

3 Généralités sur les fonctions

I – Quelques rappels sur les fonctions

Définition 3.1 – Une **fonction** est un procédé qui, à un nombre x appartenant à un ensemble D , associe un nombre y . On note

$$f: \begin{array}{ccc} D & \rightarrow & \mathbb{R} \\ x & \mapsto & y \end{array}$$

$y = f(x)$ est appelé **l'image** de x par f , tandis que x est appelé **antécédent** de y par f .



Méthode 3.2 – Déterminer une image ou un antécédent par le calcul

On suppose que l'on dispose de l'expression littérale d'une fonction f .

- Pour déterminer l'image d'un nombre a , il suffit de remplacer x par a dans l'expression de $f(x)$ et de faire le calcul.
- Pour déterminer le ou les antécédents (s'ils existent) d'un nombre b , il faut essayer de résoudre l'équation $f(x) = b$.

Exemple 3.3 –

1. Soit f la fonction définie sur \mathbb{R} par $f(x) = 2x + 3$.

Déterminer l'image de 2 et le ou les antécédents (s'ils existent) de 4.

- L'image de 2 est $f(2) = 2 \times 2 + 3 = 7$.
- Les antécédents de 4 vérifient $f(x) = 4$, i.e.

$$2x + 3 = 4 \iff 2x = 1 \iff x = \frac{1}{2}.$$

2. Soit g la fonction définie sur \mathbb{R} par $g(x) = x^2 - 5x$.

Déterminer l'image de -1 et le ou les antécédents (s'ils existent) de -6 et de -7 .

- L'image de -1 est $g(-1) = (-1)^2 - 5 \times (-1) = 1 + 5 = 6$.
- Les antécédents de -6 vérifient $g(x) = -6$, i.e. $x^2 - 5x = -6 \iff x^2 - 5x + 6 = 0$.
Je calcule le discriminant $\Delta = (-5)^2 - 4 \times 1 \times 6 = 25 - 24 = 1 > 0$. Il y a donc deux solutions

$$x_1 = \frac{-(-5) - \sqrt{1}}{2 \times 1} = \frac{5 - 1}{2} = 2 \quad \text{et} \quad x_2 = \frac{-(-5) + \sqrt{1}}{2 \times 1} = \frac{5 + 1}{2} = 3.$$

Ainsi -6 admet deux antécédents par g , à savoir 2 et 3.

- Les antécédents de -7 vérifient $g(x) = -7$, i.e. $x^2 - 5x = -7 \iff x^2 - 5x + 7 = 0$.
Je calcule le discriminant $\Delta = (-5)^2 - 4 \times 1 \times 7 = 25 - 28 = -3 < 0$.
L'équation n'a donc aucune solution. Ainsi -7 n'admet aucun antécédent par g .

Remarque 3.4 – Il peut y avoir un, plusieurs ou même aucun antécédent.

En revanche, il ne peut y avoir qu'**UNE SEULE IMAGE**!

Définition 3.5 – Pour une fonction f donnée, l'ensemble de tous les nombres réels qui ont une image calculable par cette fonction est appelé **ensemble de définition** de la fonction f .

On parle aussi de **domaine de définition** de la fonction f . Il est souvent noté D_f .

Exemple 3.6 – La fonction $f : x \mapsto \frac{1}{2x-4}$ a pour ensemble de définition $\mathbb{R} \setminus \{2\}$.

Définition 3.7 – Dans le plan, muni d'un repère (O, \vec{i}, \vec{j}) , on nomme **courbe représentative** d'une fonction numérique f , l'ensemble des points de coordonnées $(x, f(x))$ du plan, pour x parcourant l'ensemble de définition de f . On la note souvent \mathcal{C}_f . Ainsi

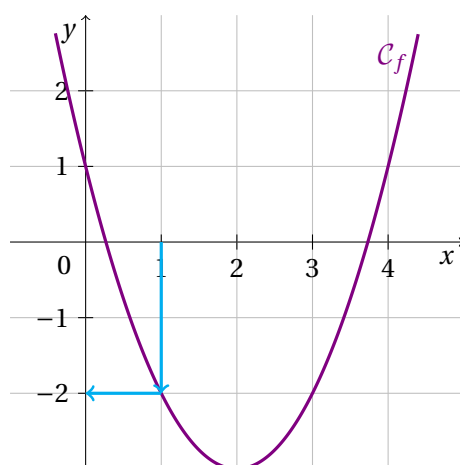
$$\mathcal{C}_f = \{(x, f(x)) \mid x \in D_f\}.$$

Remarque 3.8 – En résumé, les images $f(x)$ se lisent sur l'axe des ordonnées et les antécédents x sur l'axe des abscisses.



Méthode 3.9 – Lire une image ou un antécédent à partir d'une courbe

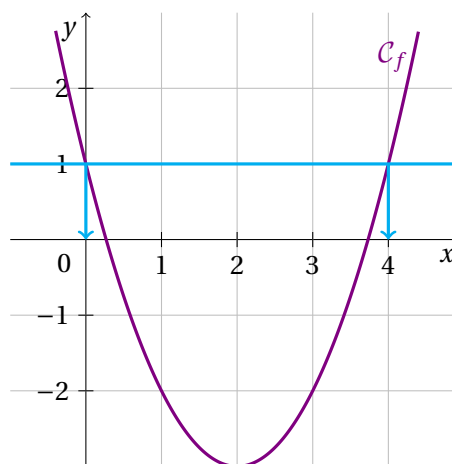
Trouver l'image d'un nombre



1. On place x sur l'axe des abscisses.
2. On se déplace verticalement jusqu'à rencontrer la courbe \mathcal{C}_f .
3. On lit $f(x)$ sur l'axe des ordonnées.

