

**Exercice 1 :** Donner la négation et la valeur de vérité de chacune des propositions suivantes

- 1)  $P: " \forall x \in \mathbb{R} / x^2 > 0 "$
- 2)  $P: " \exists x \in \mathbb{R} / x^2 - 2 = 0 "$
- 3)  $P: x \in [1; 2[$
- 4)  $P: " \forall n \in \mathbb{N} / \frac{n}{2} \in \mathbb{N} "$
- 5)  $P: ( \forall x \in \mathbb{R} ); -1 \leq \cos x \leq 1$
- 6)  $P: ( \forall n \in \mathbb{N} ); ( \exists m \in \mathbb{N} ); n < m$
- 7)  $P: ( \exists n \in \mathbb{N} ) 2n+1$  est pair
- 8)  $P: ( \forall n \in \mathbb{N} ); \sqrt{n} \in \mathbb{N}$
- 9)  $P: ( \forall x \in \mathbb{R} ); ( \exists y \in \mathbb{R} ); y - x > 0$
- 10)  $P: ( \exists ! x \in \mathbb{R} ); 2x + 4 = 0$
- 11)  $P: ( \exists ! x \in \mathbb{R} ); x^2 = 2$
- 12)  $P: ( \exists x \in \mathbb{Z} ); \frac{x}{4} \in \mathbb{Z}$
- 13)  $P: ( \forall x \in \mathbb{R} ); ( \exists y \in \mathbb{R} ); y^2 = x$

**Solution :**

- 1)  $\bar{P}: " \exists x \in \mathbb{R} / x^2 \leq 0 "$  et on a  $P$ : est fausse
- 2)  $\bar{P}: " \forall x \in \mathbb{R} / x^2 - 2 \neq 0 "$  et on a  $P$ : est vraie
- 3)  $\bar{P}: x \notin [1; 2[$
- 4)  $\bar{P}: \exists n \in \mathbb{N} / \frac{n}{2} \notin \mathbb{N}$  et on a  $P$ : est fausse
- 5)  $\bar{P}: ( \exists x \in \mathbb{R} ); \cos x > 1$  ou  $\cos x < -1$  et on a  $P$ : est vraie
- 6)  $\bar{P}: ( \exists n \in \mathbb{N} ); ( \forall m \in \mathbb{N} ); n \geq m$  et on a  $P$ : est vraie
- 7)  $\bar{P}: ( \forall n \in \mathbb{N} ) 2n+1$  est impair  $P$ : est fausse
- 8)  $\bar{P}: ( \exists n \in \mathbb{N} ); \sqrt{n} \notin \mathbb{N}$  et on a  $P$ : est vraie
- 9)  $\bar{P}: ( \exists x \in \mathbb{R} ); ( \forall y \in \mathbb{R} ); y - x \leq 0$  et on a  $P$ : est fausse
- 10)  $P: ( \exists ! x \in \mathbb{R} ); 2x + 4 = 0$  on a  $P$ : est vraie
- 11)  $P: ( \exists ! x \in \mathbb{R} ); x^2 = 2$  on a  $P$ : est fausse
- 12)  $\bar{P}: ( \forall x \in \mathbb{Z} ); \frac{x}{4} \notin \mathbb{Z}$  et on a  $P$ : est vraie
- 13)  $\bar{P}: ( \exists x \in \mathbb{R} ); ( \forall y \in \mathbb{R} ); y^2 = x$  et on a  $P$ : est fausse

**Exercice 2** Ecrire à l'aide de quantificateurs les propositions suivantes :

1. Le carré de tout réel est positif.
2. Certains réels sont strictement supérieurs à leur carré.
3. Aucun entier n'est supérieur à tous les autres.
4. Tous les réels ne sont pas des quotients d'entiers.
5. Il existe un entier multiple de tous les autres.
6. Entre deux réels distincts, il existe un rationnel.

**Solution :**

1.  $" \forall x \in \mathbb{R} / x^2 \geq 0 "$
2.  $" \exists x \in \mathbb{R} , x > x^2 "$
3.  $( \forall n \in \mathbb{N} ); ( \exists m \in \mathbb{N} ); n < m$
4.  $( \exists x \in \mathbb{R} ); ( \forall n \in \mathbb{Z} ); ( \forall m \in \mathbb{N}^* ); x \neq \frac{n}{m}$
5.  $( \exists n \in \mathbb{N} ); ( \forall m \in \mathbb{N} ); ( \exists k \in \mathbb{N} ); n = m \times k$
6.  $( \forall x \in \mathbb{R} ); ( \forall y \in \mathbb{R} ); x < y \Rightarrow \exists z \in \mathbb{Q} / x < z < y$

**Exercice 3 :**  $x \in \mathbb{R}; y \in \mathbb{R}$

Montrer que :  $\begin{cases} 0 \leq x < 2 \\ 0 \leq y < 2 \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{y} > 1$

**Solution :**  $\begin{cases} 0 \leq x < 2 \\ 0 \leq y < 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{1}{x} > \frac{1}{2} \\ \frac{1}{y} > \frac{1}{2} \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{y} > \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$   
 $\Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{y} > 1$

**Exercice 4 :**  $x \in \mathbb{R}^+$  Montrer que :

$$\frac{1}{1+\sqrt{x}} = 1 - \sqrt{x} \Rightarrow x = 0$$

**Solution :**  $\frac{1}{1+\sqrt{x}} = 1 - \sqrt{x} \Rightarrow (1+\sqrt{x})(1-\sqrt{x}) = 1$

$$\Rightarrow 1 + (\sqrt{x})^2 = 1 \Rightarrow 1 + x = 1 \Rightarrow x = 0$$

**Exercice 5 :** 1) Montrer que :

$$(\forall (a; b) \in \mathbb{R}^2): a^2 + b^2 = 0 \Rightarrow a = 0 \text{ et } b = 0$$

2)  $x \in \mathbb{R}^+$  et  $y \in \mathbb{R}^+$  Montrer que:

$$x + y + 2 = 2\sqrt{x} + 2\sqrt{y} \Rightarrow x = y = 1$$

**Solution :** 1)  $a^2 + b^2 = 0 \Rightarrow a^2 = -b^2 \Rightarrow a^2 \in \mathbb{R}^-$

Or on sait que  $a^2 \in \mathbb{R}^+$  donc  $a^2 \in \mathbb{R}^+ \cap \mathbb{R}^-$  donc  $a^2 = 0$  donc  $a = 0$

Et puisque  $a^2 + b^2 = 0$  alors  $b = 0$

2)

$$x + y + 2 = 2\sqrt{x} + 2\sqrt{y} \Rightarrow x - 2\sqrt{x} + 1 + y - 2\sqrt{y} + 1 = 0$$

$$\Rightarrow (\sqrt{x} - 1)^2 + (\sqrt{y} - 1)^2 = 0 \Rightarrow \sqrt{x} - 1 = 0 \text{ et }$$

$$\sqrt{y} - 1 = 0 \text{ d'après 1)}$$

$$\Rightarrow \sqrt{x} = 1 \text{ et } \sqrt{y} = 1 \Rightarrow x = 1 \text{ et } y = 1$$

$$\text{Donc : } x + y + 2 = 2\sqrt{x} + 2\sqrt{y} \Rightarrow x = y = 1$$

**Exercice 6 :** Montrer que :

$$(\forall (a; b) \in \mathbb{R}^2) : a^2 + b^2 = 1 \Rightarrow |a + b| \leq \sqrt{2}$$

**Solution :** 1) supposons que :  $a^2 + b^2 = 1$

Or on sait que  $\forall (a; b) \in \mathbb{R} : (a - b)^2 \geq 0$

Donc :  $a^2 - 2ab + b^2 \geq 0$  et puisque :  $a^2 + b^2 = 1$  alors :

$$1 - 2ab \geq 0 \text{ Donc } 2ab \leq 1 \text{ et } a^2 + b^2 = 1$$

$$\text{Par suite : } a^2 + b^2 + 2ab \leq 2 \text{ donc } (a + b)^2 \leq 2$$

$$\text{donc } \sqrt{(a + b)^2} \leq \sqrt{2} \text{ donc } |a + b| \leq \sqrt{2}$$

