

## 2 | Équations et inéquations

### I – Vocabulaire

**Définition 2.1** – Une **équation** est un problème mettant en jeu une égalité du type

$$f(x) = 0,$$

où  $f$  est une fonction à variable réelle et le réel  $x$  est appelé **inconnue** de l'équation. On dit que l'on **résout** cette équation lorsque l'on recherche l'ensemble des  $x$  tels que  $f(x) = 0$ .

On note généralement l'ensemble des solutions  $\mathcal{S}$  :

$$\mathcal{S} = \{x \in \mathbf{R} \mid f(x) = 0\}.$$

**Exemple 2.2** – Résoudre l'équation  $2x + 7 = 0$ .

**Définition 2.3** – Une **inéquation** est un problème mettant en jeu une inégalité du type

$$f(x) \geq 0 \quad (\text{ou} \quad f(x) \leq 0 \quad \text{ou} \quad f(x) > 0 \quad \text{ou} \quad f(x) < 0),$$

où  $f$  est une fonction à variable réelle et le réel  $x$  est appelée **inconnue** de l'inéquation. On dit que l'on **résout** cette inéquation lorsque l'on recherche l'ensemble des  $x$  tels que  $f(x) \geq 0$  (ou  $f(x) \leq 0$ , ...).

On note généralement l'ensemble des solutions  $\mathcal{S}$  :

$$\mathcal{S} = \{x \in \mathbf{R} \mid f(x) \geq 0\}.$$

**Exemple 2.4** – Résoudre l'inéquation  $3x + 4 \geq 0$ .

**Exemple 2.5** – Résoudre l'inéquation  $-3x + 5 > 0$ .



**ATTENTION !** Lorsque l'on multiplie ou divise par un réel **néгатif** dans une inégalité, il ne faut pas oublier de **changer le sens de l'inégalité**!

## II – Équations de degré 1

### 1 – Résolution de l'équation $ax + b = 0$

#### Proposition 2.6

Soient  $a$  et  $b$  deux réels avec  $a \neq 0$ . L'équation  $ax + b = 0$  admet pour unique solution

$$x = \frac{-b}{a}.$$

Démonstration.

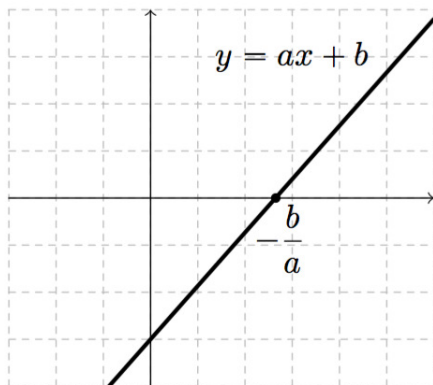
□

### 2 – Signe de $ax + b$

L'expression  $ax + b$  change de signe au point où elle s'annule. On obtient alors deux tableaux de signes, selon le signe de  $a$ .

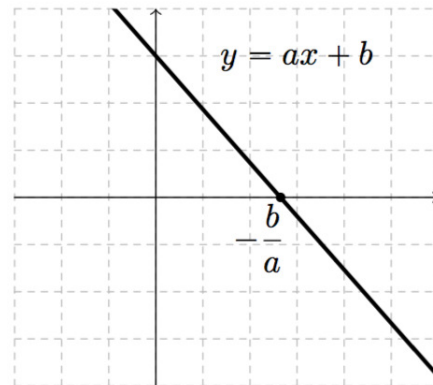
Cas  $a > 0$

$x$	$-\infty$	$-\frac{b}{a}$	$+\infty$
$ax + b$	-	0	+



Cas  $a < 0$

$x$	$-\infty$	$-\frac{b}{a}$	$+\infty$
$ax + b$	+	0	-



Démonstration.

□

**Remarque 2.7** – Plutôt que d'apprendre par cœur ces résultats, il est vivement conseillé de savoir retrouver les résultats précédents à partir de la résolution de l'inéquation  $ax + b \geq 0$  (par exemple) ou de la représentation graphique de la fonction  $f : x \mapsto ax + b$ .

**Exemple 2.8** – Donner le signe de l'expression  $-2x + 3$ .

## III – Trinômes de degré 2

### 1 – Résolution de l'équation $ax^2 + bx + c = 0$

**Définition 2.9** – Soient  $a$ ,  $b$  et  $c$  des réels avec  $a \neq 0$ . On appelle **discriminant** du trinôme, de degré 2,  $ax^2 + bx + c$  le nombre, noté  $\Delta$ , défini par

$$\Delta = b^2 - 4ac.$$

#### **Théorème 2.10**

Soient  $a$ ,  $b$  et  $c$  des réels avec  $a \neq 0$ . Trois cas sont possibles selon le signe du discriminant.

