

EPFL

MAN

Mise à niveau

---

Maths 2B  
PREPA-032(B)

---

*Student:*  
Arnaud FAUCONNET

*Professor:*  
Simon BOSSONEY

Printemps - 2019



ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

# Chapter 1

## Systèmes linéaires

### 1.1 Equations linéaires

**Definition:** Une équation linéaire à  $n$  variables est une équation de type:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = b$$

où  $a_1, \dots, a_n, b \in \mathbb{R}$  sont **fixés** et où  $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{R}$  **variables**.

Si  $b = 0$ , on dit que l'équation est homogène.

Si  $b \neq 0$ , on dit que l'équation est inhomogène.

Une **solution** est donnée de  $n$  nombres réels  $x_1, \dots, x_n$  tel que l'équation est satisfaite.

La collection de  $S$  de toutes les solutions sera appelée **l'ensemble des solutions**

**Exemple**

$$x + 2y - 3z = 1 \tag{1.1}$$

Équation linéaire à trois variables,  $x, y, z, a_1 = 1, a_2 = 2, a_3 = -3, b = 1$

**Resolution** (1.1) est équivalente à

$$x = 1 - 2y + 3z$$

Si on rassemble  $x, y$  et  $z$  en une colonne  $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ , on a que

$$S = \left\{ \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3 \mid \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + y \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + z \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, y, z \in \mathbb{R} \right\}$$

Choix  $y = 1, z = 2,$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 6 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

**Remarque** (1.1) est équivalente à  $2y = 1 - x + 3z \iff y = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}x + \frac{3}{2}z$

On a alors:

$$\mathcal{S}' = \left\{ \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3 \mid \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{2} \\ 0 \end{pmatrix} + x \begin{pmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} \\ 0 \end{pmatrix} + z \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{3}{2} \\ 1 \end{pmatrix}, x, z \in \mathbb{R} \right\}$$

$\mathcal{S} = \mathcal{S}'$  si  $x = 1, z = 2$ , on a

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{2} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix}$$

4/03/2019

## 1.2 Système d'équation

**Definition** Un **système d'équation** linéaire est une famille de  $m$  équation linéaires à  $n$  variables.

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_{11} + \dots + a_{1n} \cdot x_{1n} &= b_1 \\ \vdots \\ a_{m1} \cdot x_{m1} + \dots + a_{mn} \cdot x_{mn} &= b_m \end{aligned}$$

où  $\{a_{ij}\}_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n}$  et  $\{b_j\}_{1 \leq j \leq m}$  sont des **coefficients** (réels) du système.

$a_{ij}$   
 $i$ : ligne,  $j$ : colonne

Une solution est un  $n$ -tuple  $\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$  qui satisfait les  $m$  équation simultanément.

Un système linéaires est complètement déterminé par ses coefficients.

Les coefficients seront dit "**triangulaire supérieur**" si

$$a_{ij} = 0 \text{ dès que } i > j$$

**Exemples**

$$\begin{aligned} i = 1 & \quad x + y - z = 2 \\ i = 2 & \quad 0x + 2y + 3z = 1 \\ i = 3 & \quad 0x + 0y + z = 4 \end{aligned}$$

On "remonte" le système:

$$i = 2 \quad 2y + 12 = 1 \iff 2y = -11 \iff y = -\frac{11}{2}$$

$$i = 1 \quad x - \frac{11}{2} - 4 = 2 \iff x = \frac{23}{2}$$

$$\implies S : \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{23}{2} \\ -\frac{11}{2} \\ 4 \end{pmatrix}$$

On peut collecter les coefficients en un tableau:

$$5x - 2y + z = 2$$

$$3x + y + 2z - 4t = 0$$

$$2y + z + 2t = 1$$

$$\left( \begin{array}{cccc|c} 5 & -2 & 1 & 0 & 2 \\ 3 & 1 & 2 & -4 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 2 & 1 \end{array} \right) \quad (1.2)$$

- L'échange de deux lignes laisse l'ensemble des solutions  $S$  invariant.
- L'échange de deux colonnes (avec l'échange de variable correspondantes) laisse  $S$  invariant.
- La multiplication d'une ligne entière par un nombre **non nul** laisse  $S$  invariant.
- L'addition de deux lignes laisse  $S$  invariant.
- **À ne pas faire:**
  - multiplier une colonne par un nombre
  - additionner deux colonnes

$$(1.2) \sim \left( \begin{array}{cccc|c} 1 & -\frac{2}{5} & \frac{1}{5} & 0 & \frac{2}{5} \\ 3 & 1 & 2 & -4 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 2 & 1 \end{array} \right) \quad L_1 \leftarrow \frac{1}{5}L_1$$

