TD 10 – Notion d'Ensemble (Correction)

Exercice 1 – Appartenance ou non-appartenance. Dans les phrases suivantes, remplacer les ____ par le symbole correspondant entre $\in$ et $\notin$.

- En *italique*, les raisonnements par l'absurde.
- Cases remplies en blues : ensembles définis de manière paramétrique (via l'existence d'un paramètre))
- Cases non remplies : ensembles définis de manière conditionnelle (via une condition)

$1 \quad \in \quad \{a^2 \vert a \in \mathbb{R}\}$	car il existe $a = 1 \in$ tel que $1 = a^2$
$-2 \quad \notin \quad \{a^2 \vert a \in \mathbb{R}\}$	*car (par l'absurde) s'il existe $a \in \mathbb{R}$ tel que $-2 = a^2$, alors $-2 \geqslant 0$. Absurde.*
$(1,2) \quad \notin \quad \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 \vert x+y=1\}$	car $1+2 \neq 1$
$(-1,-1) \quad \in \quad \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 \vert y = \frac{1}{x}\}$	car $-1 = \frac{1}{-1}$
$(0,2) \quad \in \quad \{(t, 2+t) \vert t \in \mathbb{R}\}$	car il existe $t = 0 \in \mathbb{R}$ tel que $(0,2) = (t, 2+t)$.
$(0,2,3) \quad \notin \quad \{(a, a+b, 0) \vert a \in \mathbb{R}, b \in \mathbb{R}\}$	*car (par l'absurde) s'il existe $a, b \in \mathbb{R}$ tq $(0,2,3) = (a, a+b, 0)$ alors $3 = 0$. Absurde*
$(1,5,-1) \quad \in \quad \{(a, a+b, -a) \vert a \in \mathbb{R}, b \in \mathbb{R}\}$	car il existe $a = 1 \in \mathbb{R}$ et $b = 4 \in \mathbb{R}$ tq $(1,5,-1) = (a, a+b, -a)$
$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ -1 & 3 \end{pmatrix} \quad \in \quad \{M \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R}) \vert \det(M) > 0\}$	car le déterminant de la matrice vaut $5 > 0$.
$f : x \mapsto \exp(x) \quad \notin \quad \mathbb{R}[x]$	*car (par l'absurde) si $f \in \mathbb{R}[x]$, il existe $n \in \mathbb{N}$ tq $f^{(n)} = 0$. Absurde.*
$x \mapsto x^3 + 1 \quad \notin \quad \mathbb{R}_2[x]$	car $\deg(x \mapsto x^3 + 1) = 3 > 2$
$x \mapsto 2x^5 + x \quad \in \quad \mathbb{R}_5[x]$	car $\deg(x \mapsto x^5 + 1) = 5 \leqslant 5$
$x \mapsto x^2 + 1 \quad \in \quad \{f : \mathbb{R} \to \mathbb{R} \vert f \text{ paire }\}$	car $\forall x \in \mathbb{R},\ (-x)^2 + 1 = x^2 + 1$
$x \mapsto x^2 + 2x + 1 \quad \in \quad \{f^2 \vert f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}\}$	car il existe $f : x \mapsto x+1$ tel que, $\forall x \in \mathbb{R},\ x^2 + 2x + 1 = f(x)^2$
$\left(\frac{1}{n}\right)_{n \in \mathbb{N}^*} \quad \in \quad \{(u_n)_{n \in \mathbb{N}^*} \vert \lim\limits_{n \to +\infty} u_n = 0\}$	car $\lim\limits_{n \to +\infty} \frac{1}{n} = 0$
$(2n+1)_{n \in \mathbb{N}} \quad \in \quad \{(u_n)_{n \in \mathbb{N}^*} \vert \forall n \in \mathbb{N},\ u_{n+1} = u_n + 2\}$	car, $\forall n \in \mathbb{N}, 2(n+1)+1 = 2n+1+2$
$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad \in \quad \{A^{-1} \vert A \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R}) \text{ inversible}\}$	car il existe $A = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ inversible tq $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = A^{-1}$.

Exercice 2 – Inclusion.

- Montrons que
$$F=\{(x,y)\in\mathbb{R}^2 | 2x+y=1\} \quad\subset\quad E=\{(t,1-2t) | t\in\mathbb{R}\}$$

(***Espace ambiant** : l'ensemble des couples de nombres réels.)*

Soit $(x,y)\in F$, c'est-à-dire vérifiant
$$2x+y=1 \qquad (\textit{condition}\text{ vérifiée})$$

Montrons que $(x,y)\in E$, c'est-à-dire montrons que
$$\text{il existe un paramètre } t\in\mathbb{R} \text{ tel que } (x,y)=(t,1-2t) \qquad (\text{existence } \textit{paramètre})$$

Posons $t=x\in\mathbb{R}$. Alors, on a
$$\begin{aligned}(x,y)&=(x,1-2x) && \text{car } 2x+y=1\\ &=(t,1-2t) && \text{car } t=x\end{aligned}$$

Donc $(x,y)\in E$. D'où $F\subset E$.

