frac{n}{n+1}$

Alors  $x \in \mathbb{N}^*$  et

$$\left(\forall n \in \mathbb{N}^*\right) \frac{1}{x} \geq \frac{n}{n+1} \Leftrightarrow x \leq \frac{n+1}{n} = 1 + \frac{1}{n} < 2 \Leftrightarrow x < 2$$

$$E_7 = \{1\}$$

$$E_8 = \{x \in \mathbb{Z} / (\forall n \in \mathbb{N}) x^2 \leq 4 + n^3\} ?$$

Soit :  $x \in E_8$  donc :  $x \in \mathbb{Z}$  et  $(\forall n \in \mathbb{N}) x^2 \leq 4 + n^3$

donc : on particulier pour  $n=0$  on a  $x^2 \leq 4$  donc

$$|x| \leq 2 \text{ d'où } x \in \{-2; -1; 0; 1; 2\}$$

Inversement on vérifie que les éléments  $-2; -1; 0; 1; 2$

Appartiennent à  $E_8$

$$\text{Conclusion : } E_8 = \{-2; -1; 0; 1; 2\}$$

$$E_{10} = \left\{x \in \mathbb{Q} / x = \frac{p}{q} \text{ et } p; q \in \mathbb{N}^* \text{ Vérifiant } p \leq 3q \leq 11\right\} ?$$

Soit :  $x \in E_{10}$  donc  $x = \frac{p}{q}$  avec  $p; q \in \mathbb{N}^*$  et

$p \leq 3q \leq 11$  donc

$$\begin{cases} 3q \leq 11 \\ p \leq 3q \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} q \leq 11/3 \\ p \leq 3q \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} q \in \{1; 2; 3\} \\ p \leq 3q \end{cases} \text{ donc}$$

$$(p; q) \in \{(1;1); (2;1); (3;1); (1;2); (2;2); (3;2)$$

$$(5;2); (6;2); (1;3); (2;3); \dots; (9;3)\} \text{ Donc :}$$

$$E_{10} = \left\{1; 2; 3; \frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{5}{2}; \frac{1}{3}; \frac{2}{3}; \frac{4}{3}; \frac{5}{3}; \frac{7}{3}; \frac{8}{3}\right\}$$

$$2) P = \{5k / k \in \mathbb{N}\}$$

**Exercice3** : Ecrire en extension les ensembles

$$\text{suyvants : } A = \left\{\cos\left(\frac{\pi}{5} + \frac{n\pi}{6}\right) : n \in \mathbb{Z}\right\}$$

$$B = \left\{\sin\left(\frac{\pi}{12} + \frac{n\pi}{6}\right) : n \in \mathbb{Z}\right\}$$

**Solution** : on sait que la fonction cos est périodique

$$\text{de période } 2\pi \text{ et } \frac{n\pi}{6} = 2\pi \Leftrightarrow n = 12$$

$$n \in \{0; 1; 2; 3; \dots; 11\}$$

$$A = \left\{\cos\left(\frac{\pi}{5} + \frac{n\pi}{6}\right) / n \in [0; 11]\right\}$$

En tenant compte des relations :

$$\cos(\pi + x) = \cos(\pi - x) = -\cos x \text{ on en deduit :}$$

$$A = \left\{\cos\left(\frac{6\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{11\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{16\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{21\pi}{30}\right)\right\}$$

$$\left\{\cos\left(\frac{26\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{31\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{36\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{41\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{46\pi}{30}\right)\right. \\ \left. ; \cos\left(\frac{51\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{56\pi}{30}\right); \cos\left(\frac{61\pi}{30}\right)\right\}$$

$$\text{De même pour sin on a : } B = \left\{\sin\left(\frac{\pi}{12} + \frac{n\pi}{6}\right) : n \in [0; 11]\right\}$$

En tenant compte des relations :

$$\sin(\pi - x) = \sin x = -\sin(\pi + x) = -\sin(-x)$$

on en deduit :

$$B = \left\{\sin\left(\frac{\pi}{12}\right); \sin\left(\frac{3\pi}{12}\right); \sin\left(\frac{5\pi}{12}\right); -\sin\left(\frac{\pi}{12}\right); -\sin\left(\frac{3\pi}{12}\right); -\sin\left(\frac{5\pi}{12}\right)\right\}$$

**Exercice4** :  $A = \{k \in \mathbb{Z} / |2k+1| \leq 3\}$  et  $B =$

$$\{-2; -1; 0; 1\}$$

Montrons que :  $A = B$

**Solution** :  $k \in A \Leftrightarrow k \in \mathbb{Z}$  et  $|2k+1| \leq 3 \Leftrightarrow$

$$k \in \mathbb{Z} \text{ et } -3 \leq 2k+1 \leq 3 \Leftrightarrow$$

$$k \in \mathbb{Z} \text{ et } -4 \leq 2k \leq 2 \Leftrightarrow$$

$$k \in \mathbb{Z} \text{ et } -2 \leq k \leq 1 \Leftrightarrow k \in \{-2; -1; 0; 1\} \Leftrightarrow k \in B$$

Donc on a :  $k \in A \Leftrightarrow k \in B$

Donc :  $A = B$

**Exercice5** : Soit  $E = \{0; 1; 2\}$  déterminer tous les

ensembles inclus dans E. Qui s'appelle l'ensemble des parties de E et se note  $\mathcal{P}(E)$ .

**Solution** :

$$\mathcal{P}(E) = \{\emptyset; \{0\}; \{1\}; \{2\}; \{0; 1\}; \{0; 2\}; \{1; 2\}; E\}$$

**Exercice6** : Ecrire en extension les ensembles suivants :

$$1) \mathcal{P}(\mathcal{P}(\emptyset)) \quad 2) \mathcal{P}(\mathcal{P}(\{a; b\}))$$

**Solution** : 1) Il est aisé de voir que  $\mathcal{P}(\emptyset) = \{\emptyset\}$

$$\text{donc : } \mathcal{P}(\mathcal{P}(\emptyset)) = \{\emptyset; \{\emptyset\}\}$$

$$2) \mathcal{P}(\mathcal{P}(\{a; b\})) :$$

$$\mathcal{P}(\{a; b\}) = \{\emptyset; \{a\}; \{b\}; \{a; b\}\} \text{ Donc :}$$

$$\mathcal{P}(\mathcal{P}(\{a; b\})) = \{\emptyset; \{\emptyset\}; \{\{a\}\}; \{\{b\}\}; \{\{a; b\}\}; \{\emptyset; \{a\}\}; \{\emptyset; \{b\}\}; \{\emptyset; \{a; b\}\}; \{\{a\}; \{b\}\};$$

$$\{\{\{a\}; \{a; b\}\}; \{\{b\}; \{a; b\}\}; \{\{a; b\}\}; \{\emptyset; \{a\}; \{b\}\}; \{\emptyset; \{a\}; \{a; b\}\}; \{\emptyset; \{b\}; \{a; b\}\}\}$$

**Exercice7** : donner Complémentaire des ensembles

suyvants :  $[a; b[$  l'ensemble  $\mathbb{Q}$

2) l'intervalle  $[a; b[$   $a < b$

**Solution** : 1) le complémentaire de  $\mathbb{Q}$  est l'ensemble des irrationnels et se note  $\mathbb{R} - \mathbb{Q}$

$$2) \overline{[a;b]} = \{x \in \mathbb{R} / x \notin [a;b]\} = \{x \in \mathbb{R} / x \geq b \vee x < a\}$$

$$\overline{[a;b]} = ]-\infty; a[ \cup [b; +\infty[$$

**Exercice8** : Soient les ensembles :

$$A = \left\{ \frac{\pi}{4} + 2 \frac{k\pi}{5} : k \in \mathbb{Z} \right\} \quad B = \left\{ \frac{\pi}{2} + 2 \frac{k\pi}{5} : k \in \mathbb{Z} \right\}$$