Or on sait que  $a^2 \in \mathbb{R}^+$  donc  $a^2 \in \mathbb{R}^+ \cap \mathbb{R}^-$  donc  $a^2 = 0$   
donc  $a = 0$

Et puisque  $a^2 + b^2 = 0$  alors  $b = 0$

2)

$$x + y + 2 = 2\sqrt{x} + 2\sqrt{y} \Rightarrow x - 2\sqrt{x} + 1 + y - 2\sqrt{y} + 1 = 0$$

$$\Rightarrow (\sqrt{x} - 1)^2 + (\sqrt{y} - 1)^2 = 0 \Rightarrow \sqrt{x} - 1 = 0 \text{ et } \sqrt{y} - 1 = 0$$

$$\text{d'après 1) } \Rightarrow \sqrt{x} = 1 \text{ et } \sqrt{y} = 1 \Rightarrow x = 1 \text{ et } y = 1$$

$$\text{Donc : } x + y + 2 = 2\sqrt{x} + 2\sqrt{y} \Rightarrow x = y = 1$$

**Exercice 7 :** Montrer que si  $a \in \mathbb{Q}$  et  $b \in \mathbb{Q}$  alors

$$a + b \in \mathbb{Q}$$

**Solution :** Prenons  $a \in \mathbb{Q}$  et  $b \in \mathbb{Q}$ . Rappelons que les

rationnels  $\mathbb{Q}$  sont l'ensemble des réels s'écrivant  $\frac{p}{q}$  avec

$$p \in \mathbb{Z} \text{ et } q \in \mathbb{N}^*.$$

$$\text{Alors } a = \frac{p}{q} \text{ avec } p \in \mathbb{Z} \text{ et } q \in \mathbb{N}^*; \text{ De même } b = \frac{p'}{q'} \text{ avec}$$

$$p' \in \mathbb{Z} \text{ et } q' \in \mathbb{N}^* \text{ donc}$$

$$a + b = \frac{p}{q} + \frac{p'}{q'} = \frac{p \times q' + q \times p'}{q \times q'}. \text{ Or le numérateur}$$

$p \times q' + q \times p'$  est bien un élément de  $\mathbb{Z}$ ; le dénominateur

$q \times q'$  est lui un élément de  $\mathbb{N}^*$ . Donc  $a + b$  s'écrit bien de

la forme  $a + b = \frac{p''}{q''}$  avec  $p'' \in \mathbb{Z}$  et  $q'' \in \mathbb{N}^*$  Ainsi  $a + b \in \mathbb{Q}$

**Exercice 8 :** on considère la fonction définie sur

$$\mathbb{R} - \left\{ -\frac{1}{2} \right\} \text{ par :}$$

$$f(x) = \frac{x+2}{2x+1} \text{ Montrer que :}$$

$$|x-1| < \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{4}|x-1| \leq |f(x) - f(1)| \leq \frac{1}{2}|x-1|$$

$$\text{Solution : } |x-1| < \frac{1}{2} \Rightarrow -\frac{1}{2} < x-1 < \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{2} < x < \frac{3}{2}$$

$$\text{On a : } f(x) - f(1) = \frac{x+2}{2x+1} - 1 = \frac{x+2-2x-1}{2x+1} = \frac{1-x}{2x+1}$$

$$\text{Donc : } |f(x) - f(1)| = \left| \frac{1-x}{2x+1} \right| = |1-x| \times \frac{1}{|2x+1|}$$

$$\text{Et on a : } |x-1| < \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{2} < x < \frac{3}{2} \Rightarrow 2 < 2x+1 < 4$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4} < \frac{1}{|2x+1|} < \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{4}|x-1| \leq |f(x) - f(1)| \leq \frac{1}{2}|x-1|$$

$$\text{Donc : } |x-1| < \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{4}|x-1| \leq |f(x) - f(1)| \leq \frac{1}{2}|x-1|$$

$$\text{Exercice 9 : Montrer que : } n \in \mathbb{N} \Rightarrow \frac{n+1}{n+2} \notin \mathbb{N}$$

**Solution :**

$$\text{On a : } n \in \mathbb{N} \text{ donc } n+1 < n+2$$

$$\text{donc } 0 < \frac{n+1}{n+2} < 1 \text{ donc } \frac{n+1}{n+2} \notin \mathbb{N}$$

**Exercice 10 :** Montrer que pour tout

$$\forall x \in [-2; 2] : 2\sqrt{2} > \sqrt{4-x^2}.$$

**Solution :** l'inéquation est définie ssi voici le tableau de signe :

$x$	$-\infty$	$-2$	$2$	$+\infty$	
$4-x^2$	$-$	$0$	$+$	$0$	$-$

$$D_f = [-2; 2]$$

$$\text{Soit } x \in [-2; 2].$$

$$2\sqrt{2} - \sqrt{4-x^2} = \frac{(2\sqrt{2}) - (\sqrt{4-x^2})^2}{2\sqrt{2} + \sqrt{4-x^2}} = \frac{8-4+x^2}{2\sqrt{2} + \sqrt{4-x^2}}$$

$$2\sqrt{2} - \sqrt{4-x^2} = \frac{4+x^2}{2\sqrt{2} + \sqrt{4-x^2}} > 0$$

$$\text{donc } \forall x \in [-2; 2] : 2\sqrt{2} > \sqrt{4-x^2}$$

**Exercice 11:** Montrer que pour tout

$$\forall x \in \mathbb{R} : |x-1| \leq x^2 - x + 1.$$

**Solution :** Soit  $x \in \mathbb{R}$ . Nous distinguons deux cas.

Premier cas :  $x > 1$  Alors  $|x-1| = x-1$ .

$$\text{Calculons alors } (x^2 - x + 1) - (x-1) = x^2 - x + 1 - x + 1$$

$$(x^2 - x + 1) - (x-1) = x^2 - 2x + 1 + 1 = (x-1)^2 + 1 \geq 0 \text{ Ainsi}$$

$$x^2 - x + 1 \geq |x-1|$$

Deuxième cas :  $x < 1$ . Alors  $|x-1| = -(x-1)$ .

Nous obtenons

$$(x^2 - x + 1) + (x-1) = x^2 - x + 1 + x - 1 = x^2 \geq 0.$$

$$\text{Et donc } x^2 - x + 1 \geq |x-1|$$

Conclusion : Dans tous les cas  $x^2 - x + 1 \geq |x-1|$ .

**Exercice 12 :** résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'inéquation (E):

$$1 - \frac{x}{4} > \frac{1}{\sqrt{1+x}}$$

**Solution :** soit  $S$  l'ensemble des solution de (E)

et  $x \in ]-1; +\infty[$  on a :  $x \in S \Leftrightarrow \frac{4-x}{4} > \frac{1}{\sqrt{1+x}}$

1 cas : si  $x \in [4; +\infty[$  alors  $4-x \leq 0$  donc  $S = \emptyset$

2 cas : si  $x \in ]-1; 4[$  alors  $4-x > 0$  donc

$$\frac{4-x}{4} > \frac{1}{\sqrt{1+x}} \Leftrightarrow \left(\frac{4-x}{4}\right)^2 > \left(\frac{1}{\sqrt{1+x}}\right)^2 \Leftrightarrow x(x^2 - 7x + 8) > 0$$

$$\Leftrightarrow x \in \left]0; \frac{7-\sqrt{17}}{2}\right] \text{ donc } S_2 = \left]0; \frac{7-\sqrt{17}}{2}\right]$$

$$\text{Donc } S = S_1 \cup S_2 = \left]0; \frac{7-\sqrt{17}}{2}\right]$$

**Exercice 13 :** résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'inéquation (1):

$$|x-1| + 2x - 3 \geq 0$$

**Solution :** soit  $S$  l'ensemble des solution de (1)

soit  $x \in \mathbb{R}$  : on va déterminer le signe de :  $x-1$

$x$	$-\infty$	$1$	$+\infty$
$x-1$	$-$	$0$	$+$

si  $x \in [1; +\infty[$  alors  $|x-1| = x-1$

donc l'inéquation (1) devient :