- Montrons que
$$F=\{(1+a,b-1,-a-b) | a\in\mathbb{R},b\in\mathbb{R}\} \quad\subset\quad E=\{(x,y,z)\in\mathbb{R}^3 | x+y+z=0\}$$

(***Espace ambiant** : l'ensemble des triplets de nombres réels.)*

Soit $(x,y,z)\in F$, c'est-à-dire
$$\text{il existe 2 paramètres } a,b\in\mathbb{R} \text{ tel que } (x,y,z)=(1+a,b-1,-a-b) \qquad (\text{existence } \textit{param})$$

Montrons que $(x,y,z)\in E$, c'est-à-dire montrons que
$$x+y+z=0 \qquad (\textit{condition}\text{ à vérifier})$$

On a,
$$x+y+z=(1+a)+(b-1)+(-a-b)=0$$
Donc $(x,y,z)\in E$. D'où $F\subset E$.

- Montrons que
$$F=\{f:x\mapsto ax+b | a\in\mathbb{R}^*,b\in\mathbb{R}\} \quad\subset\quad E=\{f:\ \mathbb{R}\to\mathbb{R} | \exists x_0\in\mathbb{R}, f(x_0)=0\ \}$$

(***Espace ambiant** : l'ensemble des fonctions.)*

Soit $f\in F$, c'est-à-dire
$$\text{il existe 2 paramètres } a\in\mathbb{R}^* \text{ et } b\in\mathbb{R} \text{ tel que } \forall x\in\mathbb{R}, f(x)=ax+b \qquad (\text{existence } \textit{param.})$$

Montrons que $f\in E$, c'est-à-dire montrons que
$$\exists x_0\in\mathbb{R},\ \ f(x_0)=0 \qquad (\textit{condition}\text{ à vérifier})$$

Posons $x_0=-\frac{b}{a}\in\mathbb{R}$ (bien défini car $a\neq 0$!). Alors
$$f(x_0)=a\left(-\frac{b}{a}\right)+b=0$$

Donc $f\in E$. D'où $F\subset E$.

- Montrons que

$$F=\{(u_n)_{n\in\mathbb{N}}|\exists c>0,\forall n\in\mathbb{N},-c\leqslant nu_n\leqslant c\}\quad\subset\quad E=\{(u_n)_{n\in\mathbb{N}}|\lim_{n\to+\infty}u_n=0\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des suites)*

Soit $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}\in F$, c'est-à-dire

$$\exists c>0,\ \ \forall n\in\mathbb{N},\ \ -c\leqslant nu_n\leqslant c\qquad\text{(condition \textit{vérifiée})}$$

Montrons que $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}\in E$, c'est-à-dire montrons que

$$\lim_{n\to+\infty}u_n=0\qquad\text{(\textit{condition} à vérifier)}$$

On a

$$\forall n\in\mathbb{N},\ \ -c\leqslant nu_n\leqslant c$$

Donc

$$\forall n\in\mathbb{N}^*,\ \ -\frac{c}{n}\leqslant u_n\leqslant\frac{c}{n}$$

Or les deux suites $\left(-\frac{c}{n}\right)$ et $\left(\frac{c}{n}\right)$ converge vers 0. Donc, par **théorème d'encadrement**, la suite $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ admet une limite et

$$\lim_{n\to+\infty}u_n=0$$

Donc $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}\in E$. D'où $F\subset E$.

- Montrons que

$$F=\{x\in\mathbb{R}|x^4=4x-1\}\quad\subset\quad[0,+\infty[$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des nombres réels)*

Soit $x\in F$, c'est-à-dire

$$x^4=4x-1\qquad\text{(condition \textit{vérifiée})}$$

Montrons que $x\in[0,+\infty[$, c'est-à-dire montrons que

$$x\geqslant 0\qquad\text{(\textit{condition} à vérifier)}$$

On a

$$x^4=4x-1$$

Donc

$$x=\frac{x^4+1}{4}\geqslant 0$$

Donc $x\in[0,+\infty[$. D'où $F\subset[0,+\infty[$.

- Montrons que

$$F=\{(x,y)\ \in\mathbb{R}^2|x-y=2\}\quad\subset\quad E=\{(x,y)\in\mathbb{R}^2|(3x+y+2)(x+2y+4)\geqslant 0\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des couples de nombres réels)*

Soit $(x,y)\in F$, c'est-à-dire

$$x-y=2\qquad\text{(condition \textit{vérifiée})}$$

Montrons que $x\in E$, c'est-à-dire montrons que

$$(3x+y+2)(x+2y+4)\geqslant 0\qquad\text{(\textit{condition} à vérifier)}$$

Comme $x-y=2$, on a $y=x-2$ et donc

$$3x+y+2=3x+x-2+2=4x$$

De même,

$$x+2y+4=x+2(x-2)+4=3x$$

Finalement,

$$(3x+y+2)(x+2y+4)=12x^2\geqslant 0$$

Donc $(x,y)\in E$. D'où $F\subset E$.

Exercice 3 – Non-Inclusion.

- Montrons que
$$E = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 | x+y=0\} \quad \not\subset \quad F = \{(t,t^2) | t \in \mathbb{R}\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des couples de nbres réels.)*

On cherche un *couple* (x,y) qui appartient à E mais qui n'appartient pas à F

Soit $(x,y) = (1,-1) \in \mathbb{R}^2$.