Ici, l'image de 1 par f est -2 .

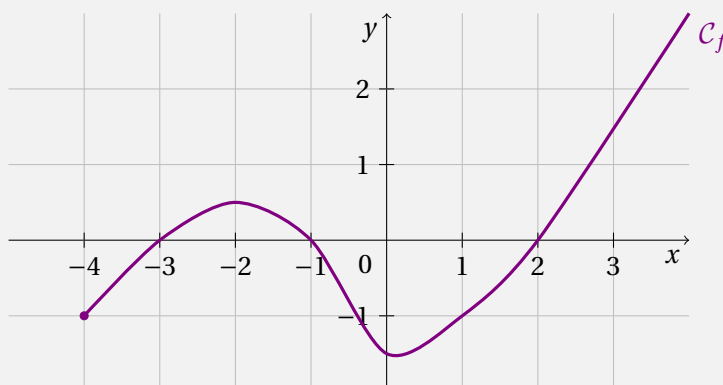
Trouver le ou les antécédents d'un nombre



1. On trace la droite horizontale passant par cette valeur.
2. Aux points d'intersection, on se déplace verticalement vers l'axe des abscisses pour lire les antécédents.

Ici, les antécédents de 1 par f sont 0 et 4 .

Exemple 3.10 – Soit f la fonction dont on donne la courbe représentative \mathcal{C}_f suivante.



1. Utiliser le graphique pour déterminer les valeurs de $f(-4)$, $f(-3)$ et $f(0)$.

$$f(-4) = -1, \quad f(-3) = 0 \quad \text{et} \quad f(0) = -1.5$$

2. Déterminer les images par f de 1 et 3.

$$f(1) = -1 \quad \text{et} \quad f(3) = 1.5$$

3. Trouver le ou les antécédents (s'ils existent) par la fonction f des nombres $\frac{1}{2}$, -1 et 2 .

- Les antécédents de $\frac{1}{2}$ sont -2 et 2.4 .
- Les antécédents de -1 sont -4 , -0.4 et 1 .
- L'unique antécédent de 2 est 3.4 .

II – Propriétés éventuelles d'une fonction

1 – Parité

Définition 3.11 –

- On dit que la fonction f est **paire** si l'ensemble de définition D_f est symétrique par rapport à 0 et que pour tout $x \in D_f$,

$$f(-x) = f(x).$$

- On dit que la fonction f est **impaire** si l'ensemble de définition est symétrique par rapport à 0 et que pour tout $x \in D_f$,

$$f(-x) = -f(x).$$

Remarque 3.12 – La condition " D_f est symétrique par rapport à 0" **ne doit pas être oubliée** lorsque l'on démontre qu'une fonction est paire ou impaire. Par exemple, une fonction $f : [-1, 2] \rightarrow \mathbb{R}$, quelque soit son expression, ne saurait être paire ou impaire, puisque son ensemble de définition $[-1, 2]$ n'est pas une partie de \mathbb{R} symétrique par rapport à 0.



Méthode 3.13 – Étudier la parité d'une fonction

On procède toujours en deux temps.

1. On vérifie que l'ensemble de définition D_f est symétrique par rapport à 0.
(Pour cela, on se contente souvent de le constater en observant D_f .)
2. On exprime $f(-x)$ à l'aide de $f(x)$, pour tout $x \in D_f$.

Remarque 3.14 – On peut retenir, pour la mise en oeuvre de cette méthode, la règle suivante :

$$(-x)^n = \begin{cases} x^n & \text{si } n \text{ est pair,} \\ -x^n & \text{si } n \text{ est impair.} \end{cases}$$

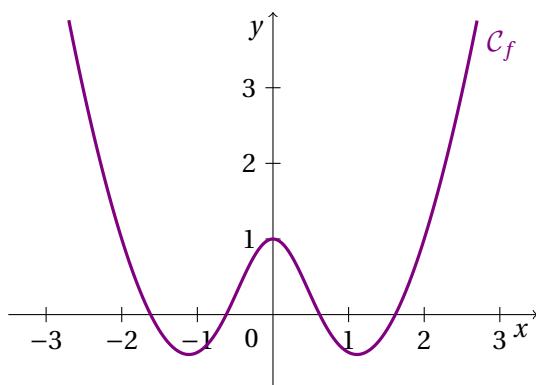
Par exemple, $(-x)^2 = x^2$ mais $(-x)^3 = -x^3$.

Exemple 3.15 –

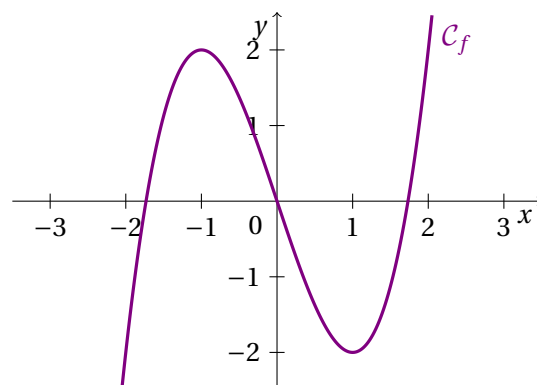
1. Étudier la parité de la fonction f définie sur \mathbb{R} par $f(x) = \frac{x}{1+x^2}$.
 \mathbb{R} est bien symétrique par rapport à 0 et $\forall x \in \mathbb{R}$, $f(-x) = \frac{-x}{1+(-x)^2} = -\frac{x}{1+x^2} = -f(x)$.
Donc la fonction f est impaire.
2. Étudier la parité de la fonction f définie sur $] -\infty, -1] \cup [1, +\infty[$ par $f(x) = \sqrt{x^2 - 1}$.
 $] -\infty, -1] \cup [1, +\infty[$ est bien symétrique par rapport à 0 et $\forall x \in] -\infty, -1] \cup [1, +\infty[$,
 $f(-x) = \sqrt{(-x)^2 - 1} = \sqrt{x^2 - 1} = f(x)$. Donc la fonction f est paire.

