

# Logique et raisonnement

## Logique

### 1. Connecteurs logiques $\neg$ , $\wedge$ , $\vee$ , ( $\oplus$ ou $\veebar$ )

**La négation**  $\neg$ , pour les ensembles, correspond au complémentaire du sous ensemble  $A$  dans  $E$ , noté  $\complement_E A$ ,  $\overline{A}$  ou  $A^C$   
Négation  $\neq$  Contraire (Non jeune  $\neq$  vieux)

**La conjonction**  $\wedge$  pour ET, correspond à l'intersection  $\cap$ .

**La disjonction**  $\vee$  OU, correspond à l'union  $\cup$ .

**La disjonction exclusive**  $\oplus$  ou  $\veebar$  XOR, l'une des deux vrais et l'autre nécessairement fausse. Correspond à la différence symétrique  $\Delta$ .

**Règles de Morgan :**  $\neg(P \vee Q) \Leftrightarrow (\neg P) \wedge (\neg Q)$   
 $\neg(P \wedge Q) \Leftrightarrow (\neg P) \vee (\neg Q)$

**Distributivité :**  $(P \vee Q) \wedge R \Leftrightarrow (P \wedge R) \vee (Q \wedge R)$   
 $(P \wedge Q) \vee R \Leftrightarrow (P \vee R) \wedge (Q \vee R)$

**Produit cartésien :**  $A \times B = \{(a, b), a \in A \text{ et } b \in B\}$

### 2. Connecteurs logiques $\Rightarrow$ et $\Leftrightarrow$

**L'implication** de  $P$  à  $Q$  n'est fausse que lorsque  $P$  est vraie et  $Q$  fausse.

**Correspond à :**  $\neg P \vee Q$

**Négation :**  $P \wedge \neg Q$

**Réciproque :**  $Q \Rightarrow P$

**Contraposée :**  $(\neg Q) \Rightarrow (\neg P)$   
(même valeur de vérité).

P	Q	$P \Rightarrow Q$
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	F	V

**L'équivalence** de  $P$  et  $Q$  n'est vraie que si  $P$  et  $Q$  ont même valeur de vérité. L'équivalence a la même valeur de vérité que la double implication (nécessaire et suffisant).

P	Q	$P \Leftrightarrow Q$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	V

### 3. Quantificateurs

$\forall x \in A, P(x)$  : quel que soit  $x$  élément de  $A$  (ou pour tout  $x$  appartenant à  $A$ ).

$\exists x \in A, P(x)$  : il existe au moins un élément  $x$  de  $A$

$\exists! x \in A, P(x)$  : il y a existence et **unicité** de l'élément  $x$  dans  $A$  vérifiant la propriété  $P$

**Négation :**  $\exists x \in A, \neg P(x)$

**Négation :**  $\forall x \in A, \neg P(x)$

## Méthodes de raisonnement

### 1. Raisonnement direct

(Par déduction ou hypothèse auxiliaire).  
Hypothèse  $\Rightarrow$  Conclusion.

### 2. Raisonnement par disjonction des cas

Raisonnement direct dans lequel l'hypothèse peut se décomposer en plusieurs autres hypothèses

$H \Leftrightarrow H_1 \wedge H_2$

On montre ensuite  $H_1 \Rightarrow C$  et  $H_2 \Rightarrow C$

### 3. Raisonnement par contraposition

$(H \Rightarrow C) \Leftrightarrow (\neg C \Rightarrow \neg H)$

*Exemple :* La contraposée de «  $\forall n \in \mathbb{Z}$ , si  $n$  est pair, alors  $n^2$  est pair. » est « Si  $n^2$  est impair, alors  $n$  est impair »

### 4. Raisonnement par l'absurde

On suppose le contraire et on montre que cela vient contredire une proposition vraie.

*Exemple :* Démontrons que  $\sqrt{2}$  est irrationnel  $\rightarrow$  sup-

posons que  $\sqrt{2}$  est rationnel. On aurait donc  $2 = \frac{p^2}{q^2}$  avec  $(p, q) \in \mathbb{N}^2$  et  $p$  et  $q$  premiers entre eux. Donc  $p^2 = 2q^2$  alors  $p$  pair,  $p = 2p'$  d'où  $q^2 = 2p'^2$  donc  $q$  serait pair. Ainsi,  $p$  et  $q$  ne seraient pas premiers entre eux, on a bien une contradiction.

### 5. Raisonnement par contre-exemple

Il suffit de trouver un contre exemple pour prouver qu'une propriété est fausse.