- D'une part, $(x,y) \in E$ car $1+(-1) = 0$ (*condition* vérifiée)
- D'autre part, montrons que $(x,y) \notin F$. Pour cela, on raisonne *par l'absurde*. Supposons par l'absurde que (x,y) est dans F. Alors,
$$\text{il existe } t \in \mathbb{R},\ (1,-1) = (t,t^2) \qquad \text{(existence } \textit{paramètre}\text{)}$$
Alors $t^2 = -1 \leqslant 0$. C'est absurde. Donc $(x,y) \notin F$.

Ainsi, on a exhibé un élément $(x,y) \in E$ tel que $(x,y) \notin F$. Donc $E \not\subset F$.

- Montrons que
$$E = \{(a,-a,a) | a \in \mathbb{R}\} \quad \not\subset \quad F = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 | x+y+z=0\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des triplets de nbres réels.)*

On cherche un *triplet* (x,yx) qui appartient à E mais qui n'appartient pas à F

Soit $(x,y,z) = (1,-1,1) \in \mathbb{R}^3$.

- D'une part, $(x,y,z) \in E$ car il existe $a = 1 \in \mathbb{R}$ tel que $(1,-1,1) = (a,-a,a)$ (existence *paramètre*)
- D'autre part, $(x,y,z) \notin F$ car $1+(-1)+1 \neq 0$ (*condition* non vérifiée)

Ainsi, on a exhibé un élément $(x,y,z) \in E$ tel que $(x,y,z) \notin F$. Donc $E \not\subset F$.

- Montrons que
$$E = \{(u_n)_{n\in\mathbb{N}} | u_0 = 0\} \quad \not\subset \quad F = \{(u_n)_{n\in\mathbb{N}} | \lim_{n\to+\infty} u_n = 0\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des suites.)*

On cherche une *suite* $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ qui appartient à E mais qui n'appartient pas à F

Soit $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ définie par, pour tout $n \in \mathbb{N}$, $u_n = n$.

- D'une part, $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \in E$ car $u_0 = 0$ (*condition* vérifiée)
- D'autre part, $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \notin F$ car $\lim u_n = +\infty \neq 0$ (*condition* non vérifiée)

Ainsi, on a exhibé un élément $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \in E$ tel que $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \notin F$. Donc $E \not\subset F$.

- Montrons que
$$E = \{(u_n)_{n\in\mathbb{N}} | (u_n)_{n\in\mathbb{N}} \text{ est géométrique }\} \quad \not\subset \quad F = \{(u_n)_{n\in\mathbb{N}} | \lim_{n\to+\infty} u_n = 0\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des couples de nbres réels.)*

On cherche une *suite* $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ qui appartient à E mais qui n'appartient pas à F

Soit $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ définie par, pour tout $n \in \mathbb{N}$, $u_n = 2^n$.

- D'une part, $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \in E$ car la suite $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ est géométrique car
$$\forall n \in \mathbb{N}, \qquad u_{n+1} = 2u_n$$
(*condition* vérifiée)
- D'autre part, $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \notin F$ car $\lim u_n = +\infty \neq 0$ (car $2 > 1$) (*condition* non vérifiée)

Ainsi, on a exhibé un élément $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \in E$ tel que $(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \notin F$. Donc $E \not\subset F$.

- Montrons que

$$E = \{A \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R}) | A^2 = 0_{2,2}\} \quad \not\subset \quad F = \{A \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R}) | \; A \text{ inversible}\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des matrices (de taille* 2×2.*)*

On cherche une *matrice* $A \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R})$ qui appartient à E mais qui n'appartient pas à F

Soit

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- D'une part, $A \in E$ car

$$A^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = 0_{2,2}$$

  (*condition* vérifiée)
- D'autre part, $A \notin F$ car A n'est pas inversible car c'est une matrice 2×2 et son déterminant vaut 0.

Ainsi, on a exhibé un élément $A \in E$ tel que $A \notin F$. Donc $E \not\subset F$.

- Montrons que

$$E = \{A^2 | A \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R})\} \quad \not\subset \quad F = \{A \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R}) | \; A \text{ inversible}\}$$

*(**Espace ambiant** : l'ensemble des matrices (de taille* 2×2.*)*

On cherche une *matrice* $M \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R})$ qui appartient à E mais qui n'appartient pas à F

Soit

$$M = \begin{pmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{pmatrix}$$

- D'une part, $M \in E$ car

$$\text{il existe } A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R}) \text{ tq } M = A^2$$

  (existence *paramètre*)
- D'autre part, $M \notin F$ car M n'est pas inversible car c'est une matrice 2×2 et son déterminant vaut 0.

Ainsi, on a exhibé un élément $M \in E$ tel que $M \notin F$. Donc $E \not\subset F$.

Exercice 4 – Doucle inclusion. Démontrer l'égalité $A = B$ par double inclusion lorsque

1. $A = \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 | 4x - y = 1\}$ et $B = \{(t+1, 4t+3) | t \in \mathbb{R}\}$
2. $A = \left\{(a-b, b, -2a+3b),\ (a,b) \in \mathbb{R}^2\right\}$ et $B = \left\{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 \mid 2x - y + z = 0\right\}$
3. $A = [a,b]$ et $B = \{ta + (1-t)b | t \in \mathbb{R}\}$ (pour a, b deux réels)
4. $A = [0,1]$ et $B = \{x \in \mathbb{R}_+ | x^2 \leqslant x\}$

1. Montrons que

$$= \{(x,y) \in \mathbb{R}^2 | 4x - y = 1\} = \{(t+1, 4t+3) | t \in \mathbb{R}\}$$

Espace ambiant *: l'ensemble de couples de nombres réels* $\mathbb{R}^2$. Notons A l'ensemble de gauche et B l'ensemble de droite. Montrons l'égalité de ces deux ensembles par *double inclusion*.

