Calcul intégral

Notations du chapitre

Dans tout ce chapitre, I est un intervalle de $\mathbb{R}$ non vide et non réduit à un point.

Primitive d’une fonction

Définition 1.1 — Primitive d'une fonction

Soit $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ et $F : I \longrightarrow \mathbb{R}$.

On dit que F est une primitive de f sur I si et seulement si F est dérivable sur I et si

$$\forall x \in I, \qquad F'(x) = f(x).$$

Théorème 1.2 — Structure de l'ensemble des primitives

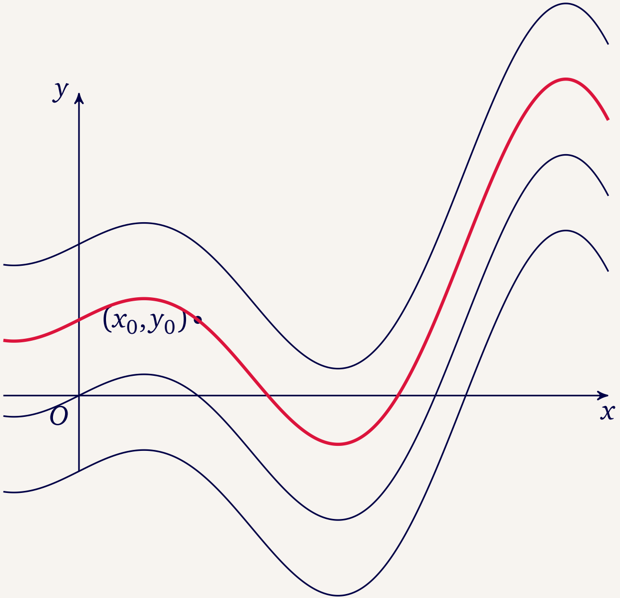
Si une fonction $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ admet pour primitive F_0, alors l'ensemble des primitives de f est $\{F_0 + \lambda \text{ avec } \lambda \in \mathbb{R}\}$.

Théorème 1.3 — Unicité d'une primitive

Soit $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$. On suppose que f admet une primitive.

Soit $x_0 \in I$ et $y_0 \in \mathbb{R}$.

$$\boxed{\text{Il existe une unique primitive } F \text{ de } f \text{ telle que } F(x_0) = y_0.}$$



Unicité de la primitive passant par (x_0, y_0).

Théorème 1.5 — Existence d'une primitive d'une fonction continue

Soit $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue.

$\boxed{\text{Alors } f \text{ admet une primitive sur } I.}$

Intégrale d’une fonction continue

Définition 2.1 — Intégrale d'une fonction continue

Soit a et b deux points de I, $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue et F une primitive de f.

La quantité $F(b) - F(a)$ ne dépend pas de la primitive choisie.

On appelle intégrale de f entre a et b le réel $F(b) - F(a)$ noté

$$\int_a^b f = \int_a^b f(x)\,\mathrm{d}x \stackrel{\text{déf.}}{=} \big[F(x)\big]_a^b = F(b) - F(a)$$

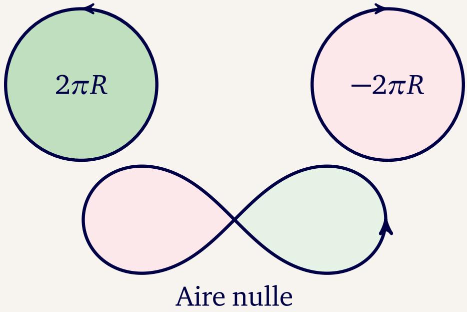
Théorème 2.2 — Théorème fondamental de l'Analyse

Soit f une fonction continue sur I et $a \in I$.

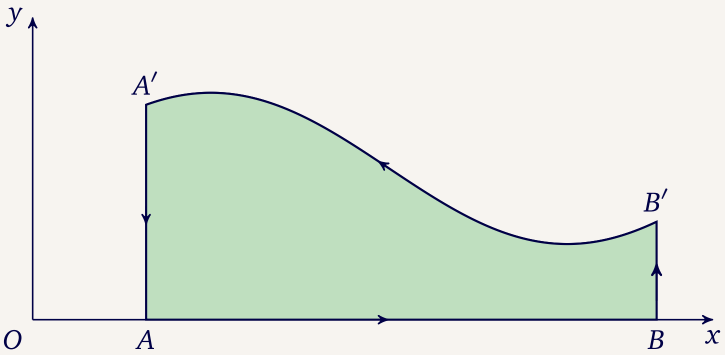
La fonction

$$F_a \quad : \left| \begin{array}{l} I \longrightarrow \mathbb{R} \\ x \longmapsto \int_a^x f \end{array} \right.$$

est l'unique primitive de f qui s'annule en a.



Aire algébrique



Aire d'un domaine défini à partir d'une fonction.