### 6. Raisonnement par récurrence simple

- On montre que  $P(0)$  est vraie (propriété initialisée ou fondée)

- On suppose  $P(n)$  et on montre  $P(n+1)$  (hérédité)

### 7. Raisonnement par analyse-synthèse

- Analyse : on établit une liste de potentielles solutions parmi lesquelles toutes les solutions réelles sont nécessairement incluses.

- Synthèse : pour chacune de ces solutions, on détermine si elles sont viables ou non.

# Généralités sur les fonctions

## Généralités

### 1. Différence entre applications et fonctions

Une application est une relation entre deux ensembles.

Une fonction est une application d'une partie  $D_f$  d'un ensemble de départ.  $D_f$  est appelé ensemble de définition.

Une fonction n'est donc pas forcément définie sur l'entièreté de l'ensemble de départ.

### 2. Image directe

L'image directe d'un ensemble  $A$  par une fonction  $f$  est l'ensemble des **images** de  $A$  par  $f$  :  
 $f(A) = \{f(x) \mid x \in A\}$

### 3. Image réciproque

L'image réciproque est l'ensemble des **antécédents** d'un ensemble.  
 C'est l'image directe de l'ensemble par  $f^{-1}$ .

### 4. Restriction

On note  $f|_A(x) = f(x)$  pour tout  $x \in A$ , avec  $A \subset D_f$ .

### 5. Composition

$f \circ g(x) = f(g(x))$   
**Associative** mais non commutative :  
 $(f \circ g) \circ h = f \circ (g \circ h)$

### 6. Injectivité

**Au plus** un antécédent.

Fonction injective :  $f(x_1) = f(x_2) \Rightarrow x_1 = x_2$ .

Non injective :  $\exists (x_1, x_2) \in D_f^2 \mid f(x_1) = f(x_2) \wedge x_1 \neq x_2$

### 7. Surjectivité

**Au moins** un antécédent.

Fonction surjective :  $\forall y \in F, \exists x \in D_f \mid y = f(x)$ .

Non surjective :  $\exists y \in F \mid \forall x \in D_f, y \neq f(x)$

### 8. Bijectivité ou Réciprocité

**Exactement** un antécédent.

À la fois injective et surjective :  $\forall y \in F, \exists! x \in D_f \mid y = f(x)$ .

On note alors  $x = f^{-1}(y)$  la bijection réciproque de  $f$ .

## Fonctions de $\mathbb{R}$ dans $\mathbb{R}$

### 1. Sens de variation

$f \circ g$  est :

- Croissante si  $f$  et  $g$  sont de même monotonie.
- Décroissante si  $f$  et  $g$  sont de sens de monotonies contraires.

Si  $f$  est strictement monotone, alors elle est injective (au plus un antécédent par image).

### 2. Majorant et minorant

- $\alpha$  **maximum de A** si  $\alpha$  est à la fois majorant et élément de  $A$  :  $\alpha = \max(A)$  (resp.  $\min(A)$ ).
- $\alpha$  **borne supérieure de A** si  $\alpha$  est le plus petit des majorants :  $\alpha = \sup(A)$  (resp.  $\inf(A)$ ).
- si  $A$  est non vide non majoré :  $\sup(A) = +\infty$
- si  $A$  est non vide non minoré :  $\inf(A) = -\infty$

Si le maximum existe, il est égal à la borne supérieure.

### 3. Parité

- Si  $f$  et  $g$  sont paires,  $f + g$  est paire (resp. impaires).
- Si  $f$  et  $g$  ont même parité,  $f \times g$  est paire (resp.  $f/g$ ).
- Si  $f$  et  $g$  ont des parités contraires,  $f \times g$  est impaire (resp.  $f/g$ ).
- Si  $f$  est paire,  $g \circ f$  est paire.
- Si  $f$  est impaire,  $g \circ f$  a la même parité que  $g$ .

### 4. Périodicité

$T$ -périodique si  $\forall (x, x+T) \in D_f^2, f(x+T) = f(x)$ .

- Si  $f$  et  $g$  sont  $T$ -périodiques,  $f + g$  et  $f \times g$  sont  $T$ -périodiques.
- Si  $f$  est  $T$ -périodique,  $g \circ f$  est  $T$ -périodique.