- Montrons que $A \subset B$.
  Soit $u = (x,y) \in A$, c'est-à-dire

  $$4x - y = 1 \qquad (\textit{condition} \text{ vérifiée})$$

  Montrons que $u = (x,y) \in B$, c'est-à-dire montrons que

  il existe un paramètre $t \in \mathbb{R}$ tel que $(x,y) = (t+1, 4t+3)$ (existence *paramètre*)

  Posons $t = x - 1 \in \mathbb{R}$ (et donc $x = t+1$). On a

  $$\begin{aligned} (x,y) &= (t+1, y) && \text{car } t = x-1 \\ &= (t+1, 4x-1) && \text{car } 4x - y = 1 \\ &= (t+1, 4(t+1)-1) && \text{car } t = x-1 \\ &= (t+1, 4t+3) \end{aligned}$$

  Donc $u \in B$. D'où $A \subset B$.

- Montrons que $B \subset A$.
  Soit $u = (x,y) \in B$, c'est-à-dire

  il existe un paramètre $t \in \mathbb{R}$ tel que $(x,y) = (t+1, 4t+3)$ (existence *paramètre*)

  Montrons que $u = (x,y) \in A$, c'est-à-dire montrons que

  $$4x - y = 1 \qquad (\textit{condition} \text{ à vérifier})$$

  On a

  $$4x - y = 4(t+1) - (4t+3) = 4t + 4 - 4t - 3 = 1$$

  Donc $u = (x,y) \in A$. D'où $B \subset A$.

- Comme $A \subset B$ et $B \subset A$, par *principe de double inclusion*, on a montré que $A = B$.

2. Montrons que

$$\{(a-b, b, -2a+3b),\ (a,b)\in\mathbb{R}^2\} = \{(x,y,z)\in\mathbb{R}^3 \mid 2x-y+z=0\}$$

Espace ambiant *: l'ensemble de triplets de nombres réels* $\mathbb{R}^3$. Notons A l'ensemble de gauche et B l'ensemble de droite. Montrons l'égalité de ces deux ensembles par *double inclusion*.

- Montrons que $A \subset B$.

  Soit $u=(x,y,z)\in A$, c'est-à-dire

  il existe deux paramètres $a,b\in\mathbb{R}$ tels que $(x,y,z)=(a-b,b,-2a+3b)$ (existence *paramètre*)

  Montrons que $u=(x,y,z)\in B$, c'est-à-dire montrons que

  $$2x-y+z=0 \qquad (\textit{condition} \text{ à vérifier})$$

  On a
  $$2x-y+z = 2(a-b)-b+(-2a+3b) = 2a-2b-b-2a+3b = 0$$

  Donc $u=(x,y,z)\in B$. D'où $A\subset B$.

- Montrons que $B \subset A$.

  Soit $u=(x,y,z)\in B$, c'est-à-dire

  $$2x-y+z=0 \qquad (\textit{condition} \text{ vérifiée})$$

  Montrons que $u=(x,y,z)\in A$, c'est-à-dire montrons que

  il existe deux paramètres $a,b\in\mathbb{R}$ tels que $(x,y,z)=(a-b,b,-2a+3b)$ (existence *paramètre*)

  Posons $a=x+y\in\mathbb{R}$ et $b=y\in\mathbb{R}$ (et donc $a-b=x$) On a

  $$\begin{aligned}(x,y,z) &= (a-b,b,z) && \text{par choix de } a \text{ et } b\\ &= (a-b,b,-2x+y) && \text{car } 2x-y+z=0\\ &= (a-b,b,-2(a-b)+b)\\ &= (a-b,b,-2a+3b)\end{aligned}$$

  Donc $u=(x,y,z)\in A$. D'où $B\subset A$.

- Comme $A\subset B$ et $B\subset A$, par *principe de double inclusion*, on a montré que $A=B$.

3. Soient $a < b$. Montrons que

$$[a,b] = \{ta + (1-t)b | t \in [0,1]\}$$

Espace ambiant *: l'ensemble de nombres réels* $\mathbb{R}$. Notons B l'ensemble de droite. Montrons l'égalité de ces deux ensembles par *double inclusion*.

- Montrons que $[a,b] \subset B$.
  Soit $x \in [a,b]$, c'est-à-dire

  $$a \leqslant x \leqslant b \quad (\textit{condition} \text{ vérifiée})$$

  Montrons que $x \in B$, c'est-à-dire montrons que

  il existe un paramètre $t \in [0,1]$ tel que $x = ta + (1-t)b$ (existence *paramètre*)

  Posons $t = \frac{x-b}{a-b}$. Tout d'abord, $t \in [0,1]$ car

  $$\begin{array}{lll} & a \leqslant x \leqslant b & \\ \text{donc} & a-b \leqslant x-b \leqslant 0 & \\ \text{donc} & 1 \geqslant \frac{x-b}{a-b} \geqslant 0 & \text{car } a-b<0 \\ \text{donc} & 1 \geqslant t \geqslant 0 & \end{array}$$

  De plus,

  $$ta + (1-t)b = \frac{x-b}{a-b} \times a + \left(1 - \frac{x-b}{a-b}\right) b = x$$

  Donc $x \in B$. D'où $[a,b] \subset B$.