Monter que :  $A \cap B = \emptyset$

**Solution** : On suppose que :  $A \cap B \neq \emptyset$

Donc :  $\exists x_0 \in \mathbb{R} \quad x_0 \in A \text{ et } x_0 \in B$

$$\Leftrightarrow \exists (k_1; k_2) \in \mathbb{Z}^2 : x_0 = \frac{\pi}{2} + 2 \frac{k_1\pi}{5} \text{ et } x_0 = \frac{\pi}{4} + 2 \frac{k_2\pi}{5}$$

$$\text{Donc } \Leftrightarrow \exists (k_1; k_2) \in \mathbb{Z}^2 : \frac{\pi}{2} + 2 \frac{k_1\pi}{5} = \frac{\pi}{4} + 2 \frac{k_2\pi}{5}$$

$$\text{Donc } : \frac{2}{5}(k_1 - k_2) = -\frac{1}{4} \Leftrightarrow k_1 - k_2 = -\frac{5}{8} \text{ contradiction}$$

avec le fait que  $k_1 - k_2 \in \mathbb{Z}$  et  $-\frac{5}{8} \notin \mathbb{Z}$  Donc :  $A \cap B = \emptyset$

**Exercice9** : Soient  $A ; B ; C$  et  $D$  des parties d'un ensemble  $E$

$$\text{Monter que : } \begin{cases} (\overline{B-C}) \cup A = E \\ (\overline{C-D}) \cup A = E \end{cases} \Rightarrow (B-D) \subset A$$

**Solution** : On suppose que :

$$(\overline{B-C}) \cup A = E \text{ et } (\overline{C-D}) \cup A = E$$

Remarque que :  $A \cup B = E \Rightarrow \overline{A} \subset B$

Donc :  $B-C \subset A$  et  $C-D \subset A$  cad

$$B \cap \overline{C} \subset A \text{ et } C \cap \overline{D} \subset A$$

Montrons que :  $B-D \subset A$  cad  $B \cap \overline{D} \subset A$  ?

Soit  $x \in B \cap \overline{D}$

$$x \in B \cap \overline{D} \Leftrightarrow x \in B \text{ et } x \in \overline{D}$$

• Si  $x \in C$  alors  $x \in C \cap \overline{D}$  donc  $x \in A$  car  $C \cap \overline{D} \subset A$

• Si  $x \notin C$  alors  $x \in B \cap \overline{C}$  donc  $x \in A$  car  $B \cap \overline{C} \subset A$

Dans tous les cas :  $(B-D) \subset A$

**Exercice10** : Soient  $A ; B ; C$  des ensembles

Monter que :  $A \subset B \subset C \Leftrightarrow A \cup B = B \cap C$

**Solution** : On suppose que :  $A \subset B \subset C$

On a :  $A \subset B \subset C \Rightarrow A \subset B$  et  $B \subset C$

$$\Rightarrow A \cup B = B \text{ et } B \cap C = B \Rightarrow A \cup B = B \cap C$$

On suppose que :  $A \cup B = B \cap C$

On a :  $A \cup B = B \cap C \Rightarrow A \cup B \subset B$  et  $A \cup B \subset C$

$$\Rightarrow A \subset B \text{ et } B \subset C$$

$$\Rightarrow A \subset B \subset C$$

Donc :  $A \subset B \subset C \Leftrightarrow A \cup B = B \cap C$

**Exercice11** : Soient  $A ; B ; C$  des parties d'un ensemble  $E$

Monter que :

$$1) A = (A \cap B \cap C) \cup (A \cap \overline{B} \cap C) \cup (A \cap \overline{B} \cap \overline{C}) \cup (A \cap B \cap \overline{C})$$

$$2) (A \cup B) \cap (B \cup C) \cap (C \cup A) = (A \cap B) \cup (B \cap C) \cup (C \cap A)$$

$$3) A \cap \overline{B} = A \cap \overline{C} \Leftrightarrow A \cap B = A \cap C$$

**Solution :1)**

$$(A \cap B \cap C) \cup (A \cap B \cap \overline{C}) \cup (A \cap \overline{B} \cap \overline{C}) \cup (A \cap \overline{B} \cap C)$$

$$= [(A \cap B) \cap (C \cup \overline{C})] \cup [(A \cap \overline{B}) \cap (C \cup \overline{C})]$$

$$= [(A \cap B) \cap E] \cup [(A \cap \overline{B}) \cap E] = (A \cap B) \cup (A \cap \overline{B})$$

$$= A \cap (B \cup \overline{B}) = A \cap E = A$$

$$2) (A \cup B) \cap (B \cup C) \cap (C \cup A) = [B \cup (A \cap C)] \cap (C \cup A)$$

$$= (B \cap (C \cup A)) \cup ((A \cap C) \cap (C \cup A))$$

$$= (B \cap C) \cup (B \cap A) \cup (A \cap C)$$

3) Montrons que :

$$\begin{cases} A \cap \overline{B} = A \cap \overline{C} \Rightarrow A \cap B = A \cap C \\ A \cap B = A \cap C \Rightarrow A \cap \overline{B} = A \cap \overline{C} \end{cases}$$

$$A \cap \overline{B} = A \cap \overline{C} \Rightarrow \overline{A \cap \overline{B}} = \overline{A \cap \overline{C}} \Rightarrow \overline{A} \cup B = \overline{A} \cup C$$

$$\Rightarrow \overline{A} \cup B = \overline{A} \cup C \Rightarrow A \cap (\overline{A} \cup B) = A \cap (\overline{A} \cup C)$$

$$\Rightarrow (A \cap \overline{A}) \cup (A \cap B) = (A \cap \overline{A}) \cup (A \cap C)$$

$$\Rightarrow A \cap B = A \cap C$$

Inversement :

$$A \cap B = A \cap C \Rightarrow A \cap \overline{B} = A \cap \overline{C} \Rightarrow A \cap \overline{B} = A \cap \overline{C}$$

D'après l'implication directe

$$\text{Donc : } A \cap \overline{B} = A \cap \overline{C} \Leftrightarrow A \cap B = A \cap C$$

**Exercice12** : Soient  $A ; B ; C$  des parties d'un ensemble  $E$

$$\text{Monter que : } \begin{cases} A \cup B \subset A \cup C \\ A \cap B \subset A \cap C \end{cases} \Rightarrow B \subset C$$

**Solution** : On suppose que :

$$\begin{cases} A \cup B \subset A \cup C \\ A \cap B \subset A \cap C \end{cases} \text{ Montrons que :}$$

$$(\forall x \in E)(x \in B \Rightarrow x \in C) ?$$

$$x \in B \Rightarrow x \in A \cup B \Rightarrow x \in A \cup C \Rightarrow x \in A \text{ ou } x \in C$$

• Si  $x \in A$  alors  $x \in A \cap B$  donc  $x \in A \cap C$  car

$$A \cap B \subset A \cap C \text{ donc } B \subset C$$

• Si  $x \notin A$  et puisque  $x \in C$  ou  $x \in A$  est vraie alors

$$B \subset C$$

Conclusion :  $(\forall x \in E)(x \in B \Rightarrow x \in C)$

Donc  $B \subset C$



**Exercice13** : Soient  $A ; B ; C$  des parties d'un ensemble  $E$

La différence symétrique de  $A$  et  $B$  c'est l'ensemble Qu'on note :  $A\Delta B$  tel que :  $A\Delta B = (A-B) \cup (B-A)$

1) Montrer que :  $A\Delta B = (A \cup B) - (A \cap B)$

2) Montrer que :  $\overline{A\Delta B} = A\Delta B$

3) Montrer que :  $\forall C \in P(E) : A\Delta B = A\Delta C \Leftrightarrow B = C$

**Solution : 1)**

$$A\Delta B = (A-B) \cup (B-A) = (A \cap \overline{B}) \cup (B \cap \overline{A})$$

$$= [(A \cap \overline{B}) \cup B] \cap [(A \cap \overline{B}) \cup \overline{A}]$$

$$= (A \cup B) \cap (B \cup \overline{B}) \cap (A \cup \overline{A}) \cap (\overline{B} \cup \overline{A})$$

$$= (A \cup B) \cap E \cap E \cap (\overline{A \cap B})$$

$$= (A \cup B) \cap (\overline{A \cap B}) = (A \cup B) - (A \cap B)$$

2) Montrer que :

$$\overline{A\Delta B} = (\overline{A-B}) \cup (\overline{B-A}) = (\overline{A \cap B}) \cup (\overline{B \cap A})$$

$$= (A-B) \cup (B-A) = A\Delta B$$

3) soit  $C \in P(E)$

• Si on a :  $B = C$  alors  $A\Delta B = A\Delta C$

• Supposons que :  $A\Delta B = A\Delta C$  et montrons que  $B = C$  ?