Théorème 3.16 – Interprétation graphique

- La courbe représentative d'une fonction **paire** est symétrique par rapport à l'axe des ordonnées.
- La courbe représentative d'une fonction **impaire** est symétrique par rapport à l'origine du repère.



Courbe représentative d'une fonction paire



Courbe représentative d'une fonction impaire

2 – Monotonie

Définition 3.17 – Soit f une fonction définie sur un intervalle I . On dit que

- f est **croissante** sur I lorsque

$$\forall x, y \in I, \quad x \leq y \iff f(x) \leq f(y)$$

- f est **strictement croissante** sur I lorsque

$$\forall x, y \in I, \quad x < y \iff f(x) < f(y)$$

- f est **décroissante** sur I lorsque

$$\forall x, y \in I, \quad x \leq y \iff f(x) \geq f(y)$$

- f est **strictement décroissante** sur I lorsque

$$\forall x, y \in I, \quad x < y \iff f(x) > f(y)$$

Lorsqu'une fonction f est croissante ou décroissante (resp. strictement croissante ou décroissante), on dit que f est **monotone** (resp. **strictement monotone**).

Enfin la fonction f est dite **constante** sur I lorsque

$$\forall x, y \in I, \quad f(x) = f(y).$$

Remarque 3.18 –

- On dit qu'une fonction croissante **conserve** l'ordre et qu'une fonction décroissante **inverse** l'ordre.
- Il existe des fonctions qui ne sont pas monotones, c'est-à-dire qu'elles ne sont ni croissantes ni décroissantes. Elles peuvent par exemple être l'un puis l'autre.

3 – Fonctions bornées

Définition 3.19 – Soit f une fonction définie sur un intervalle I . On dit que

- f est **majorée** sur I lorsqu'elle vérifie

$$\exists M \in \mathbb{R}, \quad \forall x \in I, \quad f(x) \leq M$$

On dit alors que M est un **majorant** de f .

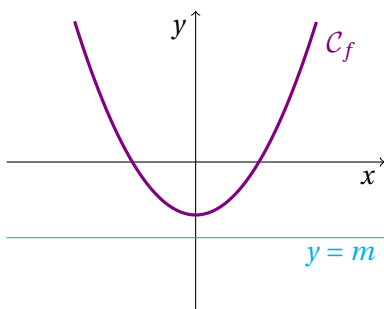
- f est **minorée** sur I lorsqu'elle vérifie

$$\exists m \in \mathbb{R}, \quad \forall x \in I, \quad f(x) \geq m.$$

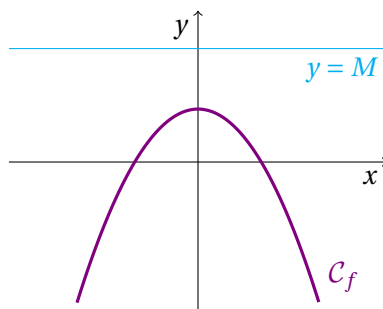
On dit alors que m est un **minorant** de f .

Enfin la fonction f est dite **bornée** sur I lorsqu'elle est à la fois majorée **et** minorée sur I .

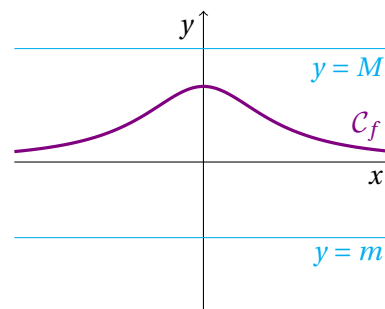
Remarque 3.20 – Graphiquement, une fonction f est majorée par un réel M (resp. minorée par un réel m) lorsque sa courbe représentative est située en dessous (resp. au-dessus) de la droite horizontale d'équation $y = M$ (resp. $y = m$).



Courbe représentative
d'une fonction minorée



Courbe représentative
d'une fonction majorée



Courbe représentative
d'une fonction bornée



Méthode 3.21 – Montrer qu'une fonction est majorée/minorée/bornée

Pour montrer qu'une fonction est majorée ou minorée, il y a plusieurs possibilités :

- Lorsque la fonction f est définie sur un intervalle borné, on peut partir du domaine de définition de $f : x \in \dots$ puis on essaie de reconstituer la fonction f en appliquant les opérations et fonctions élémentaires (en faisant bien attention au maintien ou non des inégalités, selon que la fonction appliquée est croissante ou décroissante).
- Si la question posée est "Montrer que $f(x) \leq M$.", on peut étudier le signe de la différence $f(x) - M$ et montrer que $f(x) - M \leq 0$.
Inversement, si la question posée est "Montrer que $f(x) \geq m$.", on peut étudier le signe de $f(x) - m$ et montrer que $f(x) - m \geq 0$.

Exemple 3.22 –

1. Soit f la fonction définie pour $x \in [0, 1]$ par $f(x) = \frac{1}{1+x^2}$.

Montrer que $\forall x \in [0, 1], 0 \leq f(x) \leq 1$.