- Montrons que $B \subset [a,b]$.
  Soit $x \in B$, c'est-à-dire

  il existe un paramètre $t \in [0,1]$ tel que $x = ta + (1-t)b$ (existence *paramètre*)

  Montrons que $x \in [a,b]$, c'est-à-dire montrons que

  $$a \leqslant x \leqslant b \quad (\textit{condition} \text{ à vérifier})$$

  (Pour se simplifier, on va suppose que $0 < a < b$, les autres cas se traitent de même.) On sait que

  $$0 \leqslant t \leqslant 1 \qquad \text{et que} \qquad x = ta + (1-t)b = b + t(a-b)$$

  Donc, comme $0 \leqslant t \leqslant 1$ et que $a - b < 0$, on obtient

  $$0 \geqslant t(a-b) \geqslant a-b$$

  Et donc

  $$b \geqslant t(a-b) + b \geqslant a - b + b$$

  c'est-à-dire

  $$a \leqslant x \leqslant b.$$

  Donc $x \in [a,b]$. D'où $B \subset [a,b]$.

- Comme $[a,b] \subset B$ et $B \subset [a,b]$, par *principe de double inclusion*, on a montré que $[a,b] = B$.

4. Montrons que
$$[0,1] = \{x \in \mathbb{R}_+ | x^2 \leqslant x\}$$

Espace ambiant : *l'ensemble de nombres réels* $\mathbb{R}$. Notons B l'ensemble de droite. Montrons l'égalité de ces deux ensembles par *double inclusion*.

- Montrons que $[0,1] \subset B$.
  Soit $x \in A$, c'est-à-dire
  $$0 \leqslant x \leqslant 1 \qquad (\textit{condition} \text{ vérifiée})$$
  Montrons que $x \in B$, c'est-à-dire montrons que
  $$x^2 \leqslant x \qquad (\textit{condition} \text{ à vérifier})$$
  On a :
  $$x^2 - x = x(x-1) \geqslant 0$$
  car $x \geqslant 0$ et $x \leqslant 1$. Donc $x \in B$. D'où $[0,1] \subset B$.

- Montrons que $B \subset [0,1]$.
  Soit $x \in B$, c'est-à-dire
  $$x^2 \leqslant x \qquad (\textit{condition} \text{ vérifiée})$$
  Montrons que $x \in [0,1]$, c'est-à-dire montrons que
  $$0 \leqslant x \leqslant 1 \qquad (\textit{condition} \text{ à vérifier})$$
  Donnons le tableau de signe du polynôme $x \mapsto x^2 - x$.

x	$-\infty$		0		1		$+\infty$
$Q(x)$		$+$	0	$-$	0	$+$	

  Ainsi,
  $$x^2 - x \leqslant 0 \qquad \Leftrightarrow \qquad x \in [0,1]$$
  Or, comme on sait que $x^2 \leqslant x$, on en déduit que $x \in [0,1]$. D'où $B \subset [0,1]$.

- Comme $[0,1] \subset B$ et $B \subset [0,1]$, par *principe de double inclusion*, on a montré que $[0,1] = B$.

Exercice 5 – Égalité par équivalence.

• Montrons que

$$\{\alpha \in \mathbb{R} | P(\alpha) = 0\} = \{1, 2, -\frac{1}{2}\}$$

Notons A l'ensemble de gauche et B l'ensemble de droite et raisonnons par équivalence.

***Espace ambiant** : l'ensemble des nombres réels $\mathbb{R}$.*

Soit $x \in \mathbb{R}$. Raisonnons par *équivalence*.

$$\begin{array}{lll} x \in A & \Leftrightarrow & P(x) = 0 \qquad (\textit{condition} \text{ vérifiée}) \\ & \Leftrightarrow & (x-1)(x-2)(2x+1) = 0 \\ & \Leftrightarrow & x-1 = 0 \text{ ou } x-2 = 0 \text{ ou } 2x+1 = 0 \\ & \Leftrightarrow & x = 1 \text{ ou } x = 2 \text{ ou } x = -\frac{1}{2} \\ & \Leftrightarrow & x \in \{1, 2, -\frac{1}{2}\} \\ & \Leftrightarrow & x \in B \end{array}$$

Donc $A = B$.

• Montrons que

$$\{M \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R}) | M^T = M\} = \{\alpha M_1 + \beta M_2 + \gamma M_3 | \alpha, \beta, \gamma \in \mathbb{R}\}$$

avec

$$M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \qquad M_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \qquad M_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Notons A l'ensemble de gauche et B l'ensemble de droite et raisonnons par équivalence.

