

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 suyvants :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

suyants :

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

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

suyants : $[a; b[$ 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 $\mathbb{R} - \mathbb{Q}$

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

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

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

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

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

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

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 :

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

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

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

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

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

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 :

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

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

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

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

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

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

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 $B \subset C$

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

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

$$\text{Qu'on note : } A \Delta B \text{ tel que : } A \Delta B = (A - B) \cup (B - A)$$

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) en déduit que : $(A \cap B) \cup (\overline{A} \cap B) \subset C$

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

Alors $B \subset C$

De même on montre que : $C \subset B$

$$\text{Donc : } A \Delta B = A \Delta C \Rightarrow B = C$$

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 $E \cap \mathbb{Z}^2$

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

4) Ecrire en compréhension les ensembles suivants :

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

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

Solution : 1) a)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 : $L = A \times B$

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 : $L = A \times B$

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 $G = H$?

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 $y_0 \in H$?

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

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

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 : $H \neq G$

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

$E = \{x \in \mathbb{Z} / |x+1| \leq 3\}$ 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 $E \cap F = \emptyset$

4) déterminer les valeurs possibles de a pour lesquelles $F \subset E$

Solution : 1) il est aisé de voir que :

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

2)

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

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

$E \cap F = \emptyset \Leftrightarrow E \subset C_Z^F \Leftrightarrow \forall x \in E; x \in C_Z^F$

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

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

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

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

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

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

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 : $A \Delta X = B$

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 $A \Delta B$?

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

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

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

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

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

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 : $H \cap F$

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

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

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

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

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

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

Donc : $E = F \cup G$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $C \subset A \subset B$

résoudre dans $P(E)$ 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 : $A \cup X = B$

Et on a : $(B-A) \cup A = B$ $(B-A) \cap A = \emptyset$

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

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 $Y \subset A$

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

L'ensemble des solutions de l'équation est :

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

Exercice23 : soit les 2 applications :

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

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 $x_2 \in \mathbb{R}^+$

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

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

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

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

$\Rightarrow \sqrt{x_1} = \sqrt{x_2} \Rightarrow x_1 = x_2$ donc f 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 : $f(x) = y$

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

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

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

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

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

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

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 $K =]-\infty; -1[$

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

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

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

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

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

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

Solution :

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

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

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

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

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

Solution :

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

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

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

Exercice40 :

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

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

Exercice41 : Soit l'application :

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

$x \mapsto 3|1-x^2| + x$ Ecrire l'expression de f 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}

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

Exercice43 : soit l'application :

$$x \mapsto \sqrt{x^2 - 2x + 1}$$

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

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

$$x \mapsto -x+1$$

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

Exercice44 : soit l'application :

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

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

$$\text{Solution : } f(x) = 2x - |x| + 3$$

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

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

$$\text{l'application } g :]-\infty;0] \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto 3x + 3$$

Exercice45 : soit les applications :

$$f : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R} \quad \text{et} \quad g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto x \quad \text{et} \quad x \mapsto 2|x| - x$$

Est-ce que g est un prolongement de f ?

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 :

$$f: \mathbb{R} - \{0\} \rightarrow \mathbb{R} \quad g: \mathbb{R} - \{1\} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto \frac{1}{x^2} \quad \text{et} \quad x \mapsto \frac{x}{x-1}$$

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 $g \circ f$.

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

Exercice48 : soit l'application :

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

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

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

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

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

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

$$x \mapsto x^2$$

2)a) f est une bijection en effet :

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

Resolvons l'équation : $f(x) = y$

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

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

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

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

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

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

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

3)a) 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)

$$\begin{aligned} f([2; 4[) &= \{f(x) / x \in [2; 4[\} = \{f(x) / 2 \leq x < 4 \} \\ &= \{f(x) / \sqrt{2} - 1 \leq \sqrt{x} - 1 < 1 \} = \left\{ f(x) / 1 < \frac{1}{\sqrt{x} - 1} \leq \frac{1}{\sqrt{2} - 1} \right\} \\ &= \{f(x) / 3 < f(x) \leq 3 + 2\sqrt{2} \} \end{aligned}$$

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 $x_2 \in]1; +\infty[$

$$\begin{aligned} f(x_1) = f(x_2) &\Rightarrow 1 + \frac{2}{\sqrt{x_1} - 1} = 1 + \frac{2}{\sqrt{x_2} - 1} \\ \Rightarrow \sqrt{x_1} - 1 &= \sqrt{x_2} - 1 \Rightarrow \sqrt{x_1} = \sqrt{x_2} \Rightarrow x_1 = x_2 \\ \text{donc } f &\text{ est injective} \end{aligned}$$

Montrons que f est surjective ?

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

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

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

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

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

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 $h(x) = x^2 \quad \forall x \in]1; +\infty[:$

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 :

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

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} a une image.

2- l'implication suivante est-elle vraie :

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

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

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 :

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

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

$$n \mapsto (-1)^n \times n$$

et

$$n \mapsto \begin{cases} n. \text{ si } n. \text{ pair} \\ -n. \text{ si } n. \text{ impair} \end{cases}$$

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**