✓ Soit  $x \in B$  montrons que  $x \in C$  ?

Si  $x \in A$  :

$(x \in A \text{ et } x \in B) \Rightarrow x \in A \cap B \Rightarrow x \notin A\Delta B \Rightarrow x \notin A\Delta C$   
(Car  $A\Delta B = A\Delta C$ )

$$\Rightarrow x \in A \cap C \Rightarrow x \in C$$

Donc  $A \cap B \subset C$  (1)

Si  $x \notin A$  :

$(x \notin A \text{ et } x \in B) \Rightarrow x \in B - A \Rightarrow x \in A\Delta B \Rightarrow x \in A\Delta C$   
(Car  $A\Delta B = A\Delta C$ )

$$\Rightarrow x \in C - A \Rightarrow x \in C$$

Donc  $\overline{A} \cap B \subset C$  (2)

De (1) et (2) on déduit que :  $(A \cap B) \cup (\overline{A} \cap B) \subset C$

Et puisque :  $(A \cap B) \cup (\overline{A} \cap B) = (A \cup \overline{A}) \cap B = E \cap B = B$

Alors  $B \subset C$

De même on montre que :  $C \subset B$

Donc :  $A\Delta B = A\Delta C \Rightarrow B = C$

Finalement :  $A\Delta B = A\Delta C \Leftrightarrow B = C$

**Exercice14** : Soit l'ensemble :

$$E = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x^2 + xy - 2y^2 + 5 = 0\}$$

1) a) vérifier que :

$$\forall (x; y) \in \mathbb{R}^2 : x^2 + xy - 2y^2 = (x-y)(x+2y)$$

b) Ecrire en extension l'ensemble  $E \cap \mathbb{Z}^2$

$$c) \text{ montrer que : } E = \left\{ \left( \frac{2t^2-5}{3t}; \frac{-t^2-5}{3t} \right) / t \in \mathbb{R}^* \right\}$$

4) Ecrire en compréhension les ensembles suivants :

$$A = \{0; 1; 4; 9; 16; \dots\} \text{ et } B = \left\{ -1; \frac{1}{2}; -\frac{1}{3}; \frac{1}{4}; \dots \right\}$$

$$C = \{\dots; -5; -2; 1; 4; 7; \dots\}$$

**Solution : 1) a)**

$$\forall (x; y) \in \mathbb{R}^2 : (x-y)(x+2y) = x^2 + 2xy - xy - 2y^2$$

$$= x^2 + xy - 2y^2$$

b)  $(x; y) \in E \cap \mathbb{Z}^2 \Leftrightarrow (x; y) \in E \text{ et } (x; y) \in \mathbb{Z}^2$

$$\Leftrightarrow (x-y)(x+2y) = -5 \text{ et } (x; y) \in \mathbb{Z}^2$$

$$\Leftrightarrow (x; y) \in \mathbb{Z}^2 \begin{cases} x-y=-5 \\ x+2y=1 \end{cases} \text{ ou } \begin{cases} x-y=5 \\ x+2y=-1 \end{cases} \text{ ou } \begin{cases} x-y=-1 \\ x+2y=5 \end{cases} \text{ ou } \begin{cases} x-y=1 \\ x+2y=-5 \end{cases}$$

$$\text{Donc : } E \cap \mathbb{Z}^2 = \{(-3; 2); (3; -2); (1; 2); (-1; -2)\}$$

$$c) (x; y) \in E \Leftrightarrow (x-y)(x+2y) = -5 \Leftrightarrow \begin{cases} x-y=t \\ x+2y = \frac{-5}{t} : t \in \mathbb{R}^* \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \left( x = \frac{2t^2-5}{3t} \text{ et } y = \frac{-t^2-5}{3t} \right) : t \in \mathbb{R}^*$$

$$\Leftrightarrow (x; y) \in \left\{ \left( \frac{2t^2-5}{3t}; \frac{-t^2-5}{3t} \right) / t \in \mathbb{R}^* \right\}$$

$$\text{Donc : } E = \left\{ \left( \frac{2t^2-5}{3t}; \frac{-t^2-5}{3t} \right) / t \in \mathbb{R}^* \right\}$$

$$4) A = \{k^2; k \in \mathbb{N}\} \text{ et } B = \left\{ \frac{(-1)^k}{k}; k \in \mathbb{N}^* \right\}$$

$$C = \{1+3n; n \in \mathbb{Z}\}$$

**Exercice15** : soient  $E$  et  $F$  deux ensembles et  $A$  et  $B$  deux parties respectives de  $E$  et  $F$

1) déterminer le complémentaire de  $A \times F$  dans  $E \times F$

2) déterminer le complémentaire de  $E \times F$  dans  $E \times F$

3) déterminer le complémentaire de  $A \times B$  dans  $E \times F$

**Solution : 1)** le complémentaire de  $A \times B$  dans

$E \times F$  se note :  $C_{E \times F}^{A \times B}$  ou  $\overline{A \times B}$

$$(x; y) \in \overline{A \times B} \Leftrightarrow (x; y) \notin A \times B \Leftrightarrow x \notin A \text{ ou } y \notin F$$

$$\Leftrightarrow x \in \overline{A} \text{ ou } y \in \overline{F} \Leftrightarrow (x; y) \in \overline{A} \times F \text{ ou } y \notin F$$

$\Leftrightarrow (x; y) \in \overline{A \times F}$  Car :  $y \notin F$  donne l'ensemble vide

Donc :  $\overline{A \times F} = \overline{A} \times \overline{F}$

$(x; y) \in \overline{E \times B} \Leftrightarrow (x; y) \notin E \times B \Leftrightarrow x \notin E \text{ ou } y \notin B$

$\Leftrightarrow x \in \overline{E} \text{ ou } y \in \overline{B} \Leftrightarrow (x; y) \in E \times \overline{B} \text{ ou } x \notin E$

$\Leftrightarrow (x; y) \in E \times \overline{B}$  Car :  $x \notin E$  donne l'ensemble vide

Donc :  $\overline{E \times B} = E \times \overline{B}$

3)  $(x; y) \in \overline{A \times B} \Leftrightarrow (x; y) \notin A \times B \Leftrightarrow x \notin A \text{ ou } y \notin B$

$\Leftrightarrow x \in \overline{A} \text{ ou } y \in \overline{B} \Leftrightarrow (x; y) \in \overline{A} \times F \text{ ou } (x; y) \in E \times \overline{B}$

$\Leftrightarrow (x; y) \in (\overline{A} \times F) \cup (E \times \overline{B})$

Donc :  $\overline{A \times B} = (\overline{A} \times F) \cup (E \times \overline{B})$

**Exercice 17** : soient l'ensemble :

$$L = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x^2 + y^2 \leq 1\}$$

Montrer qu'il n'existe pas deux parties  $A$  et  $B$  de  $\mathbb{R}$

tels que :  $L = A \times B$

**Solution** : On suppose: qu'il existe deux parties  $A$  et

$B$  de  $\mathbb{R}$  tels que :  $L = A \times B$

On a :  $(1; 0) \in L$  et  $(0; 1) \in L$

Donc :  $1 \in A$  et  $1 \in B$  car  $L = A \times B$

Donc :  $(1; 1) \in A \times B$  cad  $(1; 1) \in L$

Donc contradiction car :  $1^2 + 1^2 > 1$

Conclusion il n'existe pas deux parties  $A$  et  $B$  de  $\mathbb{R}$

tels que :  $L = A \times B$

**Exercice 18** : Soient les ensembles :

$$H = \left\{ y \in \mathbb{R} / y = \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} : x \in \mathbb{R} \right\}$$

$$G = \left\{ y \in \mathbb{R} / y = \frac{1}{1 + \sqrt{x^2 + 1}} : x \in \mathbb{R} \right\}$$

1- montrer que :  $H = ]0, 1]$ .

a- Considérer un élément  $y_0 \in H$

et montrer que  $y_0 \in ]0, 1]$

b- Considérer un élément  $y_0 \in ]0, 1]$

et montrer que  $y_0 \in H$

2- Montrer que  $G \subset H$

3- Est-ce que  $G = H$  ?