- Si  $\Delta < 0$ , l'équation  $ax^2 + bx + c = 0$  n'admet **aucune** solution réelle.
- Si  $\Delta = 0$ , l'équation  $ax^2 + bx + c = 0$  admet **une unique** solution réelle  $x_0 = -\frac{b}{2a}$ .
- Si  $\Delta > 0$ , l'équation  $ax^2 + bx + c = 0$  admet **deux** solutions réelles

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \quad \text{et} \quad x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}.$$

**Exemple 2.11** – Résoudre les équations suivantes.

- $x^2 + 2x + 1 = 0$
- $x^2 - 5x + 6 = 0$
- $x^2 + x + 1 = 0$ .

#### **Proposition 2.12 – Factorisation du trinôme $ax^2 + bx + c$**

Soient  $a$ ,  $b$  et  $c$  des réels avec  $a \neq 0$ . Trois cas sont possibles :

- Si  $\Delta < 0$ , on ne peut pas factoriser le trinôme  $ax^2 + bx + c$ .

- Si  $\Delta = 0$ , le trinôme admet une racine double  $x_0$  et on a

$$ax^2 + bx + c = a(x - x_0)^2.$$

- Si  $\Delta > 0$ , le trinôme admet deux racines  $x_1$  et  $x_2$  et on a

$$ax^2 + bx + c = a(x - x_1)(x - x_2).$$

**Exemple 2.13** – Factoriser les trinômes de l'exemple précédent.

- $x^2 + 2x + 1$
- $x^2 - 5x + 6$
- $x^2 + x + 1$

**Remarque 2.14** – Factoriser le trinôme  $ax^2 + bx + c$  revient donc à déterminer ses racines et, réciproquement, on peut lire ses racines sur sa forme factorisée.

## 2– Signe du trinôme $ax^2 + bx + c$

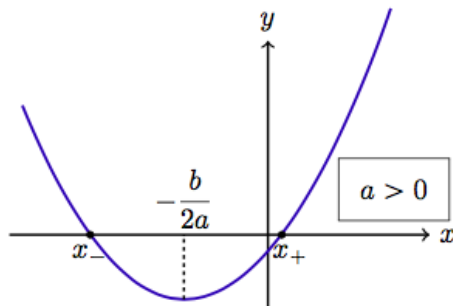
Le signe du trinôme  $ax^2 + bx + c$  dépend à la fois du signe du discriminant  $\Delta$  et du signe de  $a$ . Dès lors, il y a 6 cas.

- Si  $\Delta > 0$ , on note  $x_1$  et  $x_2$  les racines de sorte que  $x_1 < x_2$  et on obtient le tableau de signe suivant.

$x$	$-\infty$	$x_1$	$x_2$	$+\infty$
$a$	signe de $a$		signe de $a$	signe de $a$
$x - x_1$	–	0	+	+
$x - x_2$	–	–	0	+
$a(x - x_1)(x - x_2)$	signe de $a$	0	– signe de $a$	signe de $a$

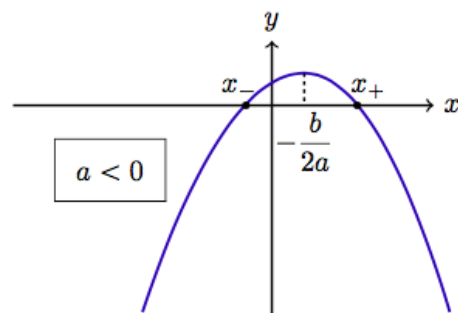
En résumé, on obtient les tableaux de signe et représentations graphiques suivants.