$$x-1+2x-3 \geq 0 \Leftrightarrow 3x-4 \geq 0$$

$$3x-4 \geq 0 \Leftrightarrow x \geq \frac{4}{3} \text{ donc :}$$

$$S_1 = \left[\frac{4}{3}; +\infty[ \cap [1; +\infty[ = \left[\frac{4}{3}; +\infty[$$

si  $x \in ]-\infty; 1]$  alors  $|x-1| = -(x-1) = -x+1$

donc l'inéquation (1) devient :

$$-x+1+2x-3 \geq 0 \Leftrightarrow x \geq 2$$

$$\text{donc } S_2 = [2; +\infty[ \cap ]-\infty; 1] = \emptyset$$

$$\text{finalement : } S = S_1 \cup S_2 = \left[\frac{4}{3}; +\infty[$$

**Exercice 14 :** Montrer que pour tout

$$\forall x \in \mathbb{R} : \sqrt{x^2+1} + x > 0.$$

**Solution :** Soit  $x \in \mathbb{R}$ . Nous distinguons deux cas.

Premier cas :  $x \geq 0$  Alors  $x^2 \geq 0$  donc  $x^2+1 \geq 1 > 0$

donc  $\sqrt{x^2+1} > 0$  et on a  $x \geq 0$  donc  $\sqrt{x^2+1} + x > 0$

Deuxième cas :  $x \leq 0$ . on a  $x^2+1 > x^2$

donc  $\sqrt{x^2+1} > \sqrt{x^2}$  donc  $\sqrt{x^2+1} > |x|$  or  $x \leq 0$

alors on a :  $\sqrt{x^2+1} > -x$  donc  $\sqrt{x^2+1} + x > 0$

finalement :  $\forall x \in \mathbb{R} : \sqrt{x^2+1} + x > 0$

**Exercice 15 :** résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'inéquation (1):

$$x^2 - |x-2| + 5 = 0$$

**Solution :** soit  $S$  l'ensemble des solution de (1)

soit  $x \in \mathbb{R}$  : étudions le signe de :  $x-2$

Premier cas : si  $x \in [2; +\infty[$  alors  $|x-2| = x-2$

donc l'équation (1) devient :

$$x^2 - (x-2) + 5 = 0 \Leftrightarrow x^2 - x + 7 = 0$$

$$\Delta = 1 - 28 = -27 < 0 \text{ donc : } S_1 = \emptyset$$

Deuxième cas : si  $x \in ]-\infty; 2]$  alors

$$|x-2| = -(x-2) = -x+2$$

donc l'équation (1) devient :

$$x^2 + (x-2) + 5 = 0 \Leftrightarrow x^2 + x + 3 = 0$$

$$\Delta = 1 - 12 = -11 < 0 \text{ donc } S_2 = \emptyset$$

finalement :  $S = S_1 \cup S_2 = \emptyset$

**Exercice 16 :** Montrer que  $n(n+1)(n+2)$  est un multiple de 3 pour tout  $n \in \mathbb{N}$ .

**Solution :** soit  $n \in \mathbb{N}$  on a 3 cas possibles seulement pour  $n$

$n = 3k$  ou  $n = 3k+1$  ou  $n = 3k+2$  avec  $k \in \mathbb{N}$

1cas :  $n = 3k$

$$n(n+1)(n+2) = 3k(3k+1)(3k+2) = 3k' \text{ Avec}$$

$$k' = k(3k+1)(3k+2)$$

Donc  $n(n+1)(n+2)$  est un multiple de 3

2cas :  $n = 3k+1$

$$n(n+1)(n+2) = (3k+1)(3k+2)(3k+3) = 3(3k+1)(3k+2)(k+1) = 3k'$$

$$\text{Avec } k' = (3k+1)(3k+2)(k+1)$$

Donc  $n(n+1)(n+2)$  est un multiple de 3

3cas :  $n = 3k+2$

$$n(n+1)(n+2) = (3k+2)(3k+3)(3k+4) = 3(3k+2)(k+1)(3k+4) = 3k'$$

$$\text{Avec } k' = (3k+2)(k+1)(3k+4)$$

Donc  $n(n+1)(n+2)$  est un multiple de 3

Conclusion :  $\forall n \in \mathbb{N}$   $n(n+1)(n+2)$  est un multiple de 3

**Exercice 17 :**  $x \in \mathbb{R}$  et  $y \in \mathbb{R}$

Montrer que :  $x \neq 2$  et  $y \neq 2 \Rightarrow 2x + 2y - xy - 2 \neq 2$

**Solution :** soit  $x \in \mathbb{R}$  et  $y \in \mathbb{R}$

Utilisons un Raisonnement par contraposition :

Montrons que :  $2x + 2y - xy - 2 = 2 \Rightarrow x = 2$  ou  $y = 2$

On a :  $2x + 2y - xy - 2 = 2 \Rightarrow 2x + 2y - xy - 4 = 0$

$$\Rightarrow x(2 - y) - 2(2 - y) = 0 \Rightarrow (2 - y)(x - 2) = 0$$

$$\Rightarrow 2 - y = 0 \text{ ou } x - 2 = 0 \Rightarrow y = 2 \text{ ou } x = 2$$

Donc :  $x \neq 2$  et  $y \neq 2 \Rightarrow 2x + 2y - xy - 2 \neq 2$

**Exercice 18 :**  $x \in \mathbb{R}$  et  $x \neq -5$

Montrer que :  $x \neq -8 \Rightarrow \frac{x+2}{x+5} \neq 2$

**Solution :** soit  $x \in \mathbb{R}$  et  $y \in \mathbb{R}$

Utilisons un Raisonnement par contraposition :

Montrons que :  $\frac{x+2}{x+5} = 2 \Rightarrow x = -8$

$$\text{On a : } \frac{x+2}{x+5} = 2 \Rightarrow x+2 = 2(x+5)$$

$$\Rightarrow x+2 = 2x+10 \Rightarrow x = -8$$

$$\text{Donc : } x \neq -8 \Rightarrow \frac{x+2}{x+5} \neq 2$$

**Exercice 19 :** Soit  $n \in \mathbb{N}$ . Montrer que si  $n^2$  est pair alors  $n$  est pair.

**Solution :** Nous supposons que  $n$  n'est pas pair

Nous voulons montrer qu'alors  $n^2$  n'est pas pair

Comme  $n$  n'est pas pair il est impair et donc il existe

$k \in \mathbb{N}$  tel que  $n = 2k + 1$ .

$$\text{Alors } n^2 = (2k + 1)^2 = 4k^2 + 4k + 1 = 2(2k^2 + 2k) + 1 = 2k' + 1$$

avec  $k' = 2k^2 + 2k \in \mathbb{N}$ .

Et donc  $n^2$  est impair.

Conclusion : nous avons montré que si  $n$  est impair alors

$n^2$  est impair. Par contraposition ceci est équivalent à : si

$n^2$  est pair alors  $n$  est pair.

**Exercice 20 :**  $x \in \mathbb{R}; y \in \mathbb{R}$

Montrer que :  $x \neq y \Rightarrow (x+1)(y-1) \neq (x-1)(y+1)$

**Solution :** Utilisons un Raisonnement par contraposition :

Montrons que :  $(x+1)(y-1) = (x-1)(y+1) \Rightarrow x = y$  ??

$$\text{On a : } (x+1)(y-1) = (x-1)(y+1) \Rightarrow$$

$$xy - x + y - 1 = xy + x - y - 1$$

$$\Rightarrow -2x = -2y \Rightarrow x = y$$

$$\text{Donc : } x \neq y \Rightarrow (x+1)(y-1) \neq (x-1)(y+1)$$

**Exercice 21 :** Soit  $n \in \mathbb{N}$  et  $p \in \mathbb{N}$

Montrer que  $n \times p$  est pair ou  $n^2 - p^2$  est un multiple de 8 .