***Espace ambiant** : l'ensemble des matrices de taille 2×2.*

Soit $M \in \mathscr{M}_2(\mathbb{R})$. Raisonnons par *équivalence*.

$$\begin{array}{lll} M \in A & \Leftrightarrow & M = M^T \qquad (\textit{condition} \text{ vérifiée}) \\ & \Leftrightarrow & \exists a,b,c,d \in \mathbb{R},\ M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \text{ telle que } \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & c \\ b & d \end{pmatrix} \\ & \Leftrightarrow & \exists a,b,c,d \in \mathbb{R},\ M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \text{ telle que } c = b \\ & \Leftrightarrow & \exists a,b,d \in \mathbb{R},\ M = \begin{pmatrix} a & b \\ b & d \end{pmatrix} \\ & \Leftrightarrow & \exists a,b,d \in \mathbb{R},\ M = a\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + d\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + b\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ & \Leftrightarrow & \exists a,b,d \in \mathbb{R},\ M = aM_1 + dM_2 + bM_3 \\ & \Leftrightarrow & M \in B \end{array}$$

Donc $A = B$.

• Montrons que

$$\{(u_n)_{n\in\mathbb{N}} | (u_n) \text{ géom.}, u_0 = 1, \forall n \in \mathbb{N}, 2u_{n+3} + 3u_{n+2} - u_n = 0\} = \{(v_n)_{n\in\mathbb{N}}, (w_n)_{n\in\mathbb{N}}\}$$

avec

$$\forall n \in \mathbb{N},\ \ v_n = (-1)^n \qquad \text{avec} \qquad \forall n \in \mathbb{N},\ \ w_n = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

Notons A l'ensemble de gauche et B l'ensemble de droite et raisonnons par équivalence.

***Espace ambiant** : l'ensemble des suites.*

<u>Soit</u> $(u_n)_{n\in\mathbb{N}}$ une suite. Raisonnons par *équivalence*.

$$\begin{aligned}
(u_n)_{n\in\mathbb{N}} \in A \quad & \Leftrightarrow \quad (u_n)_{n\in\mathbb{N}} \text{ géom.}, u_0 = 1, \forall n \in \mathbb{N}, 2u_{n+3} + 3u_{n+2} - u_n = 0 \qquad (\textit{cond} \text{ vérifiée}) \\
& \Leftrightarrow \quad \exists q \in \mathbb{R}^*,\ \forall n \in \mathbb{N}, u_n = q^n \text{ et } \forall n \in \mathbb{N}, 2u_{n+3} + 3u_{n+2} - u_n = 0 \\
& \Leftrightarrow \quad \exists q \in \mathbb{R}^*,\ \forall n \in \mathbb{N}, u_n = q^n \text{ et } \forall n \in \mathbb{N}, 2q^{n+3} + 3q^{n+2} - q^n = 0 \\
& \Leftrightarrow \quad \exists q \in \mathbb{R}^*,\ \forall n \in \mathbb{N}, u_n = q^n \quad \text{avec} \quad 2q^3 + 3q^2 - 1 = 0 \\
& \Leftrightarrow \quad \exists q \in \mathbb{R}^*,\ \forall n \in \mathbb{N}, u_n = q^n \quad \text{avec} \quad (q+1)^2(2q-1) = 0 \\
& \Leftrightarrow \quad \exists q \in \mathbb{R}^*,\ \forall n \in \mathbb{N}, u_n = q^n \quad \text{avec} \quad (q = -1 \text{ ou } q = \frac{1}{2}) \\
& \Leftrightarrow \quad \forall n \in \mathbb{N},\ u_n = (-1)^n \quad \text{ou} \quad \forall n \in \mathbb{N},\ u_n = \left(\frac{1}{2}\right)^n \\
& \Leftrightarrow \quad (u_n)_{n\in\mathbb{N}} \in B
\end{aligned}$$

<u>Donc</u> $A = B$.

Exercice 6 – Ensemble des parties. Déterminer $\mathscr{P}(E)$ lorsque

a. $E = \{1,2\}$ b. $E = \{a\}$ c. $E = \{2,4,6\}$

a. On a
$$\mathscr{P}(\{1,2\}) = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1,2\}\}$$

b. On a
$$\mathscr{P}(\{a\}) = \{\emptyset, \{a\}\}$$

c. On a
$$\mathscr{P}(\{2,4,6\}) = \{\emptyset, \{2\}, \{4\}, \{6\}, \{2,4\}, \{2,6\}, \{4,6\}, \{2,4,6\}\}$$

Exercice 7 – Opérations sur les parties. Déterminer les ensembles suivants

$$A \cup B, \qquad A \cap B, \qquad A \setminus B, \qquad B \setminus A, \qquad \overline{A} \quad \text{et} \quad \overline{B}$$

lorsque

1. $A =]-\infty, 3[$ et $B = [0,5]$ (dans l'espace ambiant $E = \mathbb{R}$)
2. $A =]-1, +\infty[$ et $B = [2, +\infty[$ (dans l'espace ambiant $E = \mathbb{R}$)
3. $A = \{0,1\}$ et $B = \{1,2\}$ (dans l'espace ambiant $E = \{0,1,2,3\}$)

1. Soient $A =]-\infty, 3[$ et $B = [0,5]$ (espace ambiant $E = \mathbb{R}$).

2. Soient $A =]-1, +\infty[$ et $B = [2, +\infty[$ (espace ambiant $E = \mathbb{R}$). On a :

$$A \cup B =]-1, +\infty[\qquad A \cap B = [2, +\infty[\qquad A \setminus B =]-1, 2[$$

$$B \setminus A = \emptyset \qquad \overline{A} =]-\infty, -1] \qquad \overline{B} =]-\infty, 2[$$

3. Soient $A = \{0,1\}$ et $B = \{1,2\}$ (dans l'espace ambiant $E = \{0,1,2,3\}$)

$$A \cup B = \{0,1,2\} \qquad A \cap B = \{1\} \qquad A \setminus B = \{0\}$$

$$B \setminus A = \{2\} \qquad \overline{A} = \{2,3\} \qquad \overline{B} = \{0,3\}$$

Exercice 8 – Intersection & Union.