### 5. Bijectivité et symétrie

- Si  $f$  est une bijection,  $C_f$  et  $C_{f^{-1}}$  sont symétriques par rapport à  $y = x$ .
- $x \mapsto f(-x)$  : symétrie par l'axe des ordonnées.
- $x \mapsto -f(x)$  : symétrie par l'axe des abscisses.
- $x \mapsto f(x+a)$  : translation de vecteur  $-a \vec{i}$ .
- $x \mapsto f(x) + a$  : translation de vecteur  $a \vec{j}$ .
- $x \mapsto f(ax)$  : réduction/agrandissement sur axe  $x$ .
- $x \mapsto af(x)$  : réduction/agrandissement sur axe  $y$ .

# Fonctions usuelles

## Fonction partie entière

$E(x) = \lfloor x \rfloor$  (Plus grand entier inférieur ou égal à  $x$ ).

- $E(x) \leq x < E(x) + 1$  et  $x - 1 < E(x) \leq x$ .
- $E(x) = x \Leftrightarrow x \in \mathbb{Z}$ .
- $\forall n \in \mathbb{Z}, E(x + n) = E(x) + n$

## Fonction log, exp et puissances

### 1. Logarithme naturel / népérien

$\forall x > 0$ ,  $\ln(a)$  vaut l'aire sous la courbe de  $\frac{1}{x}$  entre 1 et  $a$ .

On note  $e$  tel que  $\ln(e) = 1$  (base du logarithme népérien).

Sa bijection réciproque est la fonction exponentielle, dont l'unique dérivée vérifiant la condition initiale  $f(0) = 1$  est elle même.

### 2. Fonctions logarithmes

$$\log_b(a) = \frac{\ln a}{\ln b}.$$

$\log_e$  : népérien,  $\log_2$  : binaire,  $\log_{10}$  : décimal (log).

De même,  $\exp_a(x) = a^x$ .

### 3. Fonctions puissances

$X^a$  est bijective de réciproque  $X^{\frac{1}{a}}$  ( $a \neq 0$ )

Sur  $\mathbb{R}_+^*$  :

$X^a$  est croissante si  $a > 0$  et décroissante si  $a < 0$ .

## Fonctions trigonométriques

Angles opposés :

$$\cos(-\theta) = \cos(\theta) \quad \sin(-\theta) = -\sin(\theta).$$

Angles supplémentaires :

$$\begin{aligned} \cos(\pi - \theta) &= -\cos(\theta) & \sin(\pi - \theta) &= \sin(\theta) \\ \cos(\pi + \theta) &= -\cos(\theta) & \sin(\pi + \theta) &= -\sin(\theta) \end{aligned}$$

Angles complémentaires :

$$\begin{aligned} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) &= \sin(\theta) & \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) &= \cos(\theta) \\ \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) &= -\sin(\theta) & \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) &= \cos(\theta) \end{aligned}$$

Somme des angles :

$$\begin{aligned} \cos(\theta + \varphi) &= \cos \theta \cos \varphi - \sin \theta \sin \varphi \\ \cos(\theta - \varphi) &= \cos \theta \cos \varphi + \sin \theta \sin \varphi \\ \sin(\theta + \varphi) &= \sin \theta \cos \varphi + \cos \theta \sin \varphi \\ \sin(\theta - \varphi) &= \sin \theta \cos \varphi - \cos \theta \sin \varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos(2\theta) &= \cos^2 \theta - \sin^2 \theta = 2 \cos^2 \theta - 1 = 1 - 2 \sin^2 \theta \\ \sin(2\theta) &= 2 \sin \theta \cos \theta \end{aligned}$$

## Fonctions hyperboliques

Cosinus hyperbolique :

$$\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

- Fonction paire
- Strict. décroissante sur  $\mathbb{R}_-$
- Strict. croissante sur  $\mathbb{R}_+$

Sinus hyperbolique :

$$\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

- Fonction impaire
- Strictement croissante

Tangente hyperbolique :

$$\tanh(x) = \frac{\sinh(x)}{\cosh(x)}$$

- Fonction impaire
- Strictement croissante
- Définie sur  $\mathbb{R}$ .

Lien avec sinus et cosinus :

- $\cosh(a + b) = \cosh a \cosh b + \sinh a \sinh b$
- $\sinh(a + b) = \sinh a \cosh b + \cosh a \sinh b$
- $\cosh^2 a - \sinh^2 a = 1$

$$\cosh a = \cos(ia)$$

$$\sinh a = -i \sin(ia)$$

# Mathématiques 4

## Polynômes

### Définitions

$\deg(0) = -\infty$

#### Opérations :

- $P = Q \Leftrightarrow$  même degré et mêmes coeffs.
- $\deg(P + Q) \leq \max(\deg(p), \deg(Q))$
- $\deg(P \times Q) = \deg(p) + \deg(Q)$
- $\deg(P \circ Q) \leq \deg(p) \times \deg(Q)$

### Division euclidienne et racines

Les polynômes peuvent être divisés par un polynôme non nul, au même titre que les réels.