**Solution :**

- Si  $n$  ou  $p$  sont pairs alors  $n \times p$  est pair

- Si  $n$  ou  $p$  sont impairs alors

$$n = 2k + 1 \text{ et } p = 2k' + 1 \text{ avec } k \in \mathbb{N}; k' \in \mathbb{N}$$

$$\text{Donc } n^2 - p^2 = (2k + 1)^2 - (2k' + 1)^2$$

$$n^2 - p^2 = 4(k(k+1) - k'(k'+1)) \text{ et on a : } m(m+1)$$

est pair

$$n^2 - p^2 = 4(2\alpha - 2\beta) = 8(\alpha - \beta) = 8k'' \text{ donc } n^2 - p^2$$

est un multiple de 8 .

**Exercice 22 :** Soient  $a > 0$  et  $b > 0$  Montrer que si

$$\frac{a}{1+b} = \frac{b}{1+a} \text{ alors } a = b.$$

**Solution :** Nous raisonnons par l'absurde en supposant que

$$\frac{a}{1+b} = \frac{b}{1+a} \text{ et } a \neq b.$$

$$\text{Comme } \frac{a}{1+b} = \frac{b}{1+a} \text{ alors } a(1+a) = b(1+b) \text{ donc}$$

$$a + a^2 = b + b^2 \text{ d'où } a^2 - b^2 = b - a. \text{ Cela conduit à}$$

$$(a-b)(a+b) = -(a-b) \text{ Comme } a \neq b \text{ alors } a-b \neq 0 \text{ et}$$

donc en divisant par  $a-b$  on obtient :

$a+b = -1$ . La somme des deux nombres positifs  $a$  et  $b$  ne peut être négative. Nous obtenons une contradiction.

$$\text{Conclusion : si } \frac{a}{1+b} = \frac{b}{1+a} \text{ alors } a = b.$$

**Exercice 23 :** Soit  $f$  la fonction numérique définie sur  $\mathbb{R}$

$$\text{par : } f(x) = x^2 + 2x$$

Montrer qu'il n'existe pas de nombre positif  $M$  tel que :

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

**Solution :** Nous raisonnons par l'absurde en supposant

qu'il existe un nombre positif  $M$  tel que :  $\forall x \in \mathbb{R} \text{ on a :}$

$$f(x) \leq M$$

$$f(x) \leq M \Rightarrow x^2 + 2x \leq M \Rightarrow x^2 + 2x + 1 \leq M + 1$$

$$\Rightarrow (x+1)^2 \leq M + 1 \Rightarrow \sqrt{(x+1)^2} \leq \sqrt{M + 1} \Rightarrow$$

$$|x+1| \leq \sqrt{M + 1}$$

$$\Rightarrow -\sqrt{M + 1} \leq x + 1 \leq \sqrt{M + 1} \Rightarrow$$

$$-\sqrt{M + 1} - 1 \leq x \leq \sqrt{M + 1} - 1 \quad \forall x \in \mathbb{R}$$

Nous obtenons une contradiction car il suffit de prendre :

$$x = \sqrt{M + 1}$$

Donc notre supposition est fausse donc : il n'existe pas de nombre positif  $M$  tel que :  $\forall x \in \mathbb{R}$  on a :  $f(x) \leq M$

**Exercice 24 :** Montrer que :  $\sqrt{2} \notin \mathbb{Q}$

**Solution :** Nous raisonnons par l'absurde en supposant que  $\sqrt{2} \in \mathbb{Q}$

Donc il existe  $a \in \mathbb{N}$  et  $b \in \mathbb{N}^*$  ; tel que  $\sqrt{2} = \frac{a}{b}$  avec

$$a \wedge b = 1$$

$$\sqrt{2} = \frac{a}{b} \Rightarrow a = b\sqrt{2} \Rightarrow a^2 = (b\sqrt{2})^2$$

$$\Rightarrow a^2 = 2b^2 \Rightarrow a^2 \text{ est pair} \Rightarrow a \text{ est pair}$$

$$\text{Et on a : } \sqrt{2} = \frac{a}{b} \Rightarrow a^2 = 2b^2 \Rightarrow 4k^2 = 2b^2 \Rightarrow$$

$$2k^2 = b^2$$

$$\Rightarrow b^2 \text{ est pair} \Rightarrow b \text{ est pair}$$

Donc on a :  $\sqrt{2} = \frac{a}{b}$  avec  $a$  est pair et  $b$  est pair

Cad :  $a \wedge b \neq 1$  Nous obtenons une contradiction

Donc notre supposition est fausse donc  $\sqrt{2} \notin \mathbb{Q}$

**Exercice 25 :** (Contraposée ou absurde)

Soient  $a; b \in \mathbb{Q}$

$$1) \text{ Montrer que : } a + b\sqrt{2} = 0 \Rightarrow a = b = 0$$

$$2) \text{ en déduire que : } a + b\sqrt{2} = a' + b'\sqrt{2} \Rightarrow a = a' \text{ et } b = b'$$

**Solution :1)** Nous raisonnons par l'absurde en supposant que  $b \neq 0$

$$a + b\sqrt{2} = 0 \Rightarrow b\sqrt{2} = -a \Rightarrow -\frac{a}{b} = \sqrt{2}$$

Or  $a; b \in \mathbb{Q}$  donc  $-\frac{a}{b} \in \mathbb{Q}$  mais on sait que  $\sqrt{2} \notin \mathbb{Q}$

Nous obtenons donc une contradiction

Donc  $b = 0$  et puisque :  $a + b\sqrt{2} = 0$  alors  $a = 0$

2) supposons que :  $a + b\sqrt{2} = a' + b'\sqrt{2}$  donc

$$a - a' + b\sqrt{2} - b'\sqrt{2} = 0$$

donc  $a - a' + \sqrt{2}(b - b') = 0$  et d'après 1) on aura :

$$a - a' = 0 \text{ et } b - b' = 0$$

donc  $a = a'$  et  $b = b'$

**Exercice 26 :** (absurde)

On considère l'ensemble :  $A = \{1; 2; 3; 4; \dots; n\}$  avec  $n$  un nombre entier impair

Et soient  $x_1 ; x_2 ; x_3 ; x_4 ; \dots ; x_n$  des éléments de

l'ensemble  $A$  distincts deux à deux

Montrer que :  $\exists i \in A / x_i - i$  est pair

**Solution :** Nous raisonnons par l'absurde en supposant que :

$$\forall i \in A / x_i - i \text{ est impair}$$

On a donc :

$$S = (x_1 - 1) + (x_2 - 2) + (x_3 - 3) + \dots + (x_n - n) \text{ un}$$

nombre entier impair

Car c'est la somme d'un nombre impair de nombres impairs

Or :

$$S = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) - (1 + 2 + 3 + \dots + n) = 0$$

est 0 est pair

Nous obtenons donc une contradiction donc :

$$\exists i \in A / x_i - i \text{ est pair}$$

**Exercice 27 :** Montrer que La proposition

$P: (\forall x \in [0;1]) : x^2 \geq x$  est fausse :

**Solution :** sa négation est :  $\bar{P}: (\exists x \in [0;1]) : x^2 < x$

On posant :  $x = \frac{1}{2}$  on aura :  $\left(\frac{1}{2}\right)^2 < \frac{1}{2}$  donc La proposition

$\bar{P}$  est vraie donc  $P$  est fausse

**Exercice 28 :** Montrer que La proposition

$P: (\forall x \in \mathbb{R})(\forall y \in \mathbb{R}) : x^2 + y^2 \geq x + y$  est fausse :

**Solution :** sa négation est :

$$\bar{P}: (\exists x \in \mathbb{R})(\exists y \in \mathbb{R}) : x^2 + y^2 < x + y$$

On posant :  $x = 1$  et  $y = \frac{1}{2}$  on aura :  $1^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 < 1 + \frac{1}{2}$

c a d  $\frac{5}{4} < \frac{6}{4}$  donc La proposition  $\bar{P}$  est vraie

donc  $P$  est fausse

**Exercice 29 :** Montrer que La proposition

$P: (\forall (a; b) \in \mathbb{R}^2) : \sqrt{a^2 + b^2} = a + b$  est fausse :

**Solution :** sa négation est :

$$\bar{P}: (\exists (a; b) \in \mathbb{R}^2) : \sqrt{a^2 + b^2} \neq a + b$$

On posant :  $a = 4$  et  $b = 3$  on aura :

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{16 + 9} = \sqrt{25} = 5 \text{ et } a + b = 4 + 3 = 7 \text{ donc La}$$

proposition  $\bar{P}$  est vraie donc  $P$  est fausse

**Exercice 30 :** Montrer que La proposition suivante est fausse :

« Tout entier positif est somme de trois carrés »

(Les carrés sont les  $0^2, 1^2, 2^2, 3^2, \dots$  Par exemple

$$6 = 1^2 + 1^2 + 2^2.)$$

Démonstration. Un contre exemples : les carrés inférieurs à 7 sont 0, 1, 4 mais avec trois de ces nombres on ne peut faire 7.