**Solution** :

1- a- soit un élément  $y_0 \in H$  montrons que  $y_0 \in ]0, 1]$  ?

$$y_0 \in H \Rightarrow \exists x_0 \in \mathbb{R} / y_0 = \frac{1}{\sqrt{x_0^2 + 1}}$$

On a  $x_0^2 \geq 0 \Rightarrow x_0^2 + 1 \geq 1$

$\Rightarrow \sqrt{x_0^2 + 1} \geq 1 \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{x_0^2 + 1}} \leq 1 \Rightarrow y_0 \in ]0, 1]$  Donc :

$H \subset ]0, 1]$  (1)

b- Considérer un élément  $y_0 \in ]0, 1]$

et montrons que  $y_0 \in H$  ?

$$y_0 \in ]0, 1] \quad \exists ? x_0 \in \mathbb{R} / y_0 = \frac{1}{\sqrt{x_0^2 + 1}}$$

$$y_0 = \frac{1}{\sqrt{x_0^2 + 1}} \Leftrightarrow y_0^2 = \frac{1}{x_0^2 + 1} \Leftrightarrow x_0^2 = \frac{1}{y_0^2} - 1$$

Or :  $y_0 \in ]0, 1]$  donc  $0 < y_0 \leq 1$  donc  $\frac{1}{y_0^2} - 1 \geq 0$

Donc : il suffit de prendre :  $x_0 = \sqrt{\frac{1}{y_0^2} - 1}$  Donc :  $y_0 \in H$

Donc :  $]0, 1] \subset H$  (2)

De : (1) et (2) en déduit que :  $H = ]0, 1]$

2- montrons que  $G \subset H$  ??

Montrons que :  $G \subset ]0, 1]$  ?

soit un élément  $y_0 \in G$  montrons que  $y_0 \in ]0, 1]$  ?

$$y_0 \in G \Rightarrow \exists x_0 \in \mathbb{R} / y_0 = \frac{1}{1 + \sqrt{x_0^2 + 1}}$$

On a  $x_0^2 \geq 0 \Rightarrow x_0^2 + 1 \geq 1$

$\Rightarrow \sqrt{x_0^2 + 1} \geq 1 \Rightarrow \sqrt{x_0^2 + 1} + 1 \geq 2 \Rightarrow 0 < \frac{1}{1 + \sqrt{x_0^2 + 1}} \leq \frac{1}{2} \leq 1$

Donc :  $y_0 \in ]0, 1]$  Donc :  $G \subset H$

3) supposons :  $G = H$

On a  $1 \in H \Rightarrow 1 \in G$

$$\Rightarrow \exists x_0 \in \mathbb{R} / 1 = \frac{1}{1 + \sqrt{x_0^2 + 1}}$$

$$\Rightarrow \exists x_0 \in \mathbb{R} / 1 + \sqrt{x_0^2 + 1} = 1 \Rightarrow \exists x_0 \in \mathbb{R} / \sqrt{x_0^2 + 1} = 0$$

$\Rightarrow \exists x_0 \in \mathbb{R} / x_0^2 = -1$  absurde donc :  $H \neq G$

**Exercice 19** : soit  $a$  un nombre réel on considère les deux ensembles suivants :

$$E = \{x \in \mathbb{Z} / |x+1| \leq 3\} \text{ et } F = \{x \in \mathbb{Z} / |2x-a| \leq 4\}$$

1) Ecrire  $E$  en extension

2) déterminer les valeurs possibles de  $a$  pour lesquelles  $E \cap F = \emptyset$

3) déterminer les valeurs possibles de  $a$  pour lesquelles  $E \cap F \neq \emptyset$

4) déterminer les valeurs possibles de  $a$  pour lesquelles  $F \subset \mathbb{N}$

**Solution : 1)** il est aisé de voir que :

$$E = \{-4; -3; -2; -1; 0; 1; 2\}$$

2)

$$F = \{x \in \mathbb{Z} / -4 \leq 2x - a \leq 4\} = \{x \in \mathbb{Z} / 2x - 4 \leq a \leq 2x + 4\}$$

$$\text{Donc : } C_{\mathbb{Z}}^F = \{x \in \mathbb{Z} / 2x - 4 > a \text{ ou } a > 2x + 4\}$$

$$E \cap F = \emptyset \Leftrightarrow E \subset C_{\mathbb{Z}}^F \Leftrightarrow \forall x \in E; x \in C_{\mathbb{Z}}^F$$

$$\Leftrightarrow \forall x \in E; 2x - 4 > a \text{ ou } a > 2x + 4$$

$$\Leftrightarrow \forall x \in E; a \in ]-\infty; 2x - 4[ \cup ]2x + 4; +\infty[$$

$$\Leftrightarrow a \in \bigcap_{x \in E} (]-\infty; 2x - 4[ \cup ]2x + 4; +\infty[)$$

Puisque :  $E = \{-4; -3; -2; -1; 0; 1; 2\}$  on obtient :

$$E \cap F = \emptyset \Leftrightarrow a \in (]-\infty; 2(-4) - 4[ \cup ]2 \times 2 + 4; +\infty[)$$

$$\Leftrightarrow a \in (]-\infty; -12[ \cup ]8; +\infty[)$$

3) on a :  $\bar{F} = \{x \in \mathbb{Z} / 2x - 4 > a \text{ ou } a > 2x + 4\}$  donc

Nous pouvons écrire :

$$\mathbb{N} \cap F = \emptyset \Leftrightarrow \mathbb{N} \subset \bar{F} \Leftrightarrow \forall x \in \mathbb{N}; x \in \bar{F}$$

$$\Leftrightarrow \forall x \in \mathbb{N}; a \in ]-\infty; 2x - 4[ \cup ]2x + 4; +\infty[$$

$$\Leftrightarrow a \in \bigcap_{x \in \mathbb{N}} (]-\infty; 2x - 4[ \cup ]2x + 4; +\infty[) \Leftrightarrow a \in ]-\infty; -4[$$

3) on a :  $F = \left\{x \in \mathbb{Z} / -2 + \frac{a}{2} \leq x \leq 2 + \frac{a}{2}\right\}$  donc

$$F \subset \mathbb{N} \Leftrightarrow F = \left(\forall x \in \left\{x \in \mathbb{Z} / -2 + \frac{a}{2} \leq x \leq 2 + \frac{a}{2}\right\}\right); x \in \mathbb{N}$$

$$\Leftrightarrow -1 < -2 + \frac{a}{2} \Leftrightarrow -2 < -4 + a \Leftrightarrow 2 < a$$

**Exercice 20** : on considère dans  $\mathbb{Z}$  les deux parties suivantes :

$$A = \left\{x \in \mathbb{Z} / \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1} \in \mathbb{Z}\right\} \text{ et } B = \left\{x \in \mathbb{Z} / \frac{x + 10}{x - 5} \in \mathbb{Z}\right\}$$

1) a) montrer que  $(\forall x \in \mathbb{Z} - \{5\}) \frac{x + 10}{x - 5} = 1 + \frac{15}{x - 5}$

1) b) montrer que  $(\forall x \in \mathbb{Z}) \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1} = 2x - 1 + \frac{9}{2x - 1}$

2) déterminer :  $A$  ;  $B$  ;  $A - B$  ;  $B - A$  et  $A \Delta B$  en extension

3) on admet que l'opération est associative dans l'ensembles des parties de  $\mathbb{Z}$  :  $P(\mathbb{Z})$

Résoudre dans  $P(\mathbb{Z})$  l'équation :  $A \Delta X = B$

**Solution : 1)** a) il est aisé de voir que :

$$(\forall x \in \mathbb{Z} - \{5\}) \frac{x + 10}{x - 5} = 1 + \frac{15}{x - 5}$$

1) b) il est aisé aussi de voir que

$$(\forall x \in \mathbb{Z}) 2x - 1 + \frac{9}{2x - 1} = \frac{(2x - 1)^2 + 9}{2x - 1} = \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1}$$

2) détermination de :  $A$  ?