Cas $a > 0$				
$x$	$-\infty$	$x_1$	$x_2$	$+\infty$
$ax^2 + bx + c$				



**Cas  $a < 0$**

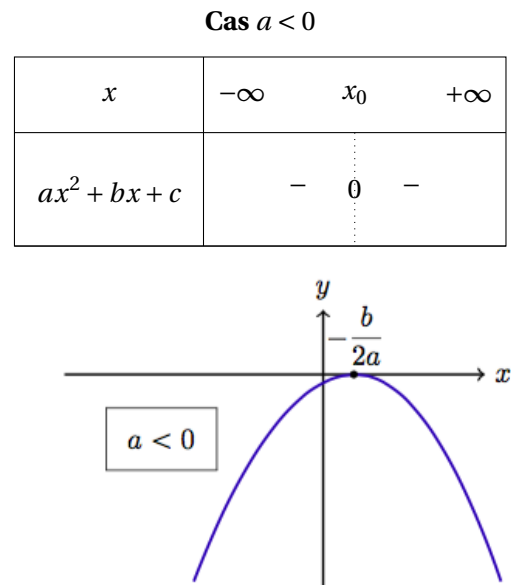
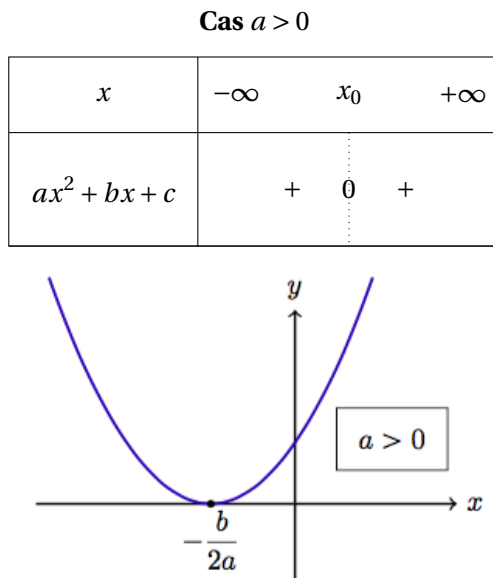
$x$	$-\infty$	$x_1$	$x_2$	$+\infty$		
Signe de $ax^2 + bx + c$		$-$	$0$	$+$	$0$	$-$



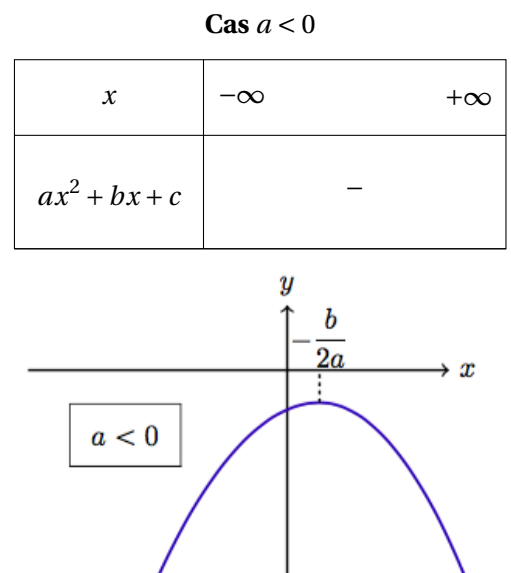
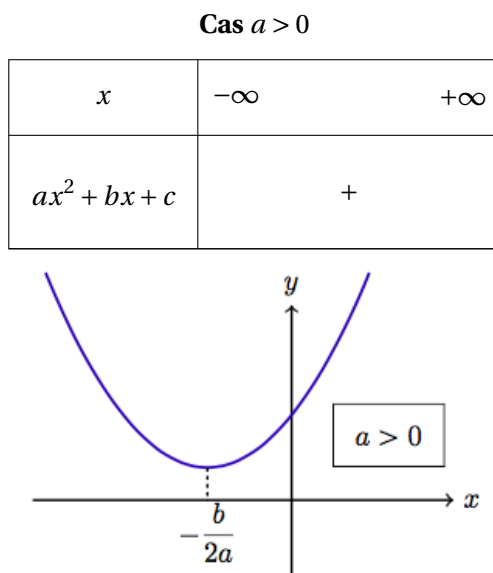
- Si  $\Delta = 0$ , on note  $x_0$  la racine et on obtient le tableau de signe suivant.

$x$	$-\infty$	$x_0$	$+\infty$
$a$	signe de $a$		signe de $a$
$(x - x_0)^2$	+	0	+
$a(x - x_0)^2$	signe de $a$	0	signe de $a$

En résumé, on obtient les tableaux de signe et représentations graphiques suivants.



- Si  $\Delta < 0$ , le signe de  $ax^2 + bx + c$  est le même que celui de  $a$ . On obtient les tableaux de signe et représentations graphiques suivantes.