Je pars du domaine de définition de f , à savoir $x \in [0, 1]$ puis je reconstitue la fonction f :

$$0 \leq x \leq 1 \iff 0 = 0^2 \leq x^2 \leq 1^2 = 1 \iff 1 \leq 1+x^2 \leq 2 \iff \frac{1}{2} \leq \frac{1}{1+x^2} \leq \frac{1}{1} = 1 \iff \frac{1}{2} \leq f(x) \leq 1$$

J'ai ainsi montré que pour tout $x \in [0, 1], \frac{1}{2} \leq f(x) \leq 1$. Et puisque $0 \leq \frac{1}{2}$, j'ai bien montré que

$$\forall x \in [0, 1], 0 \leq f(x) \leq 1.$$

2. Soit g la fonction définie pour $x \in]-1, +\infty[$ par $g(x) = \frac{3x}{1+x}$. Montrer g est majorée par 3.

J'étudie cette fois le signe de la différence $g(x) - 3$ et montre que $g(x) - 3 \leq 0$.

$$g(x) - 3 = \frac{3x}{1+x} - 3 = \frac{3x}{1+x} - \frac{3(1+x)}{1+x} = \frac{3x - 3 - 3x}{1+x} = \frac{-3}{1+x}$$

Je peux alors établir le tableau de signe suivant :

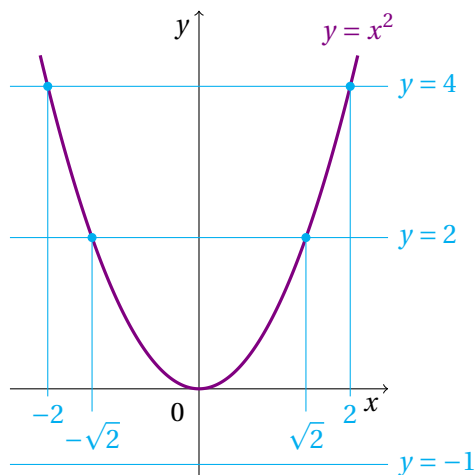
| x | -1 | $+\infty$ |
|------------|------|-----------|
| -3 | | $-$ |
| $1+x$ | 0 | $+$ |
| $g(x) - 3$ | | $-$ |

J'ai bien montré que $g(x) - 3 \leq 0$ sur $] -1, +\infty[$, i.e.

$$\forall x \in] -1, +\infty[, g(x) \leq 3.$$

III– Fonctions usuelles

1 – Fonction carrée



Soit $f : x \mapsto x^2$ la fonction carrée, dont la courbe représentative est donnée ci-contre.

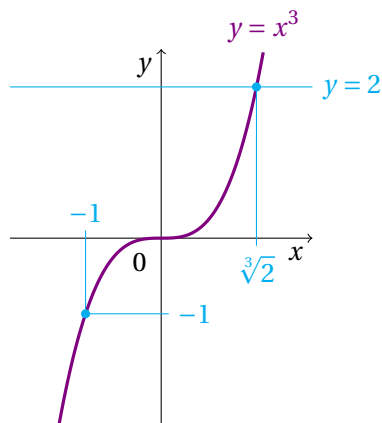
- Son ensemble de définition est $D_f = \mathbb{R}$.
- 2 et -2 ont la même image par la fonction carrée : 4.
En effet, $2^2 = (-2)^2 = 4$.
- Les antécédents de 2 par la fonction carrée sont $\sqrt{2}, -\sqrt{2}$.
En effet, les deux solutions de l'équation $x^2 = 2$ sont $x = \sqrt{2}$ et $x = -\sqrt{2}$.
- -1 n'a pas d'antécédent par la fonction carrée, puisque l'équation $x^2 = -1$ n'admet pas de solution réelle.

Théorème 3.23 – La fonction carrée

La fonction carrée, donnée par $f : \begin{matrix} \mathbb{R} & \rightarrow & \mathbb{R}_+ \\ x & \mapsto & x^2 \end{matrix}$ vérifie les propriétés suivantes :

- f est à valeurs positives,
- f est paire,
- f est strictement décroissante sur $] -\infty, 0]$ et strictement croissante sur $[0, +\infty[$.

2 – Fonction cube



Soit $g : x \mapsto x^3$ la fonction cube, dont la courbe représentative est donnée ci-contre.

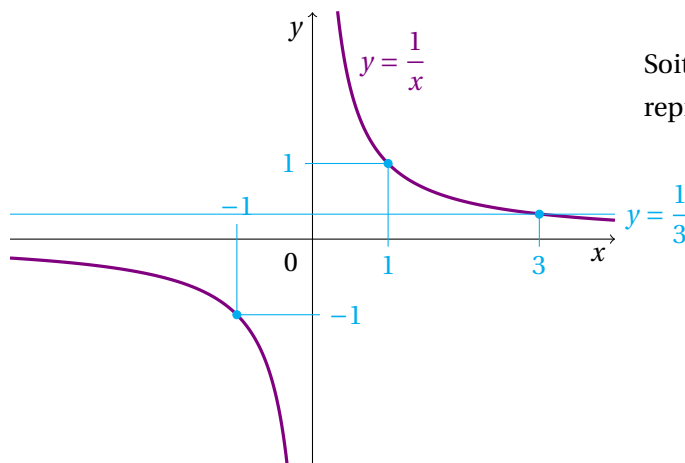
- Son ensemble de définition est $D_g = \mathbb{R}$.
- -1 a pour image -1 .
En effet, $g(-1) = (-1)^3 = -1$.
- 2 a pour unique antécédent par g le nombre $\sqrt[3]{2} \approx 1.26$.
- En fait, tout élément $y \in \mathbb{R}$ admet un **unique** antécédent x par g , noté $\sqrt[3]{y}$. On dit que la fonction cube $g : x \mapsto x^3$ est une **bijection** de \mathbb{R} sur \mathbb{R} .