$$\text{On a : } A = \left\{x \in \mathbb{Z} / \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1} \in \mathbb{Z}\right\} \text{ et}$$

$$(\forall x \in \mathbb{Z}) 2x - 1 \in \mathbb{Z} \text{ et } \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1} = 2x - 1 + \frac{9}{2x - 1}$$

$$\text{En déduit que : } (\forall x \in \mathbb{Z}) ; x \in A \Leftrightarrow \frac{4x^2 - 4x + 10}{2x - 1} \in \mathbb{Z}$$

$$\Leftrightarrow 2x - 1 + \frac{9}{2x - 1} \in \mathbb{Z} \Leftrightarrow \frac{9}{2x - 1} \in \mathbb{Z} \Leftrightarrow 2x - 1 \text{ divise } 9$$

$$\Leftrightarrow 2x - 1 \in \{-9; -3; -1; 1; 3; 9\} \Leftrightarrow 2x \in \{-8; -2; 0; 2; 4; 10\}$$

$$\Leftrightarrow x \in \{-4; -1; 0; 1; 2; 5\} \text{ donc : } A = \{-4; -1; 0; 1; 2; 5\}$$

détermination de :  $B$  ?

soit  $x \in \mathbb{Z}$  de façon analogue nous pouvons écrire :

$$x \in B \Leftrightarrow x \neq 5 \text{ et } x - 5 \text{ divise } 15$$

$$\Leftrightarrow x - 5 \in \{-15; -5; -3; -1; 1; 3; 5; 15\}$$

$$\Leftrightarrow x \in \{-10; 0; 2; 4; 6; 8; 10; 20\} \text{ donc :}$$

$$B = \{-10; 0; 2; 4; 6; 8; 10; 20\}$$

détermination de :  $A - B$  ;  $B - A$  et  $A \Delta B$  ?

$$A - B = \{-4; -1; 0; 1; 2; 5\} - \{-10; 0; 2; 4; 6; 8; 10; 20\} = \{-4; -1; 1; 5\}$$

$$A - B = \{-10; 0; 2; 4; 6; 8; 10; 20\} - \{-4; -1; 0; 1; 2; 5\} = \{-10; 4; 6; 8; 10; 20\}$$

$$A \Delta B = (A - B) \cup (A - B) = \{-10; 4; 6; 8; 10; 20; -4; -1; 1; 5\}$$

3) Résolution dans  $P(\mathbb{Z})$  de l'équation :  $A \Delta X = B$

$$\text{On trouve : } X = \{-10; 4; 6; 8; 10; 20; -4; -1; 1; 5\}$$

**Exercice 21** : Soient les ensembles :

$$E = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x^2 - xy - 2y^2 = 0\}$$

$$F = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x + y = 0\}$$

1) montrer que :  $F \subset E$

2) déterminer  $y$  de  $\mathbb{R}$  tel que :  $(1; y) \in E$  ; est ce que on a  $E \subset F$  ?

3) montrer que :  $E = F \cup G$  ou  $G$  est un ensemble à déterminer

4) Soient les ensembles :

$$A = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / y = x + 1 + \sqrt{x^2 + 1} = 0\}$$

$$B = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / y = x + 1 - \sqrt{x^2 + 1} = 0\}$$

a) montrer que :  $H = A \cup B$

b) déterminer :  $H \cap F$

**Solution :** 1) montrons que :  $F \subset E$  ?

$$\text{On a : } (x; y) \in F \Leftrightarrow x + y = 0 \Leftrightarrow y = -x$$

$$\Rightarrow x^2 - xy - 2y^2 = y^2 + y^2 - 2y^2 = 0 \Rightarrow (x; y) \in E$$

Donc :  $F \subset E$

$$2) (1; y) \in E \Leftrightarrow 1 - y - 2y^2 = 0 \Leftrightarrow (1 + y)(1 - 2y) = 0$$

$$\Leftrightarrow y = 1 \text{ ou } y = \frac{1}{2}$$

$$\text{Donc : } \left(1; \frac{1}{2}\right) \in E \text{ ou } \left(1; \frac{1}{2}\right) \notin F$$

Donc :  $\exists (x; y) \in \mathbb{R}^2 / (x; y) \notin F$  et  $(x; y) \in E$

Donc :  $E \not\subset F$

$$3) (x; y) \in E \Leftrightarrow x^2 - xy - 2y^2 = 0 \Leftrightarrow x^2 - 2xy + xy - 2y^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow x^2 + xy - 2xy - 2y^2 = 0 \Leftrightarrow x(x + y) - 2y(x + y) = 0$$

$$\Leftrightarrow (x + y)(x - 2y) = 0 \Leftrightarrow x + y = 0 \text{ ou } x - 2y = 0$$

$$\Leftrightarrow (x; y) \in F \text{ ou } (x; y) \in G$$

$$\text{Avec : } G = \{(x; y) \in \mathbb{R}^2 / x - 2y = 0\}$$

Donc :  $\forall (x; y) \in \mathbb{R}^2 (x; y) \in E \Leftrightarrow (x; y) \in F \text{ ou } (x; y) \in G$

Donc :  $E = F \cup G$

$$4) a) (x; y) \in H \Leftrightarrow y^2 - 2y(x + 1) + 2x = 0$$

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

$$\Leftrightarrow [y - (x + 1)]^2 = (x + 1)^2 - 2x \Leftrightarrow [y - (x + 1)]^2 = x^2 + 1$$

$$\Leftrightarrow y = x + 1 + \sqrt{x^2 + 1} \text{ ou } \Leftrightarrow y = x + 1 - \sqrt{x^2 + 1}$$

$$\Leftrightarrow (x; y) \in A \text{ ou } (x; y) \in B \text{ Donc : } H = A \cup B$$

$$4) b) (x; y) \in H \cap F \Leftrightarrow (x; y) \in H \text{ ou } (x; y) \in F$$

$$\Leftrightarrow x^2 - 2xy + 2x - 2y = 0 \text{ et } x = -y$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} x^2 + 2x^2 + 2x + 2x = 0 \\ x = -y \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 3x^2 + 4x = 0 \\ x = -y \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x(3x + 4) = 0 \\ x = -y \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} x = 0 \text{ ou } x = -\frac{4}{3} \\ x = -y \end{cases} \Leftrightarrow x = 0 \text{ et } y = 0 \text{ ou } x = -\frac{4}{3} \text{ et } y = \frac{4}{3}$$

$$\text{Donc : } (x; y) \in H \cap F \Leftrightarrow (x; y) \in \left\{ (0; 0); \left(-\frac{4}{3}; \frac{4}{3}\right) \right\}$$

$$H \cap F = \left\{ (0; 0); \left(-\frac{4}{3}; \frac{4}{3}\right) \right\}$$

**Exercice22 :** Soient  $A$  ;  $B$  ;  $C$  des parties d'un ensemble  $E$

1) a) déterminer une condition suffisante de l'existence de  $X$  dans  $P(E)$  tel que :  $A \cup X = B$

b) résoudre dans  $P(E)$  l'équation :  $A \cup X = B$

2) on suppose que  $C \subset A \subset B$

$$\text{résoudre dans } P(E) \text{ le système : } \begin{cases} A \cup X = B \\ A \cap X = C \end{cases}$$

**Solution :** 1) si on a :  $A \cup X = B$  alors :  $X \subset B$  et  $A \subset B$

Donc une condition suffisante de l'existence de  $X$  dans  $P(E)$  tel que :  $A \cup X = B$  est  $A \subset B$

b) résolution dans  $P(E)$  l'équation :  $A \cup X = B$

$$A \cup X = B \Rightarrow (A - B) \cap (A \cup X) = (B - A) \cap B$$

$$\Leftrightarrow [(B - A) \cap A] \cup [(B - A) \cap X] = B - A$$

$$\Leftrightarrow \emptyset \cup [(B - A) \cap X] = B - A$$

$$\Leftrightarrow (B - A) \cap X = B - A \Leftrightarrow B - A \subset X \Rightarrow B - A \subset X \subset B$$

Inversement :

$\forall X \in P(E)$  tel que :  $B - C \subset X \subset B$  est solution de

l'équation :  $A \cup X = B$

$$\text{Et on a : } (B - A) \cup A = B \quad (B - A) \cap A = \emptyset$$

$$\text{Donc : } A \cup X = B \Leftrightarrow X = (B - A) \cup Y \quad Y \in P(E)$$

L'ensemble des solutions de l'équation est :

$$S = \{(B - A) \cup Y; Y \in P(E)\}$$

2)  $C \subset A \subset B$

$$\begin{cases} A \cup X = B \\ A \cap X = C \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X = (B - A) \cup Y / Y \in P(E) \\ A \cap [(B - A) \cup Y] = C \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} X = (B - A) \cup Y / Y \in P(E) \\ [[A \cap (B - A)] \cup [A \cap Y]] = C \end{cases}$$

et puisque  $A \cap (B - A) = \emptyset$  et  $A \cap Y = Y$  car  $Y \subset A$

$$\text{alors : } X = (B - A) \cup C$$

L'ensemble des solutions de l'équation est :

$$S = \{(B - A) \cup C\}$$

**Exercice23 :** soit les 2 applications :

$$f: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R} \quad g: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R} \\ n \mapsto (-1)^n \quad \text{et} \quad n \mapsto \sin\left(\frac{\pi}{2} + n\pi\right)$$

Est-ce que  $f = g$  ?