## IV – Polynômes

### 1 – Polynômes de degré $n$

**Définition 2.15** – On appelle **polynôme de degré  $n$**  toute fonction  $P$  définie sur  $\mathbf{R}$  de la forme

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \cdots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0, \quad \text{avec } a_n \neq 0.$$

Les réels  $a_0, a_1, \dots, a_n$  sont appelés les **coefficients** de  $P$  et  $n$  est le **degré** de  $P$ . On note  $\deg(P) = n$ .

**Exemple 2.16** –

Il est possible d'additionner et de multiplier des polynômes.

- Pour former la **somme** de deux polynômes  $P$  et  $Q$ , on regroupe les termes de même degré de  $P$  et  $Q$ .
- Pour former le **produit** de deux polynômes, il suffit de développer le produit littéral correspondant et de rassembler les termes de même degré.

**Exemple 2.17** – Soit  $P(x) = 3x^2 - 5x + 2$  et  $Q(x) = -7x^3 + x^2 + \sqrt{2}$ .

$$P(x) + Q(x)$$

$$P(x)Q(x)$$

#### Proposition 2.18 – Égalité de deux polynômes

Soient  $P$  et  $Q$  deux polynômes. Alors  $P = Q$  si et seulement si

- $\deg(P) = \deg(Q)$
- TOUS les coefficients des termes de même degré de  $P$  et  $Q$  sont égaux.

**Exemple 2.19** – Soient les deux polynômes  $P(x) = (x^2 + \sqrt{2}x + 1)(x^2 - \sqrt{2}x + 1)$  et  $Q(x) = x^4 + 1$ . Montrer que  $P$  et  $Q$  sont égaux.

**Définition 2.20** – Un quotient de polynômes  $\frac{P}{Q}$  est appelé une **fraction rationnelle**.

**Exemple 2.21 –****2 – Racine d'un polynôme**

**Définition 2.22 –** On appelle **racine** d'un polynôme  $P$  toute solution  $x_0$  de l'équation  $P(x_0) = 0$

**Exemple 2.23 –**

**Remarque 2.24 –** Pour trouver des racines, on peut essayer de remplacer la variable  $x$  par  $-1$ ,  $1$ ,  $0$ , etc. Si on trouve  $0$ , alors on dit que l'on a trouvé une « racine évidente ».

**Théorème 2.25**

Soit  $P$  un polynôme et  $\alpha$  un réel. Le nombre  $\alpha$  est une racine de  $P$  si et seulement s'il existe un polynôme  $Q$  tel que  $P(x) = (x - \alpha)Q(x)$ .

En pratique, il y a deux méthodes pour déterminer le polynôme  $Q$ .

1. par identification des coefficients,
2. par division euclidienne.

On présente ces deux méthodes sur des exemples.

**Méthode 2.26 – Identification des coefficients**

On considère le polynôme  $f$  défini par  $f(x) = 3x^4 - x^3 + x^2 + 11x + 6$ .

Une solution évidente est  $x_0 = -1$  car  $f(-1) = 3 + 1 + 1 - 11 + 6 = 0$ . Il existe donc un polynôme  $g$  de degré  $4 - 1 = 3$  tel que pour tout réel  $x$ ,

$$\begin{aligned} f(x) &= (x + 1)g(x) \\ &= (x + 1)(ax^3 + bx^2 + cx + d) \\ &= ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + ax^3 + bx^2 + cx + d \\ &= ax^4 + (b + a)x^3 + (c + b)x^2 + (d + c)x + d \end{aligned}$$

Les polynômes  $3x^4 - x^3 + x^2 + 11x + 6$  et  $ax^4 + (b + a)x^3 + (c + b)x^2 + (d + c)x + d$  sont égaux, par définition, donc leurs coefficients le sont aussi. On obtient ainsi que

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 3 \\ b + a = -1 \\ c + b = 1 \\ d + c = 11 \\ d = 6 \end{array} \right. \quad \text{ce qui nous amène à} \quad \left\{ \begin{array}{l} a = 3 \\ b = -4 \\ c = 5 \\ d = 6 \end{array} \right.$$

Conclusion :  $f(x) = (x+1)(3x^3 - 4x^2 + 5x + 6)$ .



### Méthode 2.27 – Division euclidienne

On considère le polynôme  $f$  défini par  $f(x) = x^4 - 7x^3 + 17x^2 - 17x + 6$ .

Une solution évidente est  $x_0 = 1$  car  $f(1) = 1 - 7 + 17 - 17 + 6 = 0$ . Donc  $f(x)$  est divisible par  $(x - 1)$ .