**Exercice 31 :** Montrer que La proposition

$P: (\forall x \in \mathbb{R}^*) : x + \frac{1}{x} \geq 2$  est fausse :

**Solution :** sa négation est :  $\bar{P} : (\exists x \in \mathbb{R}^*) : x + \frac{1}{x} < 2$

On posant :  $x = -1$  on aura :  $-1 + \frac{1}{-1} = -2 < 2$  donc La

proposition  $\bar{P}$  est vraie donc  $P$  est fausse

**Exercice 32 :** on considère la fonction  $f$  définie sur  $\mathbb{R}$  par :

$f(x) = 2x^2 - x + 3$  Montrer que :  $f$  n'est ni pair ni impair

**Solution :**  $f$  n'est pas pair ssi  $(\exists x \in \mathbb{R}) : f(-x) \neq f(x)$

$f$  n'est pas impair ssi  $(\exists x \in \mathbb{R}) : f(-x) \neq -f(x)$

On a en effet :  $f(1) = 4$  et  $f(-1) = 6$  donc

$f(-1) \neq -f(1)$  et  $f(-1) \neq f(1)$

Donc  $f$  n'est ni pair ni impair

**Exercice 33 :** Montrer que La proposition

$P : \forall (a; b; c; d) \in \mathbb{R}^4 ; \begin{cases} a \neq b \\ c \neq d \end{cases} \Rightarrow a + c \neq b + d$  est fausse :

**Solution :** sa négation est :  $\bar{P} : \exists (a; b; c; d) \in \mathbb{R}^4 ; \begin{cases} a \neq b \\ c \neq d \end{cases}$  et

$a + c = b + d$

On a :  $2 \neq 3$  et  $1 \neq 0$  et  $2 + 1 = 3 + 0$

donc La proposition  $\bar{P}$  est vraie donc  $P$  est fausse

**Exercice 34 :** Montrer que La proposition

$P : (\forall x \in \mathbb{R})(\exists y \in \mathbb{R}) : x^2 - xy + y^2 = 0$  est fausse

**Solution :** sa négation est :

$\bar{P} : (\exists x \in \mathbb{R})(\forall y \in \mathbb{R}) : x^2 - xy + y^2 \neq 0$

On posant :  $x = 1$  on aura :  $1 - y + y^2$  c a d  $y^2 - y + 1$

$\Delta = (-1)^2 - 4 = -3 < 0$  donc :  $y^2 - y + 1 > 0$  donc :

$y^2 - y + 1 \neq 0$

donc La proposition  $\bar{P}$  est vraie donc  $P$  est fausse

**Exercice 35 :**  $\forall x > 0 \quad x + \frac{1}{x} \geq 2$

**Solution :**  $x + \frac{1}{x} \geq 2 \Leftrightarrow \frac{x^2 + 1}{x} \geq 2 \Leftrightarrow \frac{x^2 + 1}{x} - 2 \geq 0$

$\Leftrightarrow \frac{x^2 + 1}{x} - 2 \geq 0 \Leftrightarrow \frac{x^2 + 1 - 2x}{x} \geq 0$

$\Leftrightarrow \frac{x^2 + 1 - 2x}{x} \geq 0 \Leftrightarrow \frac{(x - 1)^2}{x} \geq 0$

et puisque on a :  $\frac{(x - 1)^2}{x} \geq 0$  donc  $\forall x > 0 \quad x + \frac{1}{x} \geq 2$

**Exercice 36 :** soit  $x \in \mathbb{R}$  Montrer que :

$|x - 1| \leq \frac{1}{2} \Leftrightarrow \frac{2}{5} \leq \frac{1}{x + 1} \leq \frac{2}{3}$

**Solution :**

$|x - 1| \leq \frac{1}{2} \Leftrightarrow -\frac{1}{2} \leq x - 1 \leq \frac{1}{2} \Leftrightarrow -\frac{1}{2} + 2 \leq x - 1 + 2 \leq \frac{1}{2} + 2$

$\Leftrightarrow \frac{3}{2} \leq x + 1 \leq \frac{5}{2} \Leftrightarrow \frac{2}{5} \leq \frac{1}{x + 1} \leq \frac{2}{3}$

**Exercice 37 :** résoudre dans  $\mathbb{R}$  l'équation (E) :

$\sqrt{x^2 + 1} = 2x$

soit  $S$  l'ensemble des solution de l'équation (E)

**Solution :**

**Methode1 :**  $x \in S \Rightarrow \sqrt{x^2 + 1} = 2x \Rightarrow \sqrt{x^2 + 1}^2 = (2x)^2$

$\Rightarrow x^2 + 1 = 4x^2 \Rightarrow 3x^2 = 1 \Rightarrow x^2 = \frac{1}{3} \Rightarrow x = \frac{\sqrt{3}}{3}$  ou  $x = -\frac{\sqrt{3}}{3}$

Remarque : on ne peut pas affirmer que :

$x = \frac{\sqrt{3}}{3}$  et  $x = -\frac{\sqrt{3}}{3}$  sont les solutions de l'équation

Et inversement on a :  $\sqrt{\left(-\frac{\sqrt{3}}{3}\right)^2 + 1} = \sqrt{\frac{1}{3} + 1} = \frac{2\sqrt{3}}{3} \neq -\frac{2\sqrt{3}}{3}$

Donc :  $-\frac{\sqrt{3}}{3} \notin S$  et on a :  $\sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)^2 + 1} = \sqrt{\frac{1}{3} + 1} = \frac{2\sqrt{3}}{3}$

**Methode2 :**  $x \in S \Leftrightarrow \sqrt{x^2 + 1} = 2x$  et  $x \geq 0 \Leftrightarrow$

$\sqrt{x^2 + 1}^2 = (2x)^2$

$\Leftrightarrow x^2 + 1 = 4x^2$  et  $x \geq 0 \Leftrightarrow x^2 = \frac{1}{3}$  et  $x \geq 0$

$\Leftrightarrow (x = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ ou } x = -\frac{\sqrt{3}}{3})$  et  $x \geq 0$

Donc :  $S = \left\{ \frac{\sqrt{3}}{3} \right\}$

**Exercice 38 :**  $x \in \mathbb{R}$  et  $y \in \mathbb{R}$

Montrer que :  $|x - y| \leq 2\sqrt{x^2 + y^2 + xy}$

**Solution :**  $x \in \mathbb{R}$  et  $y \in \mathbb{R}$

$|x - y| \leq 2\sqrt{x^2 + y^2 + xy} \Leftrightarrow |x - y|^2 \leq (2\sqrt{x^2 + y^2 + xy})^2$

$\Leftrightarrow x^2 - 2xy + y^2 \leq 4x^2 + 4y^2 + 4xy$

$\Leftrightarrow 3x^2 + 3y^2 + 6xy \geq 0$

$\Leftrightarrow 3(x^2 + 2xy + y^2) \geq 0 \Leftrightarrow x^2 + 2xy + y^2 \geq 0$

$\Leftrightarrow (x + y)^2 \geq 0$

On sait que  $(x + y)^2 \geq 0$  (vraie)



Donc :  $\forall x \in \mathbb{R}$  et  $\forall y \in \mathbb{R} : |x - y| \leq 2\sqrt{x^2 + y^2 + xy}$

**Exercice 39 :** 1) Montrer que :

$$\left( \forall (a; b) \in (\mathbb{R}^+)^2 \right) : a + b = 0 \Leftrightarrow a = 0 \text{ et } b = 0$$