**Solution :** que deux applications  $f$  et  $g$  ont le même ensemble de départ  $\mathbb{Z}$  et le même ensemble d'arrivée  $\mathbb{R}$  et on a :

$$g(n) = \sin\left(\frac{\pi}{2} + n\pi\right) = \cos(n\pi) = (-1)^n = f(n)$$

Donc :  $f = g$

**Exercice24 :** soit l'application :  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$   
 $x \mapsto x + \sqrt{x}$

$f$  est-elle injective ?

**Solution** : soient  $x_1 \in \mathbb{R}^+$  et  $x_2 \in \mathbb{R}^+$

$$f(x_1) = f(x_2) \Rightarrow x_1 + \sqrt{x_1} = x_2 + \sqrt{x_2}$$

$$\Rightarrow (\sqrt{x_1} - \sqrt{x_2})(\sqrt{x_1} + \sqrt{x_2} + 1) = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{x_1} - \sqrt{x_2} = 0 \text{ ou } \sqrt{x_1} + \sqrt{x_2} + 1 = 0$$

**Or**  $\sqrt{x_1} + \sqrt{x_2} + 1 \neq 0 \Rightarrow \sqrt{x_1} - \sqrt{x_2} = 0$

$$\Rightarrow \sqrt{x_1} = \sqrt{x_2} \Rightarrow x_1 = x_2 \text{ donc } f \text{ est injective}$$

**Exercice25**: soit l'application :  $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto x^2 - 1$

$g$  est-elle injective ?

**Solution** : on a :  $g(1) = g(-1) = 0$  mais  $1 \neq -1$

Donc  $g$  n'est pas injective

$$f : \mathbb{R} - \{2\} \rightarrow \mathbb{R}$$

**Exercice26** :1)  $x \mapsto \frac{3x+1}{x-2}$

Montrer que  $f$  est injective

2)  $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto x^2 + 4$   $g$  est-elle injective ?

$$h : \mathbb{N}^* \rightarrow \mathbb{Q}$$

2)  $n \mapsto 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}$

1- déterminer les images des entiers 1, 2, 3

2- Montrer que  $n > m \Rightarrow h(n) > h(m)$

3- En déduire que  $h$  est injective.

**Exercice27** : soit l'application :  $f : \mathbb{R}^+ \rightarrow ]-\infty; 3]$   
 $x \mapsto 3 - x^2$

$f$  est-elle surjective de  $\mathbb{R}^+$  vers  $]-\infty; 3]$ .

**Solution** : soient  $y \in ]-\infty; 3]$

Resolvons l'équation:  $f(x) = y$

$$f(x) = y \Leftrightarrow 3 - x^2 = y \Leftrightarrow x^2 = 3 - y$$

**Or**  $y \in ]-\infty; 3]$  donc  $y \leq 3$  donc  $0 \leq 3 - y$

$$\Leftrightarrow x = \sqrt{3 - y} \text{ car } x \in \mathbb{R}^+$$

Donc :  $(\forall y \in ]-\infty; 3]) (\exists x \in \mathbb{R}^+) (f(x) = y)$

Donc :  $f$  est surjective

**Exercice28** : soit l'application :  $f : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 3 - x^2$

$f$  est-elle surjective de  $\mathbb{R}^+$  vers  $\mathbb{R}$  ?

**Solution** : on remarque que :

$$\forall x \in \mathbb{R}^+ \text{ on a : } f(x) \leq 3$$

Donc par exemple l'équation:  $f(x) = 4$  n'admet pas

de solution dans  $\mathbb{R}^+$  donc :  $f$  est non surjective

$$f : \mathbb{R} - \{2\} \rightarrow \mathbb{R}$$

**Exercice29** :1)  $x \mapsto \frac{3x+1}{x-2}$

a-  $f$  est-elle surjective de  $\mathbb{R}/\{2\}$  vers  $\mathbb{R}$ .

b- Modifier l'ensemble d'arrivé pour définir une application surjective.

2)  $f : \mathbb{R} \rightarrow [2; +\infty[$

$$x \mapsto x^2 - 2x + 3$$

a- Montrer que la fonction  $g$  est surjective.

b-  $g$  est-elle injective ?

$$h : \mathbb{N}^* \rightarrow \mathbb{Q} \cap [1; +\infty[$$

3)  $n \mapsto 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}$

$h$  est-elle surjective ?

**Exercice30** : soit l'application :  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 2 - 5x$

$f$  est-elle une bijection de  $\mathbb{R}$  vers  $\mathbb{R}$  ?

**Solution** : soient  $y \in \mathbb{R}$

Resolvons l'équation :  $f(x) = y$

$$f(x) = y \Leftrightarrow 2 - 5x = y \Leftrightarrow x = \frac{2 - y}{5}$$

Puisque l'équation  $f(x) = y$  admet une unique solution dans  $\mathbb{R}$  ( $\forall y \in \mathbb{R}$ )

Donc :  $f$  est une bijection de  $\mathbb{R}$  vers  $\mathbb{R}$ .

**Exercice31** :  $f : [1; +\infty[ \rightarrow [2; +\infty[$   
 $x \mapsto x^2 - 2x + 3$

1- Montrer que  $f$  est une bijection de  $[1; +\infty[$  vers  $[2; +\infty[$ .

2- Soit  $y$  un élément de  $[2; +\infty[$ , déterminer (en fonction de  $y$ ) l'élément  $x$  dans  $[1; +\infty[$  tel que  $f(x) = y$   
L'application qui lie l'élément  $y$  de  $[2; +\infty[$ , à l'élément unique  $x$  de  $[1; +\infty[$  et solution de l'équation  $f(x) = y$  s'appelle : la bijection réciproque de la bijection  $f$  et se note :  $f^{-1}$

$$f : ]1; +\infty[ \rightarrow ]0; +\infty[$$

**Exercice32** : soit l'application :  $x \mapsto \frac{2}{x-1}$

Montrer que  $f$  est une bijection et déterminer sa bijection réciproque.

**Solution** soient  $y \in ]0; +\infty[$

Resolvons l'équation :  $f(x) = y$

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x) = y \\ x \in ]1; +\infty[ \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{x-1} = y \\ x \in ]1; +\infty[ \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} x-1 = \frac{2}{y} \\ x \in ]1; +\infty[ \end{array} \right\} \Leftrightarrow x = \frac{2}{y} + 1$$

$(\forall y \in ]0; +\infty[) (\exists ! x \in ]1; +\infty[) (f(x) = y)$

Donc :  $f$  est une bijection de  $]1; +\infty[$  vers  $]0; +\infty[$

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x) = y \\ x \in ]1; +\infty[ \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} f^{-1}(y) = x \\ y \in ]0; +\infty[ \end{array} \right\}$$

$$\forall y \in ]0; +\infty[ \quad f^{-1}(y) = \frac{2}{y} + 1 \quad \text{Donc : } \begin{array}{l} f^{-1} : ]0; +\infty[ \rightarrow ]1; +\infty[ \\ x \mapsto \frac{2}{x} + 1 \end{array}$$

**Exercice33** : Déterminer la fonction réciproque de la fonction  $f : ]1; +\infty[ \rightarrow ]2; +\infty[$   
 $x \mapsto x^2 - 2x + 3$

**Exercice34** : Soit la fonction  $g$  définie par :  
 $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

$$x \mapsto \frac{x}{1+x^2}$$

Montrer que  $g$  est une bijection et déterminer sa bijection réciproque.