Théorème 3.24 – La fonction cube

La fonction cube, donnée par $g : \begin{matrix} \mathbb{R} & \rightarrow & \mathbb{R} \\ x & \mapsto & x^3 \end{matrix}$ vérifie les propriétés suivantes :

- g est impaire,
- g est strictement croissante sur \mathbb{R} ,
- g n'est ni majorée, ni minorée sur \mathbb{R} .

3– Fonction inverse



Soit h la fonction inverse $h : x \mapsto \frac{1}{x}$ dont la courbe représentative est donnée ci-contre.

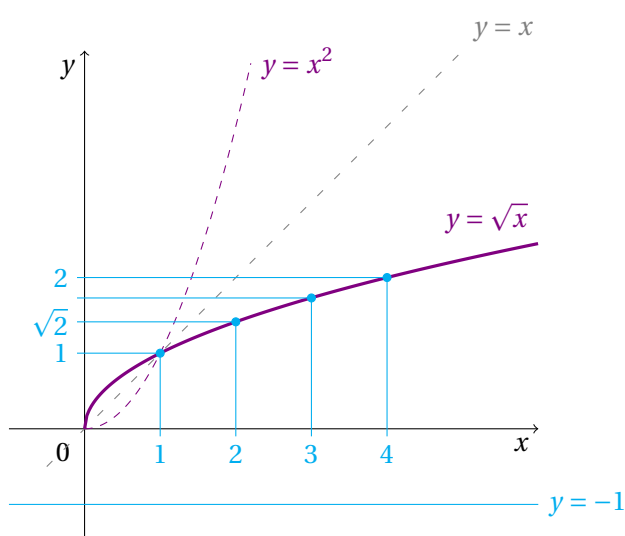
- Son ensemble de définition est $D_h = \mathbb{R} \setminus \{0\} = \mathbb{R}^*$.
En effet, $\frac{1}{x}$ n'est pas défini pour $x = 0$.
- Les images respectives de 1 et -1 sont 1, -1.
En effet, $h(1) = \frac{1}{1} = 1$ et $h(-1) = \frac{1}{-1} = -1$.
- L'unique antécédent de $\frac{1}{3}$ est 3.

Théorème 3.25 – La fonction inverse

La fonction inverse, donnée par $h : \begin{matrix} \mathbb{R}^* & \rightarrow & \mathbb{R}^* \\ x & \mapsto & \frac{1}{x} \end{matrix}$ vérifie les propriétés suivantes :

- h est impaire,
- h est strictement décroissante sur $] -\infty, 0[$ et sur $] 0, +\infty[$,
- h n'est ni majorée, ni minorée sur \mathbb{R}^* .

4– Fonction racine carrée



Soit $\sqrt{\cdot}$ la fonction racine carrée $\sqrt{\cdot} : x \mapsto \sqrt{x}$ dont la courbe représentative est donnée ci-contre.

- Sa courbe représentative est la branche de parabole obtenue par symétrie par rapport à la droite $y = x$ de la courbe représentative de la fonction carrée sur l'intervalle \mathbb{R}_+ .
- Son domaine de définition est $D_{\sqrt{\cdot}} = \mathbb{R}_+$.
- Les images de 0, 1, 2 et 3 sont

$$\sqrt{0} = 0, \quad \sqrt{1} = 1,$$

$$\sqrt{2} \approx 1.41, \quad \sqrt{3} \approx 1.73.$$

- -1 n'a pas d'antécédent par la fonction racine carrée.

Théorème 3.26 – La fonction racine carrée

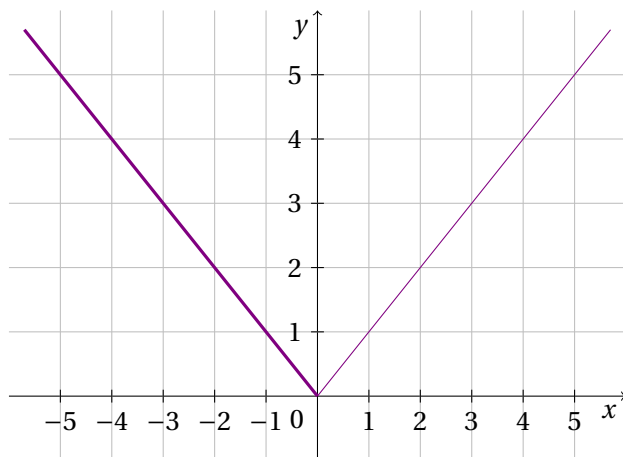
La fonction racine carrée, donnée par $\sqrt{\cdot} : \begin{matrix} \mathbb{R}_+ & \rightarrow & \mathbb{R}_+ \\ x & \mapsto & \sqrt{x} \end{matrix}$ vérifie les propriétés suivantes :

- $\sqrt{\cdot}$ est strictement croissante sur \mathbb{R}_+ ,
- $\sqrt{\cdot}$ est minorée par 0 mais n'est pas majorée.

5 – Fonction valeur absolue

Pour un réel x , on peut le décomposer en regardant son signe ("+" ou "-") et sa valeur sans le signe. Cette valeur est appelée **valeur absolue** de x (le contraire d'absolu étant ici *relatif*).

La valeur absolue d'un nombre peut ainsi être vue comme "le nombre sans son signe".



Soit $|\cdot|$ la fonction valeur absolue $|\cdot| : x \mapsto |x|$ dont la courbe représentative est donnée ci-dessus.

- Son domaine de définition est $D_{|\cdot|} = \mathbb{R}$.
- 5 et -5 ont la même image par la fonction valeur absolue : 5.
- Les antécédents de 4 par la fonction valeur absolue sont 4 et -4.
- -1 n'a pas d'antécédent par la fonction valeur absolue, puisque celle-ci est **toujours positive**.