On effectue la division euclidienne de  $f(x)$  par  $(x - 1)$  en utilisant les mêmes principes que pour la division des nombres.

$$\begin{array}{r|l}
 X^4 & - & 7X^3 & + & 17X^2 & - & 17X & + & 6 & X-1 \\
 X^4 & - & X^3 & & & & & & & \hline
 & - & 6X^3 & + & 17X^2 & - & 17X & + & 6 & \\
 & & - & 6X^3 & + & 6X^2 & & & & \hline
 & & & + & 11X^2 & - & 17X & + & 6 & \\
 & & & & + & 11X^2 & - & 11X & & \hline
 & & & & & - & 6X & + & 6 & \\
 & & & & & & - & 6X & + & 6 & \hline
 & & & & & & & & & 0
 \end{array}$$

Conclusion :  $f(x) = (x-1)(x^3 - 6x^2 + 11x - 6)$ .

**Exemple 2.28** – On souhaite factoriser  $P(x) = x^3 - 7x + 6$ .

1. Calculer  $P(2)$ .
2. Factoriser  $P$  de deux manières différentes.



## V – Autres résolutions d'équations et d'inéquations

### 1 – Équations produit

**Théorème 2.29**

Un produit de facteurs est nul si et seulement si l'un des facteurs est nul.

$$A \times B = 0 \iff A = 0 \text{ ou } B = 0.$$

**Exemple 2.30** – Résoudre l'équation  $(x - 1)(x + 2) = 0$ .

**Remarque 2.31** – Grâce au théorème ci-dessus et aux différentes méthodes de factorisation vues précédemment, on peut résoudre certaines équations polynomiales de degrés supérieurs.

**Méthode 2.32 – Résolution d'équation**

Pour résoudre une équation du type  $P(x) = 0$  avec  $P$  un polynôme de degré plus grand que 3,

1. on commence par chercher une racine évidente  $\alpha$  (à chercher parmi  $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ),
2. on factorise  $P$  sous la forme  $(x - \alpha)Q(x)$  (voir les deux méthodes « par identification » et « par division euclidienne »),
3. si  $\deg(Q) \leq 2$ , on sait résoudre ce genre d'équations (voir ci-dessus),
4. sinon, on itère ce processus en cherchant une racine évidente de  $Q$ , etc.

**Exemple 2.33** – Résoudre l'équation  $x^3 + 3x^2 - 6x - 8 = 0$ .

## 2 – Équations quotient

### Théorème 2.34

Un quotient est nul si et seulement si son numérateur est nul ET que son dénominateur ne l'est pas. En particulier, si  $B$  n'est **jamais** nul, alors

$$\frac{A}{B} = 0 \iff A = 0.$$

**Exemple 2.35** – Résoudre l'équation  $\frac{x+3}{\sqrt{2}} = 0$ .



### Méthode 2.36 – Résolution d'une équation quotient

Avant de résoudre une équation quotient, on doit chercher les valeurs pour lesquelles le **dénominateur** s'annule. On appelle ces valeurs des « valeurs interdites ». On cherche ensuite les valeurs pour lesquelles le **numérateur** s'annule et on vérifie que les solutions trouvées ne sont pas des valeurs interdites.

**Exemple 2.37** – Résoudre l'équation  $\frac{x^2 - x}{x} = 0$ .

**Remarque 2.38** – Il est parfois nécessaire de faire quelques calculs avant de se ramener à une équation quotient. Ainsi, si une équation contient plusieurs fractions rationnelles, on commence par réunir tous les termes dans un seul membre de l'équation et on met toutes les fractions au même dénominateur pour pouvoir les additionner et obtenir une seule fraction rationnelle.

**Exemple 2.39** – Résoudre l'équation  $\frac{1}{x-1} + \frac{2}{x-3} = \frac{1}{x+2}$ .

### 3 – Inéquations produits et inéquations quotient



#### Méthode 2.40 – Résoudre une inéquation polynomiale ou rationnelle

Le plan d'étude d'une inéquation polynomiale ou rationnelle est le suivant.

1. Rassembler (*via* des additions/soustractions) l'ensemble des termes dans un même membre de l'inégalité.
2. Factoriser l'expression obtenue pour obtenir un produit ou un quotient de facteurs de degré 1 ou 2.
3. Étudier le signe de chacun des facteurs.
4. Conclure après avoir fait la synthèse des signes des facteurs dans un tableau de signe.

**Exemple 2.41** – Résoudre l'inéquation  $\frac{1}{x-2} + \frac{3}{x} < \frac{1}{x+7}$ .