2)  $x \in \mathbb{R}$  et  $y \in \mathbb{R}$  Montrer que:

$$\sqrt{x^2 + 1} + \sqrt{y^2 + 1} = 2 \Leftrightarrow x = y = 0$$

**Solution :** 1)a)  $\Rightarrow \left( \forall (a; b) \in (\mathbb{R}^+)^2 \right) : a + b = 0 \Rightarrow a = 0$

et  $b = 0$

Supposons que ;  $a + b = 0$  et  $(a \neq 0 \text{ ou } b \neq 0)$  et  $(a; b) \in (\mathbb{R}^+)^2$

Donc  $a + b > 0$  contradiction par suite  $a = 0$  et  $b = 0$

b)  $\Leftarrow$  inversement si  $a = 0$  et  $b = 0$  alors on aura  $a + b = 0$

donc :  $\left( \forall (a; b) \in (\mathbb{R}^+)^2 \right) : a + b = 0 \Leftrightarrow a = 0 \text{ et } b = 0$

2)  $x \in \mathbb{R}$  et  $y \in \mathbb{R}$

$$\sqrt{x^2 + 1} + \sqrt{y^2 + 1} = 2 \Leftrightarrow \sqrt{x^2 + 1} + \sqrt{y^2 + 1} - 2 = 0$$

$$\Leftrightarrow (\sqrt{x^2 + 1} - 1) + (\sqrt{y^2 + 1} - 1) = 0 \text{ or } \sqrt{x^2 + 1} - 1 \geq 0 \text{ et } \sqrt{y^2 + 1} - 1 \geq 0$$

$$\sqrt{y^2 + 1} - 1 \geq 0$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{x^2 + 1} - 1 = 0 \text{ et } \sqrt{y^2 + 1} - 1 = 0 \Leftrightarrow \sqrt{x^2 + 1} = 1 \text{ et } \sqrt{y^2 + 1} = 1$$

$$\Leftrightarrow x^2 + 1 = 1 \text{ et } y^2 + 1 = 1 \Leftrightarrow x^2 = 0 \text{ et } y^2 = 0 \Leftrightarrow x = 0 \text{ et } y = 0$$

et  $y = 0$

$$\text{Donc : } \sqrt{x^2 + 1} + \sqrt{y^2 + 1} = 2 \Leftrightarrow x = y = 0$$

**Exercice 40 :** Montrer que :  $\forall n \in \mathbb{N}; 3^n \geq 1 + 2n$  .

**Solution :** notons P(n) La proposition suivante :

$\forall n \in \mathbb{N}; 3^n \geq 1 + 2n$  . Nous allons démontrer par récurrence que P(n) est vraie pour tout  $n \in \mathbb{N}$  .

1étapes : l'initialisation : Pour  $n=0$  nous avons  $3^0 \geq 1 + 2 \times 0$  donc  $1 \geq 1$  .

Donc P (0) est vraie.

2étapes : d'hérédité ou Hypothèse de récurrence :

Supposons que P(n) soit vraie c'est-à-dire :  $3^n \geq 1 + 2n$

3étapes : Nous allons montrer que P(n+1) est vraie.

Montrons alors que :  $3^{n+1} \geq 1 + 2(n + 1)$  ?? c'est-à-dire

Montrons que  $3^{n+1} \geq 2n + 3$  ??

On a :  $3^n \geq 1 + 2n$  d'après l'hypothèse de récurrence donc  $3^n \times 3 \geq 3 \times (1 + 2n)$

$$\text{donc : } 3^{n+1} \geq 6n + 3$$

Or on remarque que :  $6n + 3 \geq 2n + 3$  (on pourra faire la différence  $(6n + 3) - (2n + 3) = 4n \geq 0$ )

$$\text{donc : on a } 6n + 3 \geq 2n + 3 \text{ et } 3^{n+1} \geq 6n + 3 \text{ donc } 3^{n+1} \geq 2n + 3$$

Donc P(n+1) est vraie.

Conclusion. Par le principe de récurrence P(n) est vraie pour tout  $n > 0$ , c'est-à-dire  $\forall n \in \mathbb{N}; 3^n \geq 1 + 2n$  .

**Exercice 41 :** (Récurrence) Montrer que pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$  ,

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n \times (n + 1)}{2} .$$

**Solution :** notons P(n) La proposition

Nous allons démontrer par récurrence que P(n) est vraie pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$  .

1étapes : l'initialisation : Pour  $n=1$  nous avons

$$1 = \frac{1 \times (1 + 1)}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ donc } 1 = 1 .$$

Donc P(0) est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que P(n) soit vraie c'est-

$$\text{à-dire : } 1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n \times (n + 1)}{2}$$

3étapes : Nous allons montrer que P(n+1) est vraie.

Montrons alors que :

$$1 + 2 + 3 + \dots + n + (n + 1) = \frac{(n + 1) \times (n + 2)}{2} \quad ??$$

$$\text{On a : } 1 + 2 + 3 + \dots + n + (n + 1) = (1 + 2 + 3 + \dots + n) + (n + 1)$$

et on a d'après l'hypothèse de récurrence:

$$1 + 2 + 3 + \dots + n + (n + 1) = \frac{(n + 1) \times (n + 2)}{2}$$

donc

$$1 + 2 + 3 + \dots + n + (n + 1) = \frac{n \times (n + 1)}{2} + (n + 1) = (n + 1) \left( \frac{n}{2} + 1 \right) = \frac{(n + 1)(n + 2)}{2}$$

Donc P(n+1) est vraie.

Conclusion: Par le principe de récurrence on a :

$$\forall n \in \mathbb{N}^*; 1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n \times (n + 1)}{2}$$

**Exercice 42 :** Montrer par récurrence que : pour tout entier  $n \geq 5$  :  $2^n \geq 6n$

**Solution :** notons P(n) La proposition : «  $2^n \geq 6n$  »

1étapes : Initialisation : Pour  $n = 5$  :  $2^5 = 32$  et

$$6 \times 5 = 30 \text{ donc } 2^5 \geq 6 \times 5$$

Donc P(5) est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que P(n) soit vraie c'est-à-dire :  $2^n \geq 6n$

3étapes : Nous allons montrer que P(n+1) est vraie.

Montrons alors que :  $2^{n+1} \geq 6(n+1)$  ??

Or, puisque  $2^n \geq 6n$  (d'après l'hypothèse de récurrence)

Donc :  $2^n \times 2 \geq 6n \times 2$  donc  $2^{n+1} \geq 12n$  (1)

Or on remarque que :  $12n \geq 6(n+1)$  (2)

En effet :  $12n - 6(n+1) = 6n - 6 \geq 0$

Car :  $n \geq 5$  donc  $6n \geq 30$  donc  $6n - 6 \geq 24 \geq 0$

On conclut par récurrence que : Pour tout  $n \geq 5$  :

$$2^n \geq 6n$$

**Exercice 43 :** Montrer que :  $\forall n \in \mathbb{N}; n^3 + 2n$  est divisible par 3

**Solution :** montrons  $\exists k \in \mathbb{N} / n^3 + 2n = 3k$

1étapes : l'initialisation : Pour  $n=0$  nous avons

$$0^3 + 2 \times 0 = 0 \text{ est un multiple de } 3$$

Donc  $P(0)$  est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que  $P(n)$  soit vraie

c'est-à-dire :  $\exists k \in \mathbb{N} / n^3 + 2n = 3k$

3étapes : Nous allons montrer que  $P(n+1)$  est vraie.

Montrons alors que :

$$\exists k' \in \mathbb{N} / (n+1)^3 + 2(n+1) = 3k' ??$$

$$(n+1)^3 + 2(n+1) = n^3 + 3n^2 + 3n + 1 + 2n + 2 =$$

$$= (n^3 + 2n) + 3n^2 + 3n + 3 = 3k + 3(n^2 + n + 1) = 3(k + n^2 + n + 1)$$

$$= 3(k + n^2 + n + 1) = 3k' \text{ avec } k' = k + n^2 + n + 1$$

Donc  $P(n+1)$  est vraie.