Théorème 3.27 – La fonction valeur absolue

La fonction valeur absolue, donnée par $|\cdot| : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}_+$ $x \mapsto \begin{cases} x & \text{si } x \geq 0, \\ -x & \text{si } x < 0. \end{cases}$ vérifie les propriétés :

- $|\cdot|$ est à valeurs positives,
- $|\cdot|$ est paire,
- $|\cdot|$ est strictement décroissante sur \mathbb{R}_- et strictement croissante sur \mathbb{R}_+ .

Remarque 3.28 – Il s'agit d'une fonction définie **par morceaux** : il existe deux formules pour la définir, selon que x soit positif ou négatif. C'est pour cela que sa courbe représentative est composée de deux demi-droites ayant pour origine l'origine du repère (0,0). Le "coin" formé par ses deux demi-droites sera abordé dans le Chapitre 8.

Proposition 3.29

Soient $x \in \mathbb{R}$ et $y \in \mathbb{R}_+$. Alors

$$(\sqrt{y})^2 = y \quad \text{et} \quad \sqrt{x^2} = |x|.$$

Exemple 3.30 – $\sqrt{(-3)^2} = \sqrt{9} = 3 = |-3|$

Proposition 3.31

Soient a et b deux réels.

- On appelle **distance** entre a et b la valeur $|b - a|$. Il s'agit d'un réel positif.
- On appelle **longueur** de l'intervalle $[a, b]$ (ou $]a, b[$ ou ...) la valeur $|b - a|$.

Exemple 3.32 –

1. Donner la distance entre les réels suivants.

$$\bullet \text{ dist}(0, 8) = |8 - 0| = 8, \quad \bullet \text{ dist}(-2, 5) = |5 + 2| = 7, \quad \bullet \text{ dist}(5, -4) = |-4 - 5| = 9.$$

2. Donner la longueur des intervalles suivants.

$$\bullet \text{ lg}([3, 4]) = |4 - 3| = 1, \quad \bullet \text{ lg}(]-9, 2]) = |2 + 9| = 11, \quad \bullet \text{ lg}(]-6, 9[) = |9 + 6| = 15.$$

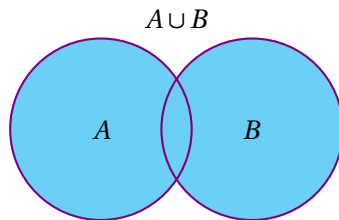
IV – Opérations sur les fonctions

Remarque 3.33 – Les symboles "réunion \cup ", "intersection \cap " et "privé de \setminus "

Soient A et B deux ensembles.

- On appelle **réunion** (ou **union**) de A et de B l'ensemble des x , noté $A \cup B$, tels que

$$x \in A \quad \text{OU} \quad x \in B.$$

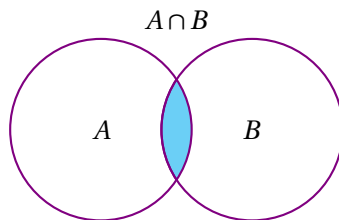


Par exemple, si $A = \{1, 2, 4, 7\}$ et $B = \{2, 3, 7, 8, 9\}$, alors

$$A \cup B = \{1, 2, 3, 4, 7, 8, 9\}.$$

- On appelle **intersection** de A et de B l'ensemble des x , noté $A \cap B$, tels que

$$x \in A \quad \text{ET} \quad x \in B.$$

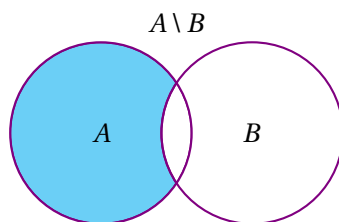


Par exemple, si $A = [1, 3]$ et $B = [-1, 2]$, alors

$$A \cap B = [1, 2].$$

- On note $A \setminus B$ (lire A "privé de" B), l'ensemble des x tels que

$$x \in A \quad \text{ET} \quad x \notin B.$$



Par exemple, si $A = \{1, 2, 4, 7\}$ et $B = \{2, 3, 7, 8, 9\}$, alors

$$A \setminus B = \{1, 4\}.$$

Définition 3.34 – Soient f et g deux fonctions définies respectivement sur D_f et D_g .

- Addition** : La somme $f + g$ désigne la fonction définie sur $D_f \cap D_g$ par

$$\forall x \in D_f \cap D_g, \quad (f + g)(x) = f(x) + g(x).$$

- Multiplication** : Le produit fg désigne la fonction définie sur $D_f \cap D_g$ par

$$\forall x \in D_f \cap D_g, \quad (fg)(x) = f(x) \times g(x).$$

- Division** : Le quotient $\frac{f}{g}$ désigne la fonction définie $D = D_f \cap D_g \setminus \{x \in D_g \mid g(x) = 0\}$ par

$$\forall x \in D, \quad \left(\frac{f}{g}\right)(x) = \frac{f(x)}{g(x)}.$$

Exemple 3.35 – On considère les fonctions $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} \quad x \mapsto x^2 - 1$ et $g: \mathbb{R}_+ \rightarrow \mathbb{R}_+ \quad x \mapsto \sqrt{x}$.

Pour chacune des fonctions suivantes, déterminer son domaine de définition et son expression.