**Exercice35** : Soit  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 2x^2 - x$

1- Montrer que  $\forall x \in [-1; 1] \quad f(x) \in \left[ \frac{-3}{16}; 3 \right]$

2- Montrer que :  $\forall y \in \left[ \frac{-3}{16}; 3 \right] \exists x \in [-1; 1] / (f(x) = y)$

on dit que l'image de l'intervalle  $[-1; 1]$  par

l'application  $f$  est l'intervalle  $\left[ \frac{-3}{16}; 3 \right]$  et on écrit :

$$f([-1; 1]) = \left[ \frac{-3}{16}; 3 \right] \\ h : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$$

**Exercice36** : Soit  $(x; y) \mapsto \frac{1}{x^2 + y^2}$

1- Déterminer les couples  $(x, y)$  qui vérifient

$$h((x, y)) = 1$$

2- Représenter dans le plan muni d'un repère orthonormé les points  $M(x, y)$  qui vérifient

$$h((x, y)) = 1.$$

**Exercice37** : soit l'application :  $f : \mathbb{R} - \{-1\} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto \frac{3x-1}{x+1}$

1) Montrer que :  $\forall x \in \mathbb{R} - \{-1\} \quad f(x) = 3 - \frac{4}{x+1}$

2) Déterminer :  $f(K)$  avec  $K = ]-\infty; -1[$

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

$$3 - \frac{4}{x+1} = \frac{3x+3-4}{x+1} = \frac{3x-1}{x+1} = f(x)$$

$$2) x \in K \Leftrightarrow x < -1 \Leftrightarrow x+1 < 0 \Leftrightarrow -\frac{4}{x+1} > 0$$

$$\Leftrightarrow 3 - \frac{4}{x+1} > 3 \Leftrightarrow g(x) \in ]3; +\infty[ \quad \text{donc } f(K) = ]3; +\infty[$$

**Exercice38** : soit l'application :  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto x^2$

Déterminer :  $f^{-1}(B)$  avec  $B = [-1; 4]$

**Solution** :

$$f^{-1}(B) = \{x \in \mathbb{R} / f(x) \in B\} = \{x \in \mathbb{R} / -1 \leq f(x) \leq 4\}$$

$$= \{x \in \mathbb{R} / -1 \leq x^2 \leq 4\} = \{x \in \mathbb{R} / 0 \leq x^2 \leq 4\}$$

$$= \{x \in \mathbb{R} / -2 \leq x \leq 2\} = [-2; 2] \quad \text{donc } f^{-1}(B) = [-2; 2]$$

**Exercice39** : soit l'application :  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto \cos x$

Déterminer :  $f^{-1}(D)$  avec  $D = ]1; 2]$

**Solution** :

$$f^{-1}(D) = \{x \in \mathbb{R} / f(x) \in D\} = \{x \in \mathbb{R} / 1 < f(x) \leq 2\}$$

$$= \{x \in \mathbb{R} / 1 < \cos x \leq 2\} = \emptyset \quad \text{car}$$

$$\forall x \in \mathbb{R} / -1 \leq \cos x \leq 1 \quad \text{donc } f^{-1}(D) = \emptyset$$

**Exercice40** :

Soit  $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

$$x \mapsto \frac{3}{1+x^2} \quad \text{déterminer } f^{-1}([1; 2]) \quad f^{-1}([1; 2])$$

**Exercice41** : Soit l'application :

$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto 3|1-x^2| + x \quad \text{Ecrire l'expression de } f \text{ sur } [-1; 1]$$

**Exercice42** : Soit l'application

$$g : \mathbb{R} - \{1\} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto \frac{3x+1}{x-1}$$

1-  $g$  est-elle bijective ?

2- A partir de  $g$ , définir une bijection de  $\mathbb{R}$  dans  $\mathbb{R}$

**Exercice43** : soit l'application :  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto \sqrt{x^2 - 2x + 1}$

Déterminer la restriction de  $f$  sur l'intervalle  $]-\infty; 1]$

$$\text{Solution : } f(x) = \sqrt{x^2 - 2x + 1} = \sqrt{(x-1)^2} = |x-1|$$

$$\text{Si } x \in ]-\infty; 1] \text{ alors : } f(x) = -(x-1) = -x+1$$

Donc : la restriction de  $f$  sur l'intervalle  $]-\infty;1]$  est

l'application  $g : ]-\infty;1] \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto -x+1$

**Exercice44** : soit l'application :  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 2x - |x| + 3$

Déterminer la restriction de  $f$  sur l'intervalle  $]-\infty;0]$

**Solution** :  $f(x) = 2x - |x| + 3$

Si  $x \in ]-\infty;0]$  alors :  $f(x) = 2x + x + 3 = 3x + 3$

Donc : la restriction de  $f$  sur l'intervalle  $]-\infty;0]$  est

l'application  $g : ]-\infty;0] \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto 3x + 3$

**Exercice45** : soit les applications :

$f : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$  et  $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto x$  et  $x \mapsto 2|x| - x$

Est-ce que  $g$  est un prolongement de  $f$  ?

**Solution** :  $g(x) = 2|x| - x = x$  Si  $x \in \mathbb{R}^+$  et  $\mathbb{R}^+ \subset \mathbb{R}$

Donc :  $g$  est un prolongement de  $f$  sur  $\mathbb{R}$

**Exercice46** : 1) Montrer que :

$(\forall x \in \mathbb{R})(\forall m \in \mathbb{Z})(E(m+x) = m + E(x))$ .

2) Vérifier par un contre-exemple que :

$E(x+y) \neq E(x) + E(y)$   
 $h : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

3) Soit l'application  $x \mapsto E(3x+1) + x$

1- Vérifier que  $h$  n'est pas injective.

2- Donner la restriction de  $h$  sur l'intervalle  $\left[0; \frac{1}{3}\right]$ .

3- Déterminer :  $h^{-1}\{4\}$  et  $h^{-1}\{2\}$ ;  $h$  est-elle surjective ?

**Exercice47** : Soient les deux applications :

$f : \mathbb{R} - \{0\} \rightarrow \mathbb{R}$  et  $g : \mathbb{R} - \{1\} \rightarrow \mathbb{R}$   
 $x \mapsto \frac{1}{x^2}$  et  $x \mapsto \frac{x}{x-1}$

1- Déterminer  $f(g(3))$ ;  $f(g(-1))$   $g(f(3))$

2- Donner la condition sur  $x$  pour que le réel  $g(f(x))$  existe.

3- Donner la condition sur  $x$  pour que le réel  $f(g(x))$  existe.

4- Déterminer les application  $f \circ g$  et  $g \circ f$ .

**Exercice48** : soit l'application :  $h : \mathbb{R}^+ \rightarrow \left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$

$x \mapsto x + \sqrt{x} + \frac{1}{4}$

1) Ecrire l'application  $h$  comme La composée de deux applications  $f$  et  $g$  :  $h = g \circ f$

2)a) Montrer que  $f$  est une bijection et déterminer sa bijection réciproque

b) Montrer que  $g$  est une bijection et déterminer sa bijection réciproque

c) en déduire que  $h$  est une bijection de  $\mathbb{R}^+$  dans

$\left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$  et déterminer sa bijection réciproque

**Solution** : 1)  $h(x) = x + \sqrt{x} + \frac{1}{4} = x - \left(\sqrt{x} + \frac{1}{2}\right)^2$

Donc :  $h = g \circ f$  avec :

$f : \mathbb{R}^+ \rightarrow \left[\frac{1}{2}; +\infty\right[$  et  $g : \left[\frac{1}{2}; +\infty\right[ \rightarrow \left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$   
 $x \mapsto \sqrt{x} + \frac{1}{2}$   $x \mapsto x^2$

2)a)  $f$  est une bijection en effet :

soient  $y \in \left[\frac{1}{2}; +\infty\right[$

Resolvons l'équation :  $f(x) = y$

$f(x) = y \Leftrightarrow \sqrt{x} + \frac{1}{2} = y \Leftrightarrow \sqrt{x} = \frac{2y-1}{2}$

Or  $y \in \left[\frac{1}{2}; +\infty\right[$  donc  $2y-1 \geq 0$  donc  $x = \left(\frac{2y-1}{2}\right)^2$

donc  $x = \left(y - \frac{1}{2}\right)^2$  Puisque l'équation  $f(x) = y$  admet

une unique solution

donc :  $f$  est une bijection de  $\mathbb{R}^+$  vers  $\left[\frac{1}{2}; +\infty\right[$  .et