Conclusion. Par le principe de récurrence on a :

$$\forall n \in \mathbb{N}; n^3 + 2n \text{ est divisible par } 3$$

**Exercice 44 :** (Récurrence) Montrer que pour tout

$n \in \mathbb{N}^*$  :

$$\sum_{k=1}^n k^2 = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{n \times (n+1) \times (2n+1)}{6}.$$

**Solution :** notons  $P(n)$  La proposition

Nous allons démontrer par récurrence que  $P(n)$  est vraie

pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$ .

1étapes : l'initialisation : Pour  $n=1$  nous avons

$$1^2 = \frac{1 \times (1+1) \times (2+1)}{6} = \frac{1 \times 2 \times 3}{6} = 1$$

donc  $1 = 1$ . Donc  $P(0)$  est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que  $P(n)$  soit vraie c'est-

$$\text{à-dire : } \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{n \times (n+1) \times (2n+1)}{6}$$

3étapes : Nous allons montrer que  $P(n+1)$  est vraie.

Montrons alors que :

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 + (n+1)^2 = \frac{(n+1) \times (n+2) \times (2n+3)}{6} ??$$

$$\text{On a : } 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 + (n+1)^2 = (1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2) + (n+1)^2$$

$$\text{et on a : } 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{n \times (n+1) \times (2n+1)}{6} \text{ d'après}$$

l'hypothèse de récurrence donc

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 + (n+1)^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + (n+1)^2$$

$$= (n+1) \left( \frac{n(2n+1)}{6} + (n+1) \right) = (n+1) \left( \frac{n(2n+1) + 6(n+1)}{6} \right)$$

$$= (n+1) \left( \frac{2n^2 + 7n + 6}{6} \right)$$

$$\text{Et on remarque que : } 2n^2 + 7n + 6 = (n+2)(2n+3)$$

$$\text{Donc : } 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 + (n+1)^2 = \frac{(n+1) \times (n+2) \times (2n+3)}{6}$$

Donc  $P(n+1)$  est vraie.

Conclusion. Par le principe de récurrence on a :

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{n \times (n+1) \times (2n+1)}{6}$$

**Exercice 45 :** (Récurrence) Montrer que pour tout

$n \in \mathbb{N}^*$  :

$$\sum_{k=1}^n k^3 = 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3 = \frac{n^2 \times (n+1)^2}{4}.$$

**Solution :** notons  $P(n)$  La proposition

Nous allons démontrer par récurrence que  $P(n)$  est vraie

pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$ .

1étapes : l'initialisation : Pour  $n=1$  nous avons

$$1^3 = \frac{1^2 \times (1+1)^2}{4} = 1$$

donc  $1 = 1$ . Donc  $P(0)$  est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que  $P(n)$  soit vraie c'est-

$$\text{à-dire : } \sum_{k=1}^n k^3 = \frac{n^2 \times (n+1)^2}{4}$$

3étapes : Nous allons montrer que  $P(n+1)$  est vraie.

Montrons alors que :

$$\sum_{k=1}^{n+1} k^3 = \frac{(n+1)^2 \times (n+2)^2}{4} = \left( \frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2 ??$$

$$\text{On a : } \sum_{k=1}^{n+1} k^3 = \sum_{k=1}^n k^3 + (n+1)^3$$

$$\text{et on a : } \sum_{k=1}^n k^3 = \frac{n^2 \times (n+1)^2}{4} \text{ d'après l'hypothèse de}$$

récurrence donc

$$\sum_{k=1}^{n+1} k^3 = \frac{n^2 \times (n+1)^2}{4} + (n+1)^3 = (n+1)^2 \left( \frac{n^2}{4} + n + 1 \right) = (n+1)^2 \left( \frac{n^2 + 4n + 4}{4} \right)$$



$$= (n+1)^2 \frac{(n+2)^2}{4} = (n+1)^2 \frac{(n+2)^2}{2^2} = \left( \frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2$$

Donc P(n+1) est vraie.

Conclusion. Par le principe de récurrence on a :  $n \in \mathbb{N}^*$  :

$$\sum_{k=1}^n k^3 = \frac{n^2 \times (n+1)^2}{4}.$$

**Exercice 46 :** (Récurrence) Montrer que pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$  :

$$\sum_{k=1}^{k=n} (2k+1) = 1+3+5+\dots+(2n+1) = (n+1)^2.$$

**Solution :** notons P(n) La proposition

Nous allons démontrer par récurrence que P(n) est vraie pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$ .

1étapes : l'initialisation : Pour  $n=1$  nous avons  $1+3=4$  et  $(1+1)^2 = 4$  donc  $4=4$ .

Donc P(0) est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que P(n) soit vraie c'est-

$$\text{à-dire : } \sum_{k=1}^{k=n} (2k+1) = (n+1)^2$$

3étapes : Nous allons montrer que P(n+1) est vraie.

Montrons alors que :

$$\sum_{k=1}^{k=n+1} (2k+1) = 1+3+5+\dots+(2n+1)+(2n+3) = (n+2)^2$$

??

$$\text{On a : } \sum_{k=1}^{k=n+1} (2k+1) = \sum_{k=1}^{k=n} (2k+1) + (2n+3)$$

et on a d'après l'hypothèse de récurrence:

$$\sum_{k=1}^{k=n} (2k+1) = (n+1)^2$$

donc

$$\sum_{k=1}^{k=n+1} (2k+1) = (n+1)^2 + (2n+3) = n^2 + 2n + 1 + 2n + 3 = n^2 + 4n + 4$$

$$\text{donc } \sum_{k=1}^{k=n+1} (2k+1) = (n+2)^2 \text{ donc P(n+1) est vraie.}$$

Conclusion: Par le principe de récurrence on a :

$$\sum_{k=1}^{k=n} (2k+1) = (n+1)^2 \quad \forall n \in \mathbb{N}^*$$

**Exercice 47 :** Montrer que :  $\forall n \in \mathbb{N}; 4^n + 6n - 1$  est divisible par 9

**Solution :** montrons que :  $\exists k \in \mathbb{N} / 4^n + 6n - 1 = 9k$

1étapes : l'initialisation : Pour  $n=0$  nous avons

$$4^0 + 6 \times 0 - 1 = 0 \text{ est un multiple de 9}$$

Donc P(0) est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que P(n) soit vraie

c'est-à-dire :  $\exists k \in \mathbb{N} / 4^n + 6n - 1 = 9k$  donc

$$4^n = 9k - 6n + 1$$

3étapes : Nous allons montrer que P(n+1) est vraie.

Montrons alors que :

$$\exists k' \in \mathbb{N} / 4^{n+1} + 6(n+1) - 1 = 9k' ??$$

$$4^{n+1} + 6(n+1) - 1 = 4 \times 4^n + 6n + 6 - 1$$

$$= 4 \times (9k - 6n + 1) + 6n + 6 - 1 = 36k + 4 - 24n + 6n + 6 - 1$$

$$= 36k + 9 - 18n = 9(4k + 1 - 2n) = 9k'$$

avec  $k' = 4k + 1 - 2n$

Donc P(n+1) est vraie.

Conclusion. Par le principe de récurrence on a :

$$\forall n \in \mathbb{N}; 4^n + 6n - 1 \text{ est divisible par 9}$$

**Exercice 48 :** Montrer que :  $\forall n \in \mathbb{N}; 7^n - 1$  est divisible par 6

**Solution :** 1étapes : l'initialisation : Pour  $n=0$  nous avons

$$7^0 - 1 = 0 \text{ est un multiple de 6}$$

Donc P(0) est vraie.

2étapes : d'hérédité : Supposons que P(n) soit vraie

$$\text{c'est-à-dire : } \exists k \in \mathbb{N} / 7^n - 1 = 6k$$

3étapes : Nous allons montrer que P(n+1) est vraie.

Montrons alors que :  $\exists k' \in \mathbb{N} / 7^{n+1} - 1 = 6k' ??$

$$7^{n+1} - 1 = 7 \times 7^n - 1 = 7^n \times (6+1) - 1 = 6 \times 7^n + 7^n - 1 = 6 \times 7^n + 6k$$

$$7^{n+1} - 1 = 6(7^n + k) = 6k' \quad \text{avec } k' = 7^n + k$$

Donc P(n+1) est vraie.