- $f + g$: f est définie sur \mathbb{R} et g est définie sur \mathbb{R}_+ donc $f + g$ est définie sur $\mathbb{R} \cap \mathbb{R}_+ = \mathbb{R}_+$ par

$$\forall x \in \mathbb{R}_+, \quad (f + g)(x) = f(x) + g(x) = x^2 - 1 + \sqrt{x}.$$

- fg : f est définie sur \mathbb{R} et g est définie sur \mathbb{R}_+ donc fg est définie sur $\mathbb{R} \cap \mathbb{R}_+ = \mathbb{R}_+$ par

$$\forall x \in \mathbb{R}_+, \quad (fg)(x) = f(x)g(x) = (x^2 - 1)\sqrt{x} = x^2\sqrt{x} - \sqrt{x}.$$

- $\frac{g}{f}$: f est définie sur \mathbb{R} et g est définie sur \mathbb{R}_+ .

$$\text{Aussi } f(x) = 0 \iff x^2 - 1 = 0 \iff x^2 = 1 \iff x = 1 \text{ ou } x = -1.$$

Donc $\frac{g}{f}$ est définie sur $\mathbb{R} \cap \mathbb{R}_+ \setminus \{-1, 1\} = \mathbb{R}_+ \setminus \{1\}$ et

$$\forall x \in \mathbb{R}_+ \setminus \{1\}, \quad \left(\frac{g}{f}\right)(x) = \frac{g(x)}{f(x)} = \frac{\sqrt{x}}{x^2 - 1}.$$

Définition 3.36 – Soient f et g deux fonctions définies respectivement sur D_f et D_g .

La **composée** de f suivie de g , notée $g \circ f$, est définie pour les $x \in D_f$ tels que $f(x) \in D_g$ par

$$g \circ f(x) = g(f(x)).$$

Ainsi $g \circ f$ est définie sur $D_{g \circ f} = \{x \in D_f \mid f(x) \in D_g\}$.

Exemple 3.37 –

- Soient $f(x) = 3x - 4$ et $g(x) = x^2$. Donner l'ensemble de définition et l'expression de $g \circ f$.
Les deux fonctions sont définies sur \mathbb{R} donc la fonction $g \circ f$ est aussi définie sur \mathbb{R} . De plus,

$$g \circ f(x) = g(f(x)) = g(3x - 4) = (3x - 4)^2.$$

- Soient $f(x) = x^2 + 1$ et $g(x) = \sqrt{x}$. Donner l'ensemble de définition et l'expression de $g \circ f$.
La fonction f est définie sur \mathbb{R} et g est définie sur \mathbb{R}_+ . Par ailleurs,

$$f(x) \geq 0 \iff x^2 + 1 \geq 0 \iff x^2 \geq -1 \iff x \in \mathbb{R}.$$

Donc j'en déduis que $g \circ f$ est définie sur \mathbb{R} tout entier. Et

$$g \circ f(x) = g(f(x)) = g(x^2 + 1) = \sqrt{x^2 + 1}.$$

Méthode 3.38 – Déterminer l'ensemble de définition d'une fonction

1. Fonctions usuelles

- Une fonction polynomiale est définie sur \mathbb{R} .
- Une fraction rationnelle est définie sur \mathbb{R} privé des valeurs qui annulent son dénominateur, appelées **valeurs interdites**. En pratique, on résout l'équation "dénominateur = 0".
- La fonction racine carrée est définie sur \mathbb{R}_+ .



2. Fonctions quelconques

On commence par déterminer la **forme** de l'expression (somme, produit, quotient, composée) :

- Pour une **somme** ou un **produit** : déterminer l'ensemble de définition de chacun des termes/facteurs et prendre l'intersection de ces ensembles.
- Pour un **quotient** : prendre l'intersection des ensembles de définition respectifs du numérateur et du dénominateur puis retirer les valeurs qui annulent le dénominateur.
- Pour une **composée** : déterminer l'ensemble de définition de la première fonction et exprimer la condition assurant que l'image de la première fonction soit dans l'ensemble de définition de la seconde fonction. En particulier, une composée de la forme \sqrt{f} est définie lorsque f est définie **ET** que $f(x)$ est positif.

Exemple 3.39 – Déterminer les ensembles de définition des fonctions suivantes.

1. $f(x) = x^3 - 3x^2 + 2x - 5$

f est une fonction polynomiale donc f est définie sur \mathbb{R} .

2. $g(x) = \frac{2x+3}{4x-1}$

g est une fraction rationnelle donc g est définie sur \mathbb{R} privé de ses valeurs interdites.

Les valeurs interdites sont les solutions de $4x - 1 = 0 \iff 4x = 1 \iff x = \frac{1}{4}$.

Donc g est définie sur $\mathbb{R} \setminus \left\{ \frac{1}{4} \right\}$.

3. $h(x) = 4x - 1 + \sqrt{x}$

h est la somme de la fonction $x \mapsto 4x - 1$, polynomiale donc définie sur \mathbb{R} , et de la fonction $x \mapsto \sqrt{x}$, définie sur \mathbb{R}_+ . Donc h est définie sur $\mathbb{R} \cap \mathbb{R}_+ = \mathbb{R}_+$.

4. $j(x) = \frac{\sqrt{x}}{x}$

j est le quotient de la fonction $x \mapsto \sqrt{x}$, définie sur \mathbb{R}_+ , et de la fonction $x \mapsto x$, définie sur \mathbb{R} et qui s'annule en 0. Donc j est définie sur $\mathbb{R} \cap \mathbb{R}_+ \setminus \{0\} = \mathbb{R}_+^*$.

5. $k(x) = \sqrt{x^2 - 5x + 6}$

k est de la forme \sqrt{f} , avec $f(x) = x^2 - 5x + 6$. f est définie sur \mathbb{R} mais il me faut savoir pour quelles valeurs de x $f(x) \geq 0$. Je résous donc $x^2 - 5x + 6 \geq 0$. Pour cela, il me faut établir le tableau de signe du polynôme $x^2 - 5x + 6$. Je commence par calculer le discriminant : $\Delta = (-5)^2 - 4 \times 1 \times 6 = 25 - 24 = 1 > 0$.