$f^{-1} : \left[\frac{1}{2}; +\infty\right[ \rightarrow \mathbb{R}^+$

$x \mapsto \left(x - \frac{1}{2}\right)^2$

2)b)  $g$  est une bijection de  $\left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$  vers  $\left[\frac{1}{2}; +\infty\right[$  en

et :  $g^{-1} : \left[\frac{1}{4}; +\infty\right[ \rightarrow \left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$

$x \mapsto \sqrt{x}$

c)  $h$  est la composée de deux bijections  $f$  et  $g$

donc  $h$  est une bijection de  $\mathbb{R}^+$  dans  $\left[\frac{1}{4}; +\infty\right[$

Et  $\forall x \in \mathbb{R}^+$  :

$h^{-1}(x) = (g \circ f)^{-1}(x) = f^{-1} \circ g^{-1}(x) = f^{-1}(g^{-1}(x)) = \left(\sqrt{x} - \frac{1}{2}\right)^2$

Donc : la bijection réciproque  $h^{-1}$  de  $h$  est

$$h^{-1} : \left] \frac{1}{4}; +\infty[ \rightarrow \mathbb{R}^+$$

$$x \mapsto \left( \sqrt{x} - \frac{1}{2} \right)^2$$

**Exercice49** : soient les applications :

$$f : ]1; +\infty[ \rightarrow ]1; +\infty[ \quad g : ]1; +\infty[ \rightarrow ]1; +\infty[$$

$$x \mapsto 1 + \frac{2}{\sqrt{x}-1} \quad \text{et} \quad x \mapsto \left( \frac{\sqrt{x}+1}{\sqrt{x}-1} \right)^2$$

1) Déterminer :  $f([2; 4[)$  et  $g^{-1}(\{9\})$

2) Montrer que  $f$  est une bijection de  $]1; +\infty[$  dans  $]1; +\infty[$  et déterminer sa bijection réciproque

3a) vérifier que :  $\forall x \in ]1; +\infty[ : g(x) = (f(x))^2$

3b) en déduire que :  $g$  est une bijection de  $]1; +\infty[$  dans  $]1; +\infty[$  et déterminer sa bijection réciproque

**Solution : 1)**

$$f([2; 4[) = \{f(x) / x \in [2; 4[ \} = \{f(x) / 2 \leq x < 4 \}$$

$$= \{f(x) / \sqrt{2}-1 \leq \sqrt{x}-1 < 1 \} = \left\{ f(x) / 1 < \frac{1}{\sqrt{x}-1} \leq \frac{1}{\sqrt{2}-1} \right\}$$

$$= \{f(x) / 3 < f(x) \leq 3 + 2\sqrt{2} \}$$

$$\text{Donc : } f([2; 4[) = ]3; 3 + 2\sqrt{2}[$$

$$g^{-1}(\{9\}) = \{x \in ]1; +\infty[ / g(x) \in \{9\}\} = \{x \in ]1; +\infty[ / g(x) = 9\}$$

$$g^{-1}(\{9\}) = \{x > 1 / \sqrt{x} = 2\} = \{4\}$$

2) montrons que  $f$  est injective ?

soient  $x_1 \in ]1; +\infty[$  et  $x_2 \in ]1; +\infty[$

$$f(x_1) = f(x_2) \Rightarrow 1 + \frac{2}{\sqrt{x_1}-1} = 1 + \frac{2}{\sqrt{x_2}-1}$$

$$\Rightarrow \sqrt{x_1}-1 = \sqrt{x_2}-1 \Rightarrow \sqrt{x_1} = \sqrt{x_2} \Rightarrow x_1 = x_2$$

donc  $f$  est injective

Montrons que  $f$  est surjective ?

$$\forall y \in ]1; +\infty[ \quad y = f(x) \Leftrightarrow x = \left( \frac{y+1}{y-1} \right)^2$$

$$\text{Et on a : } \left( \frac{y+1}{y-1} \right)^2 - 1 = \left( \frac{y+1}{y-1} - 1 \right) \left( \frac{y+1}{y-1} + 1 \right) = \frac{4y}{(y-1)^2}$$

$$\text{Donc : } \forall y \in ]1; +\infty[ \left( \frac{y+1}{y-1} \right)^2 > 1 \text{ donc :}$$

$$(\forall y \in ]1; +\infty[)(\exists x \in ]1; +\infty[ / x = \left( \frac{y+1}{y-1} \right)^2 \text{ et } y = f(x)$$

Donc : que  $f$  est surjective de  $]1; +\infty[$  dans  $]1; +\infty[$

Détermination de sa bijection réciproque ?

$$\begin{cases} f(y) = x \\ y \in ]1; +\infty[ \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} f^{-1}(x) = y \\ y \in ]1; +\infty[ \end{cases} \Leftrightarrow y = \left( \frac{x+1}{x-1} \right)^2$$

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

$$\text{Donc : } x \mapsto \left( \frac{x+1}{x-1} \right)^2$$

3a) vérifier que :  $\forall x \in ]1; +\infty[ :$

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

3b) on a :  $g = h \circ f$  avec  $h(x) = x^2 \forall x \in ]1; +\infty[ :$

Et puisque les applications  $f$  et  $h$  sont des bijections de  $]1; +\infty[$  dans  $]1; +\infty[$  alors  $g = h \circ f$  est une bijection de  $]1; +\infty[$  dans  $]1; +\infty[$

et on a :

$$g^{-1}(x) = (h \circ f)^{-1}(x) = f^{-1} \circ h^{-1}(x)$$

$$= f^{-1}(h^{-1}(x)) = \left( \frac{\sqrt{x}+1}{\sqrt{x}-1} \right)^2 = g(x)$$

**Exercice50** : Soient les ensembles :

$$E = \{x \in ]-\pi; 2\pi[ / \tan x = \sqrt{3} : x \in \mathbb{R}\}$$

$$F = \left\{ x \in ]-\pi; 2\pi[ / x = \frac{\pi}{6} + k\pi : k \in \mathbb{Z} \right\}$$

$$G = \left\{ x \in ]-\pi; 2\pi[ / x = \frac{\pi}{6} + \frac{k}{2}\pi : k \in \mathbb{Z} \right\}$$

$$S = \left\{ \frac{-5\pi}{3}; \frac{-\pi}{3}; \frac{\pi}{6}; \frac{2\pi}{3}; \frac{7\pi}{6}; \frac{5\pi}{3} \right\}$$

Vérifier que :  $S \subseteq E$  et  $E \subseteq S$  et que  $E = S$  et  $E = G$

Vérifier que :  $\frac{\pi}{8}$  n'est pas un élément de  $E$  et que

$$E \neq F$$

**Exercice51** : Soient  $A = \left\{ \frac{5n+8}{8n-1} / n \in \mathbb{N} \right\}$  et

$$B = \left\{ \frac{2n+4}{2n-1} / n \in \mathbb{N} \right\}$$

1- Est ce que :  $\frac{17}{3} \in A$  ?  $\frac{43}{25} \in B$  ?  $\frac{42}{37} \in B$  ?

2- montrer que  $\frac{6}{5}$  est un élément commun entre  $A$  et  $B$ .

**Exercice52** : Soit la fonction  $f$  définie par :



$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto \frac{x}{1+x^2}$$

$$\bar{A} = \{x \in E / x \notin A\}$$

1-Montrer que chaque élément de  $\mathbb{R}$  à une image.

2- l'implication suivante est-elle vraie :

(P)  $(a \neq b) \Rightarrow (f(a) \neq f(b))$ .

3-Montrer que  $(\forall x \in \mathbb{R}) f(x) \in \left[ \frac{-1}{2}; \frac{1}{2} \right]$

4- Montrer que  $(\forall y \in \left[ \frac{-1}{2}; \frac{1}{2} \right]) (\exists x \in \mathbb{R})(f(x) = y)$

**Exercice53** Soient les deux applications suivantes :

$$f : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z} \quad g : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z}$$

et

$$n \mapsto (-1)^n \times n \quad n \mapsto \begin{cases} n. \text{si } n. \text{pair} \\ -n. \text{si } n. \text{impair} \end{cases}$$

Vérifier que  $(\forall n \in \mathbb{N})(f(n) = g(n))$

**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**