• On note $F_1 = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 \mid 2x - y + 2z = 0\}$ et $F_2 = \{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 \mid x + y + 3z = 0\}$. Déterminons l'intersection $F_1 \cap F_2$.

***Espace ambiant** : l'ensemble des triplets* $\mathbb{R}^3$

Soit $(x,y,z) \in \mathbb{R}^3$. Raisonnons par *équivalence*.

$$\begin{array}{rcl}
(x,y,z) \in F_1 \cap F_2 & \Leftrightarrow & (x,y,z) \in F_1 \ \ \underline{\text{et}} \ \ (x,y,z) \in F_2 \\
& \Leftrightarrow & 2x - y + 2z = 0 \text{ (cond. vérifiée)} \ \ \underline{\text{et}} \ \ x + y + 3z = 0 \text{ (cond. vérifiée)} \\
& \Leftrightarrow & \left\{ \begin{array}{ccccccc} 2x & - & y & + & 2z & = & 0 \\ x & + & y & + & 3z & = & 0 \end{array} \right.
\end{array}$$

On aboutit à un **système linéaire** que l'on résout par *pivot de Gauss*.

$$\begin{array}{rcll}
(x,y,z) \in F_1 \cap F_2 & \Leftrightarrow & \left\{ \begin{array}{ccccccc} x & + & y & + & 3z & = & 0 \\ 2x & - & y & + & 2z & = & 0 \end{array} \right. & L_1 \leftrightarrow L_2 \\
& \Leftrightarrow & \left\{ \begin{array}{ccccccc} x & + & y & + & 3z & = & 0 \\ & - & 3y & - & 4z & = & 0 \end{array} \right. & L_2 \to L_2 - 2L_1
\end{array}$$

Nbre d'inconnues > Nbre d'équations. On choisit deux inconnues principales, par exemple x et y, que l'on exprime en fonction de l'inconnue restante.

$$\begin{array}{rcl}
(x,y,z) \in F_1 \cap F_2 & \Leftrightarrow & \left\{ \begin{array}{ccccccc} x & + & y & + & 3z & = & 0 \\ & & y & & & = & -\frac{4}{3}z \end{array} \right. \\
& \Leftrightarrow & \left\{ \begin{array}{ccc} x & = & -\frac{5}{3}z \\ y & = & -\frac{4}{3}z \end{array} \right. \\
& \Leftrightarrow & (x,y,z) = \left(-\dfrac{5}{3}z, -\dfrac{4}{3}z, z \right) \\
& \Leftrightarrow & (x,y,z) \in \left\{ \left(-\dfrac{5}{3}z, -1 + \dfrac{2}{5}z, z \right) | z \in \mathbb{R} \right\}
\end{array}$$

Donc

$$F_1 \cap F_2 = \left\{ \left(-\frac{5}{3}z, -\frac{4}{3}z, z \right) | z \in \mathbb{R} \right\}$$

• On note $F_1 = \{x \in \mathbb{R} | x^2 - 4x + 2 = 0\}$ et $F_2 = \{x \in \mathbb{R} | x^2 = 1\}$. Déterminons l'union $F_1 \cup F_2$.

***Espace ambiant** : l'ensemble des nbres réels* $\mathbb{R}$

Soit $x \in \mathbb{R}$. Raisonnons par *équivalence*.

$$\begin{array}{rcl}
x \in F_1 \cup F_2 & \Leftrightarrow & x \in F_1 \ \ \underline{\text{ou}} \ \ x \in F_2 \\
& \Leftrightarrow & x^2 - 4x + 2 = 0 \text{ (cond. vérifiée)} \ \ \underline{\text{ou}} \ \ x^2 = 1 \text{ (cond. vérifiée)} \\
& \Leftrightarrow & (x-2)^2 = 0 \ \ \underline{\text{ou}} \ \ x^2 = 1 \\
& \Leftrightarrow & x = 2 \ \ \underline{\text{ou}} \ \ (x = 1 \ \text{ ou } x = -1) \\
& \Leftrightarrow & x \in \{2, 1, -1\}
\end{array}$$

Donc

$$F_1 \cup F_2 = \{2, 1, -1\}$$

• On note $F_1 = \{M \in \mathscr{M}_n(\mathbb{R}) | M^T = M\}$ et $F_2 = \{M \in \mathscr{M}_n(\mathbb{R}) | M^T = -M\}$. Déterminons $F_1 \cap F_2$.