Il y a donc deux racines

$$x_1 = \frac{-(-5) - \sqrt{1}}{2 \times 1} = \frac{5-1}{2} = 2 \quad \text{et} \quad x_2 = \frac{5+1}{2} = 3.$$

J'en déduis le tableau de signe suivant :

| x | $-\infty$ | 2 | 3 | $+\infty$ | |
|------------|-----------|---|---|-----------|---|
| x^2-5x+6 | + | 0 | - | 0 | + |

Donc k est définie là où f est positive, i.e. sur $] -\infty, 2] \cup [3, +\infty[$.

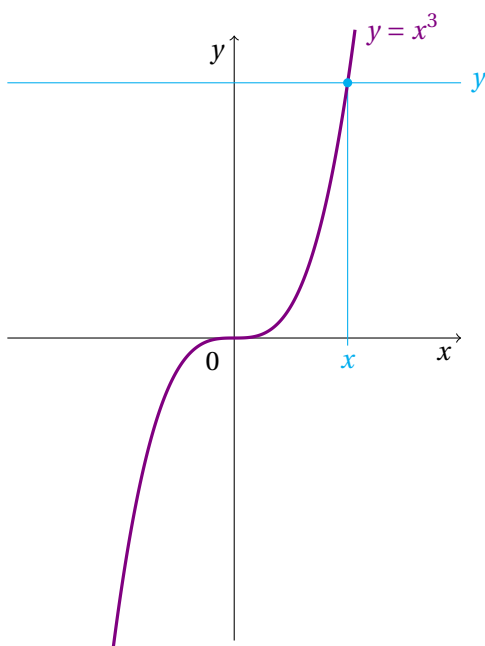
V – Fonction bijective

Définition 3.40 – Soient I et J deux intervalles. On dit qu'une fonction f est une **bijection** de I dans J ou que $f : I \rightarrow J$ est **bijective** si les deux conditions suivantes sont réunies :

1. pour tout $x \in I$, $f(x) \in J$,
2. pour tout $y \in J$, il existe un **unique** $x \in I$ tel que $f(x) = y$.

On peut alors définir une fonction appelée **bijection réciproque** ou **fonction réciproque** de f , que l'on note f^{-1} , définie sur J et à valeurs dans I , et qui, à un réel $y \in J$, associe l'**unique** solution $x \in I$ de l'équation $f(x) = y$.

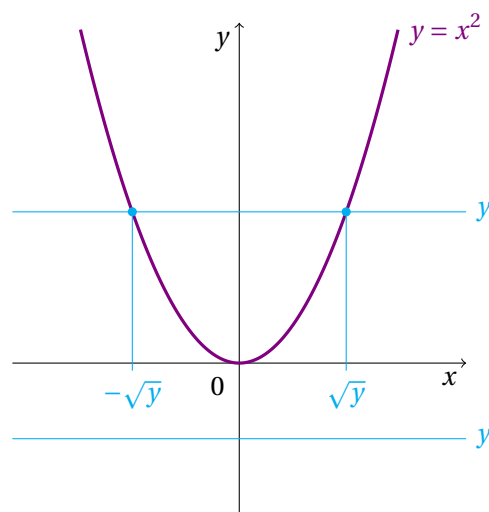
$$\forall x \in I, \quad \forall y \in J, \quad y = f(x) \iff x = f^{-1}(y).$$



Pour la fonction cube $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ dont la courbe est représentée ci-dessus, on observe graphiquement que tout élément y de \mathbb{R} admet un unique antécédent x .

Autrement dit, pour toute ordonnée $y \in \mathbb{R}$, il existe une unique abscisse $x \in \mathbb{R}$ telle que $y = x^3$.

La fonction cube est donc une bijection de \mathbb{R} sur \mathbb{R} .



Pour la fonction carrée $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ dont la courbe est représentée ci-dessus, la situation varie selon le signe de y . Graphiquement,

- si $y > 0$, il y a deux antécédents \sqrt{y} et $-\sqrt{y}$,
- si $y < 0$, il n'y a aucun antécédent.

Du fait de l'absence d'existence ou d'unicité pour les antécédents de y , la fonction carrée n'est pas une bijection de \mathbb{R} sur \mathbb{R} .

Remarque 3.41 – En revanche, la restriction de la fonction carré aux seuls réels positifs $f_+ : \mathbb{R}_+ \rightarrow \mathbb{R}_+$ est une bijection de \mathbb{R}_+ sur \mathbb{R}_+ .

Exemple 3.42 – Montrer que la fonction f définie sur \mathbb{R} par $f(x) = 3x - 2$ est une bijection de \mathbb{R} dans \mathbb{R} .

Tout d'abord, pour tout $x \in \mathbb{R}$, il est clair que $f(x) = 3x - 2 \in \mathbb{R}$. Je fixe ensuite un $y \in \mathbb{R}$ et je résous l'équation $f(x) = y$. Si la solution est unique, alors la fonction f est bijective.

$$f(x) = y \iff 3x - 2 = y \iff 3x = y + 2 \iff x = \frac{y + 2}{3}.$$

J'arrive à exprimer x en fonction de y donc pour tout $y \in \mathbb{R}$, il y a bien un unique antécédent $x \in \mathbb{R}$. Donc la fonction f décrit bien une bijection de \mathbb{R} dans \mathbb{R} .

La réciproque de la fonction f est $f^{-1} : y \mapsto \frac{y + 2}{3}$.