Soit  $\alpha$  une racine de  $P$ , alors  $P$  est divisible par  $(X - \alpha)$ .

Un polynôme  $P$  admet  $n$  racines avec  $n \leq \deg(P)$ .

Un polynôme a la même limite en  $+\infty$  et en  $-\infty$  que son terme de plus haut degré.

Si un polynôme  $P$  est de degré impair, alors  $P$  a au moins une racine réelle.

### Formule de Taylor

La dérivée d'un polynôme  $P = \sum_{k=0}^n a_k X^k$  est donnée par :  $P' = \sum_{k=1}^n k a_k X^{k-1}$

Pour la dérivée  $k$ -ième, on retrouve  $k!$  pour le premier coefficient. Ainsi, on a  $\forall k \leq \deg(P), P^{(k)}(0) = k! a_k$

Ainsi, on a  $P = \sum_{k=0}^n \frac{P^{(k)}(0)}{k!} X^k$

Généralisation (formule de Taylor) :  $P = \sum_{k=0}^n \frac{P^{(k)}(\alpha)}{k!} (X - \alpha)^k$

### Racines multiples

$\alpha$  est une racine d'ordre de multiplicité  $m$  de  $P$  si  $P = (X - \alpha)^m Q$  avec  $Q(\alpha) \neq 0$ .  
(Racine simple, double, triple, ...).

La formule de Taylor permet de donner une caractérisation de la multiplicité :  
 $\alpha$  est une racine de  $P$  d'ordre de multiplicité  $m$  ssi :

$$\begin{cases} P(\alpha) = P'(\alpha) = \dots = P^{(m-1)}(\alpha) = 0 \\ P^{(m)}(\alpha) \neq 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

(Par exemple, pour une racine double, la tangente est horizontale, et pour une racine triple, il y a en plus un point d'inflexion).

### Factorisation

Tout polynôme  $P$  à coefficient dans  $\mathbb{C}$  admet exactement  $\deg(P)$  racines complexes, comptées avec leur ordre de multiplicité.

Si  $z$  est une racine complexe (non réelle) de  $P$  et de multiplicité  $m$ , alors  $\bar{z}$  est de même une racine de  $P$  de multiplicité  $m$ .

# Espaces vectoriels

## Structure d'espace vectoriel

Un ensemble  $E$  est un  $\mathbb{K}$ -espace vectoriel ( $\mathbb{K}$  désigne  $\mathbb{R}$  ou  $\mathbb{C}$ ) si il est muni d'une loi interne  $+$  et d'une loi externe  $\cdot$ , respectant les 8 axiomes de base :

On redéfinit les lois de bases (commutativité et associativité de l'addition, élément neutre...).

## Sous espaces vectoriels

$F$  est un sous-espace vectoriel de  $E$  si  $F \subset E$  avec  $(E, +, \cdot)$  et  $(F, +, \cdot)$  des  $\mathbb{K}$ -espace vectoriel.

**Stabilité par combinaison linéaire :**

$$F \text{ est un s.e.v de } E \iff \begin{cases} F \neq \emptyset \text{ (Un s.e.v. contient toujours le vecteur nul)} \\ \forall(\alpha, \beta, \vec{u}, \vec{v}) \in \mathbb{K}^2 \times F^2, \alpha\vec{u} + \beta\vec{v} \in F \\ (F \text{ est stable par combinaison linéaire}) \end{cases} \quad (5.1)$$

L'intersection de deux s.e.v est un s.e.v. Ce n'est pas le cas pour l'union.

**Sous-espace vectoriel engendré par  $A$**  ( $\text{Vect}(A)$ ) : c'est le plus petit s.e.v. de  $E$  contenant  $A$ .

Par convention :  $\text{Vect}(\emptyset) = \vec{0}_E$

On dit que  $\text{Vect}(A)$  est constitué de toutes les combinaisons linéaires des vecteurs de  $A$ .

## Dimension d'un espace vectoriel

### 1. Familles libres, génératrices, bases

Une famille de vecteurs de  $E$  est libre s'ils sont linéairement indépendants (seul la combinaison linéaire avec des coefficients tous nuls mène à  $\vec{0}$ ).