Espace ambiant *: l'ensemble des matrices de taille $n \times n$*

Soit $M \in \mathscr{M}_n(\mathbb{R})$. Raisonnons par *équivalence*.

$$\begin{aligned} M \in F_1 \cap F_2 \quad & \Leftrightarrow \quad M \in F_1 \ \ \underline{\text{et}} \ \ M \in F_2 \\ & \Leftrightarrow \quad M^T = M \text{ (cond. vérifiée)} \ \ \underline{\text{et}} \ \ M^T = -M \text{ (cond. vérifiée)} \\ & \Leftrightarrow \quad M^T = M = -M \\ & \Leftrightarrow \quad 2M = 0_{n,n} \\ & \Leftrightarrow \quad M = 0_{n,n} \end{aligned}$$

Donc

$$F_1 \cap F_2 = \{0_{n,n}\}$$

• On note $F_1 = \mathbb{R}_2[x]$ et $F_2 = \{f : \mathbb{R} \to \mathbb{R} | f(0) = 0\}$. Déterminons $F_1 \cap F_2$.

Espace ambiant *: l'ensemble des fonctions*

Soit $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$. Raisonnons par *équivalence*.

$$\begin{aligned} f \in F_1 \cap F_2 \quad & \Leftrightarrow \quad f \in F_1 \ \ \underline{\text{et}} \ \ f \in F_2 \\ & \Leftrightarrow \quad \exists a,b,c \in \mathbb{R}, \forall x \in \mathbb{R}, f(x) = ax^2 + bx + c \text{ (existence para)} \ \ \underline{\text{et}} \ \ f(0) = 0 \text{ (cond. vérifiée)} \\ & \Leftrightarrow \quad \exists a,b,c \in \mathbb{R}, f(x) = ax^2 + bx + c \ \ \underline{\text{et}} \ \ c = 0 \\ & \Leftrightarrow \quad \exists a,b \in \mathbb{R}, f(x) = ax^2 + bx = x(ax+b) \\ & \Leftrightarrow \quad f \in \{x \mapsto x(ax+b) | a \in \mathbb{R}, b \in \mathbb{R}\} \end{aligned}$$

Donc

$$F_1 \cap F_2 = \{x \mapsto x(ax+b) | a \in \mathbb{R}, b \in \mathbb{R}\}$$

Exercice 9 – Intersection. Déterminer l'ensemble suivant

$$\left\{(x,y,z) \in \mathbb{R}^3 \mid 2x+y-z=2\right\} \cap \left\{(a+b, 2b, 2a-3b),\ (a,b) \in \mathbb{R}^2\right\}$$

Exercice 10 – Produit cartésien. Déterminer les produits cartésiens suivants

$$\{0,1\} \times \{0,1\} \qquad \{a,b\} \times \{c,d\} \qquad \{0\} \times \{1,2\} \times \{3,4\}$$

On a

$$\{0,1\} \times \{0,1\} = \{(0,0),(0,1),(1,0),(1,1)\}$$

On a

$$\{a,b\} \times \{c,d\} = \{(a,c),(a,d),(b,c),(b,d)\}$$

On a

$$\{0\} \times \{1,2\} \times \{3,4\} = \{(0,1,3),(0,1,4),(0,2,3),(0,2,4)\}$$

Exercice 11 – Vrai/Faux. Les assertions suivantes sont-elles vérifiées pour toutes parties A,B,C d'un ensemble Ω ? *On pourra s'aider de dessins pour répondre à ces questions.*

1. $A\cap B\subset B$
2. $A\cup B\subset B$
3. $(A\cap B)\cap(A\cap C)=A\cap B\cap C$
4. $(B\cap A)\cup(B\cap\overline{A})=\Omega$
5. $(A\cap B)\cap(\overline{A}\cap B)=\emptyset$
6. $A\cup(B\cap C)=(A\cup B)\cap(A\cup C)$
7. $A\cap(B\cup C)=(A\cup B)\cap(A\cup C)$
8. $A\cap\overline{B}\subset A\cup B$
9. $\overline{A\cup(B\cap C)}=\overline{A}\cap\overline{B}\cap\overline{C}$
10. $(A\cap\overline{B})\cup B=A\cup B$

1. Vrai (voir dessin)

2. Faux. Par exemple avec $A=\{0,1\}$ et $B=\{2,3\}$,
$$A\cup B=\{0,1,2,3\}\not\subset B$$

3. Vrai (ppté du cours)

4. Faux. De manière générale, par distributivité, on a,
$$(B\cap A)\cup(B\cap\overline{A})=(B\cap A\cup B)\cap(B\cap A\cup\overline{A})=B\cap B=B$$

5. Vrai. Par associativité,
$$(A\cap B)\cap(\overline{A}\cap B)=A\cap\overline{A}\cap B\cap B=\emptyset\cap B=\emptyset$$

6. Vrai. (ppté d'associativité du cours)

7. Faux. Avec $\Omega=\{0,1,2,3\}$, $A=\{0,1\}$, $B=\{1,2\}$ et $C=\{1,3\}$, on a
$$A\cap(B\cup C)=\{1\}\quad\text{alors que}\quad(A\cup B)\cap(A\cup C)=\{0,1\}$$

8. Vrai car
$$A\cap\overline{B}\subset A\subset A\cup B$$

9. Faux. Avec $\Omega=\{0,1,2,3\}$, $A=\{0,1\}$, $B=\{1,2\}$ et $C=\{1,3\}$, on a
$$\overline{A\cup(B\cap C)}=\{2,3\}\quad\text{alors que}\quad\overline{A}\cap\overline{B}\cap\overline{C}=\emptyset$$

10. Vrai car par associativité
$$(A\cap\overline{B})\cup B=(A\cup B)\cap(\overline{B}\cup B)=(A\cup B)\cap\Omega=A\cup B$$