$$(1.2) \sim \left( \begin{array}{cccc|c} 1 & -\frac{2}{5} & \frac{1}{5} & 0 & \frac{2}{5} \\ 0 & \frac{11}{5} & \frac{7}{5} & -4 & -\frac{6}{5} \\ 0 & 2 & 1 & 2 & 1 \end{array} \right) \quad L_2 \leftarrow L_2 - 3L_1$$

$$(1.2) \sim \left( \begin{array}{cccc|c} 1 & -\frac{2}{5} & \frac{1}{5} & 0 & \frac{2}{5} \\ 0 & \frac{11}{5} & \frac{7}{5} & -4 & -\frac{6}{5} \\ 0 & 2 & 1 & 2 & 1 \end{array} \right) \quad L_2 \leftarrow L_2 - 3L_1$$

$$(1.2) \sim \left( \begin{array}{cccc|c} 1 & -\frac{2}{5} & \frac{1}{5} & 0 & \frac{2}{5} \\ 0 & 1 & \frac{11}{11} & -\frac{20}{11} & -\frac{5}{11} \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{62}{3} & -\frac{23}{3} \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} L_2 \leftarrow \frac{5}{11}L_2 \\ L_3 \leftarrow L_3 - 2L_2 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
z - \frac{62}{3}t &= -\frac{23}{3} \iff z = -\frac{23}{3} + \frac{62}{3}t \\
y + \frac{7}{11} - \frac{20}{11}t &= -\frac{6}{11} \iff y = -\frac{6}{11} - \frac{7}{11}z + \frac{20}{11}t \\
&= -\frac{6}{11} + \frac{161}{33} - \frac{441}{33}t + \frac{20}{11}t \\
&= \frac{143}{33} - \frac{374}{33}t \\
x - \frac{2}{5}y + \frac{1}{5}z &= \frac{2}{5} \iff x = \frac{2}{5} - \frac{2}{5}y + \frac{1}{5}z \\
x &= \frac{2}{5} + \frac{2}{5} \cdot \left( \frac{143}{33} - \frac{374}{33}t \right) - \frac{1}{5} \cdot \left( -\frac{23}{3} + \frac{62}{3}t \right) \\
&= \frac{2}{5} + \frac{286}{165} - \frac{748}{165}t + \frac{23}{15} - \frac{62}{15}t \\
\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \frac{605}{165} \\ \frac{143}{33} \\ -\frac{22}{3} \\ 0 \end{pmatrix} + t \cdot \begin{pmatrix} -\frac{1430}{165} \\ -\frac{374}{33} \\ -\frac{62}{3} \\ 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

**Résumé** Supposons que le système d'équation est équivalent à un système triangulaire supérieur à  $k$  équation non nul à un  $n$  variables.

- L'ensemble des solutions est paramétré par  $n - k$  paramètres (ex.  $4 - 3 = 1$ )
- Une solution a la forme:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} + \lambda_1 \begin{pmatrix} v_{11} \\ \vdots \\ v_{1n} \end{pmatrix} + \dots + \lambda_n \begin{pmatrix} v_{nn-k} \\ \vdots \\ v_{nn-k} \end{pmatrix}$$

**Exemple**

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{605}{165} \\ \frac{143}{33} \\ -\frac{22}{3} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad n - k = 1, \quad \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1430}{165} \\ -\frac{374}{33} \\ -\frac{62}{3} \\ 1 \end{pmatrix}$$

- Si  $\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$  et  $\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$  sont deux solutions alors

$$t \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} + (1 - t) \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$$

est encore une solution ( $\forall t \in \mathbb{R}$ )

$S$  est, dans ce cas, dit "**convexe**"

- Si  $\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$  et  $\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$  sont deux solutions alors

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$$

est une solution à l'**équation homogène** (i.e. le système avec  $b_1 = \dots = b_n = 0$ )

- La partie paramètre de  $S$  est l'ensemble des solutions un système homogène
- Cas où le système n'a pas de solutions ( $S = \emptyset$ )

$$\left( \begin{array}{ccccc|c} 1 & x & x & \dots & x & x \\ 0 & 1 & x & x & x & x \\ \vdots & \dots & 1 & x & x & x \\ \color{red}{0} & \color{red}{0} & \color{red}{0} & \color{red}{0} & \color{red}{0} & \color{red}{x} \end{array} \right)$$

- Considérons

$$\begin{cases} x - 3y + z = 1 \\ x - 2y = 0 \\ x = 1 \end{cases} \sim \left( \begin{array}{ccc|c} 1 & -3 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \sim \left( \begin{array}{ccc|c} 1 & -3 & 1 & 1 \\ 0 & -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \quad C_1 \leftrightarrow C_3$$

missing parts TODO: check the drive lesson 3 and 4 (normally)