Sinon, la famille est liée, les vecteurs sont alors linéairement dépendants (il existe des coefficients non tous nuls tel que la combinaison linéaire de ces vecteurs soit nulle).

Deux vecteurs formant une famille liée sont colinéaires. Trois vecteurs formant une famille liée sont coplanaires.

- Une famille de vecteurs est liée  $\iff$  l'un des vecteurs est combinaison linéaire des autres.
- Si une famille de vecteurs contient le vecteur nul, elle est liée.
- Une famille extraite d'une famille libre est libre.
- Une famille contenant une famille liée est liée.

Une famille de vecteurs  $(\vec{v}_1, \dots, \vec{v}_p)$  d'un e.v.  $E$  est génératrice de  $E$  si tout vecteur de  $E$  est combinaison linéaire de vecteurs de la famille (Ce qui équivaut à dire que  $E = \text{Vect}(\vec{v}_1, \dots, \vec{v}_p)$ ).

Une famille libre et génératrice de  $E$  est une base de  $E$  (Elle est canonique si chaque vecteur a une unique composante égale à 1).

### 2. Dimension finie

Un e.v.  $E$  est de dimension finie s'il existe une famille finie de vecteurs génératrice de  $E$ . Sinon,  $\dim(E) = +\infty$

Soit  $E$  un e.v. de dimension finie, on peut compléter une famille libre de  $E$  par des vecteurs bien choisis d'une famille génératrice de  $E$  pour obtenir une base de  $E$ .

Soit  $n = \dim(E)$  :

- Toute famille libre de  $E$  contient au plus  $n$  vecteurs.
- Toute famille génératrice de  $E$  contient au moins  $n$  vecteurs.
- Toute famille libre de  $n$  vecteurs de  $E$  est une base de  $E$ .
- Toute famille génératrice de  $n$  vecteurs de  $E$  est une base de  $E$ .

$\Rightarrow$  Soit  $F$  une famille de  $\dim(E)$  vecteurs :  $F$  est une base de  $E \iff F$  est libre  $\iff F$  est génératrice de  $E$

### 3. Sous-espace en dimension finie

Soit  $F$  et  $G$  des s.e.v de  $E$  de dimension finie.

- $\dim F \leq \dim E$
- $\dim F = \dim E \iff F = E$
- $\dim(F \cap G) \leq \min(\dim F, \dim G)$
- Si  $F \subset G$  et  $\dim F = \dim G$  alors  $F = G$

### 4. Rang d'une famille de vecteurs

Soit  $F$  une famille de  $p$  vecteurs d'un e.v.  $E$  :

- $\text{rg}(F) = \dim(\text{Vect}(F))$ 
  - Si  $F$  est libre,  $\text{rg}(F) = p$  Sinon,  $\text{rg}(F) < p$
  - $\text{rg}(F) = \dim E \iff F$  est génératrice de  $E$
  - $\text{rg}(F) = p = \dim E \iff F$  est une base de  $E$

### 5. Méthode des zéros échelonnés

Une famille est échelonnée relativement à une base si dans l'écriture des vecteurs exprimés dans la base, chaque vecteur commence par au moins un zéro de plus que le précédent.

Toute famille de vecteurs tous non nuls échelonnée relativement à une base est libre.

On peut échelonner des vecteurs en les écrivant en colonne (comme dans les systèmes), mais en faisant des combinaisons linéaires avec les colonnes (et non avec les lignes). On a donc pas d'équivalence, mais uniquement une égalité de rang  $\text{rg}(F)$ .

# Applications linéaires

## L'espace vectoriel $\mathcal{L}(E, F)$

---

$f$  est une application linéaire si  $f \in \mathcal{L}(E, F)$

$$\iff \forall (\alpha, \beta) \in \mathbb{K}^2, \forall (\vec{u}, \vec{v}) \in E^2, f(\alpha \cdot_E \vec{u} +_E \beta \cdot_E \vec{v}) = \alpha \cdot_F f(\vec{u}) +_F \beta \cdot_F f(\vec{v})$$

Toute réciproque d'une bijection linéaire, combinaison linéaire d'une application linéaire ou composée de deux applications linéaires **est linéaire**.

Une application linéaire bijective de  $E$  dans  $F$  est un isomorphisme de  $E$  sur  $F$ .  $E$  et  $F$  sont isomorphes.

## Image par une application linéaire

---

## Applications linéaires en dimension finie

---