Conclusion. Par le principe de récurrence on a :

$$\forall n \in \mathbb{N}; 7^n - 1 \text{ est divisible par 6}$$

**Erreur classique dans les récurrences**

**Exercice 49 :** Pour tout entier naturel n, on considère les deux propriétés suivantes :

P(n) :  $10^n - 1$  est divisible par 9

Q(n) :  $10n + 1$  est divisible par 9

1) Démontrer que si P(n) est vraie alors P(n+1) est vraie.

2) Démontrer que si Q(n) est vraie alors Q(n+1) est vraie.

3) Un élève affirme : " Donc P(n) et Q(n) sont vraies pour tout entier naturel n.

Expliquer pourquoi il commet une erreur grave.

4) Démontrer que P(n) est vraie pour tout entier naturel n.

5) Démontrer que Q(n) est fausse pour tout entier naturel n.

On pourra utiliser un raisonnement par l'absurde.

**Exercice 50 :** Soit P(n) la propriété dénie sur  $\mathbb{N}$  par :

$$7^n - 1 \text{ Est divisible par 3}$$

1) Démontrer que si P(n) est vraie alors P(n+1) est vraie.

2) Que peut-on conclure

**Exercice 51 :**  $a \in \mathbb{R}$  et  $b \in \mathbb{R}$  tel que :  $a \in ]-1; 1[$  et  $b \in ]-1; 1[$

Montrer que :  $-1 < \frac{a+b}{1+ab} < 1$

**Solution :**  $-1 < \frac{a+b}{1+ab} < 1 \Leftrightarrow \left| \frac{a+b}{1+ab} \right| < 1 \Leftrightarrow |a+b| < |1+ab|$

$$\Leftrightarrow |a+b|^2 < |1+ab|^2 \Leftrightarrow a^2 + b^2 + 2ab < 1 + a^2b^2 + 2ab$$

$$\text{Donc : } -1 < \frac{a+b}{1+ab} < 1 \Leftrightarrow (a^2 - 1)(1 - b^2) < 0$$

$$\text{Donc : } a \in ]-1; 1[ \text{ et } b \in ]-1; 1[ \Rightarrow -1 < a < 1 \text{ et } -1 < b < 1$$

$$\Rightarrow |a| < 1 \text{ et } |b| < 1 \Rightarrow a^2 < 1 \text{ et } b^2 < 1 \Rightarrow a^2 - 1 < 0 \text{ et }$$

$$1 - b^2 > 0$$

$$\Rightarrow (a^2 - 1)(1 - b^2) < 0$$

$$\text{Donc : } a \in ]-1; 1[ \text{ et } b \in ]-1; 1[ \Rightarrow -1 < \frac{a+b}{1+ab} < 1$$

**Exercice 52 :** Traduisez les propositions suivantes en langage courant puis déterminer sa négation et la valeur de vérité :

1)  $P : (\forall x \in \mathbb{R}); (\exists y \in \mathbb{R}) : x > y$

2)  $P : (\exists x \in \mathbb{R}); (\forall y \in \mathbb{R}) : x > y$

3)  $P : (\forall x \in \mathbb{R}); x^2 \geq 4 \Rightarrow x \geq 2$

4)  $P : (\exists x \in \mathbb{R}); x^2 = 4$

5)  $P : (\forall \varepsilon > 0); \left( \exists x \in \left\{ 1 + \frac{1}{n}; n \in \mathbb{N}^* \right\} \right) / x < \varepsilon + 10$

**Solution :**

1) Pour tout  $x$  appartenant à  $\mathbb{R}$  il existe au moins un  $y$  appartenant à  $\mathbb{R}$  tel que  $x$  est supérieur strictement à  $y$  et  $\bar{P} : (\exists x \in \mathbb{R}); (\forall y \in \mathbb{R}) : x \leq y$

$P : (\forall x \in \mathbb{R}); (\exists y \in \mathbb{R}) : x > y$  Est une proposition vraie car lorsque je prends  $x$  je peux trouver  $y$  il suffit de prendre :  $y = x - 1$

2) il existe au moins un  $y$  appartenant à  $\mathbb{R}$  tel que Pour tout  $x$  appartenant à  $\mathbb{R}$  on a  $x$  est supérieur strictement à  $y$  et  $\bar{P} : (\forall x \in \mathbb{R}); (\exists y \in \mathbb{R}) : x \leq y$

$P$  est une proposition fausse car lorsque je prends  $x$  je peux toujours donner à  $y$  la valeur :  $y = x + 1$

3)  $P : (\forall x \in \mathbb{R}); x^2 \geq 4 \Rightarrow x \geq 2$

Pour tout  $x$  appartenant à  $\mathbb{R}$  si  $x^2$  est supérieur ou égal à 4 alors  $x$  est supérieur ou égal à 2

$$\bar{P} : (\exists x \in \mathbb{R}); x^2 \geq 4 \text{ et } x < 2$$

$P$  est une proposition fausse car lorsque je prends

$$x = -2 \text{ on a } (-2)^2 \geq 4 \text{ et } -2 < 2$$

4)  $P : (\exists x \in \mathbb{R}); x^2 = 4$

il existe au moins un  $y$  appartenant à  $\mathbb{R}$  tel que  $x^2$  est égal à 4

$$\bar{P} : (\forall x \in \mathbb{R}); x^2 \neq 4$$

$P$  une proposition vraie car il suffit de prendre :  $x = 2$

5)  $P : (\forall \varepsilon > 0); \left( \exists x \in \left\{ 1 + \frac{1}{n}; n \in \mathbb{N}^* \right\} \right) / x < \varepsilon + 10$

Pour tout  $\varepsilon$  supérieur strictement à 0 il existe au moins un

$x$  qui s'écrit sous la forme  $1 + \frac{1}{n}$  avec  $n \in \mathbb{N}^*$  tel que  $x$  est inférieur strictement à  $\varepsilon + 10$

$$\bar{P} : (\exists \varepsilon > 0); \left( \forall x \in \left\{ 1 + \frac{1}{n}; n \in \mathbb{N}^* \right\} \right) / x \geq \varepsilon + 10$$

Soit  $\varepsilon > 0$

$$x < \varepsilon + 10 \Leftrightarrow 1 + \frac{1}{n} < \varepsilon + 10 \Leftrightarrow \frac{1}{n} < \varepsilon + 9 \Leftrightarrow n > \frac{1}{\varepsilon + 9}$$

Donc pour  $n = E\left(\frac{1}{\varepsilon + 9}\right) + 1$  on prend  $x = 1 + \frac{1}{n}$  et on a

$$x < \varepsilon + 10$$

$P$  Est donc une proposition vraie

**Exercice 53 :** A l'aide de la méthode des tables de vérité, dites si la formules  $P \vee \bar{P}$  est une tautologies.

**Solution :**

$P$	$\bar{P}$	$P \vee \bar{P}$
0	1	1
1	0	1

**Exercice 54 :** 1. (Raisonnement direct) Soient

$$a \in \mathbb{R}^+; b \in \mathbb{R}^+$$

Montrer que si  $a \leq b$  alors  $a \leq \frac{a+b}{2} \leq b$  et  $0 \leq \sqrt{ab} \leq b$

2. (Cas par cas) Montrer que pour tout  $\forall n \in \mathbb{N}; n(n+1)$  est divisible par 2 (distinguer les  $n$  pairs des  $n$  impairs).

4. (Absurde) Soit  $n \in \mathbb{N}^*$  Montrer que  $\sqrt{n^2 + 1}$  n'est pas un entier.

5. (Contre-exemple) Est-ce que pour tout  $x \in \mathbb{R}$  on a  $x < 2 \Rightarrow x^2 < 4$  ?

6. (Récurrence) Fixons un réel  $a \in \mathbb{R}^{**}$

Montrer que :  $\forall n \in \mathbb{N}; (1+a)^n \geq 1 + n \times a$ .

**« 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**