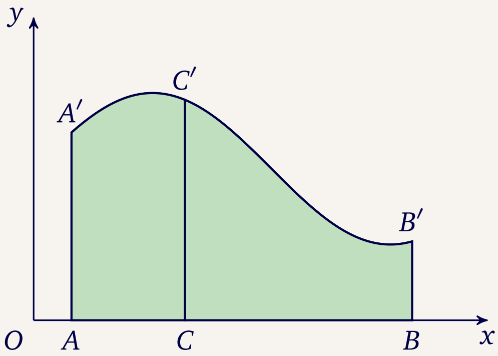
Propriétés de l’intégrale

Propriété 3.1 — Relation de Chasles

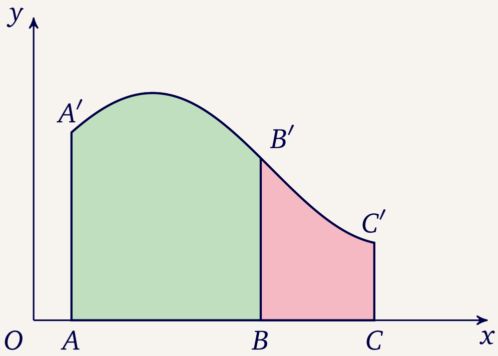
Soit $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue et a, b et c trois points de I.

$$\int_a^c f + \int_c^b f = \int_a^b f$$

Et $\displaystyle\int_a^a f = 0$ et $\displaystyle\int_a^b f = -\int_b^a f$



Cas $a < c < b$



Cas $a < b < c$

Propriété 3.4 — Linéarité de l'intégrale

Soit f et g deux fonctions continues définies sur I admettant pour primitives respectivement F et G :

- $F+G$ est une primitive de $f+g$ sur I, et donc
$$\int_a^b (f+g) = \int_a^b f + \int_a^b g$$
- si $\lambda \in \mathbb{R}$ alors λF est une primitive de λf sur I, et donc
$$\int_a^b \lambda f = \lambda \int_a^b f$$

Propriété 3.4 — Linéarité de l'intégrale

Soit f et g deux fonctions continues définies sur I admettant pour primitives respectivement F et G :

- $F+G$ est une primitive de $f+g$ sur I, et donc
$$\int_a^b (f+g) = \int_a^b f + \int_a^b g$$
- si $\lambda \in \mathbb{R}$ alors λF est une primitive de λf sur I, et donc
$$\int_a^b \lambda f = \lambda \int_a^b f$$

Propriété 3.5 — Positivité de l'intégrale

Soit $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue et $(a, b) \in I$.

Si f est positive sur $[\,a\,;\,b\,]$ et si $a \leqslant b$ alors $\displaystyle\int_a^b f \geqslant 0$. De plus si $\int_a^b f = 0$ alors f est nulle sur I.

Corollaire 3.6 — « Croissance » de l'intégrale

Soit $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ et $g : I \longrightarrow \mathbb{R}$ deux fonctions continues.

$$\boxed{\text{Si} \quad f \leqslant g \text{ et si } a \leqslant b \quad \text{alors} \quad \int_a^b f \leqslant \int_a^b g}$$

Proposition 3.7

Soit $f : I \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue.

$$\boxed{\left|\int_a^b f\right| \leqslant \int_a^b |f|}$$

Méthodes de calcul d’intégrales

Propriété 4.1 — Utilisation du formulaire

Soit u une fonction de classe C^1 sur I, qui ne s'annule pas sur cette intervalle. On a alors :

- u^{n+1} est une primitive de $-(n+1)u'u^n$ sur I (avec $n \neq -1$) ;
- $1/u$ est une primitive de $-u'/u^2$ sur I ;
- $\ln|u|$ est une primitive de u'/u sur I.

Propriété 4.1 — Utilisation du formulaire

Soit u une fonction de classe C^1 sur I, qui ne s'annule pas sur cette intervalle. On a alors :

- u^{n+1} est une primitive de $-(n+1)u'u^n$ sur I (avec $n \neq -1$) ;
- $1/u$ est une primitive de $-u'/u^2$ sur I ;
- $\ln |u|$ est une primitive de u'/u sur I.

Propriété 4.1 — Utilisation du formulaire

Soit u une fonction de classe C^1 sur I, qui ne s'annule pas sur cette intervalle. On a alors :

- u^{n+1} est une primitive de $-(n+1)u'u^n$ sur I (avec $n \neq -1$) ;
- $1/u$ est une primitive de $-u'/u^2$ sur I ;
- $\ln|u|$ est une primitive de u'/u sur I.

Théorème 4.2 — Intégration par parties

Soient u et v deux fonctions de classe C^1 sur un segment $[a\,;\,b]$

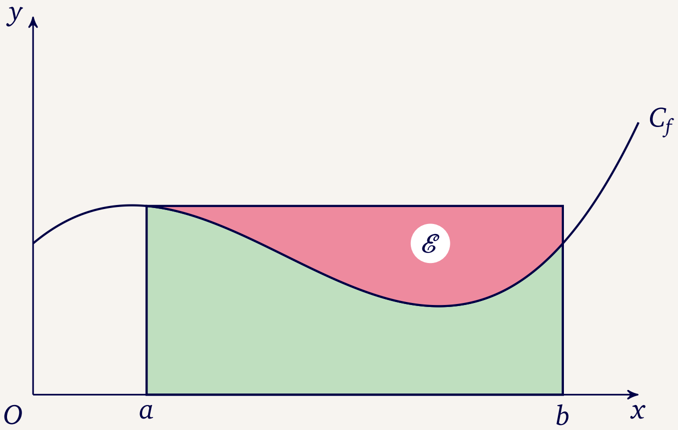
$$\boxed{\int_a^b uv' = \big[uv\big]_a^b - \int_a^b u'v}$$

Calcul approché d'intégrale

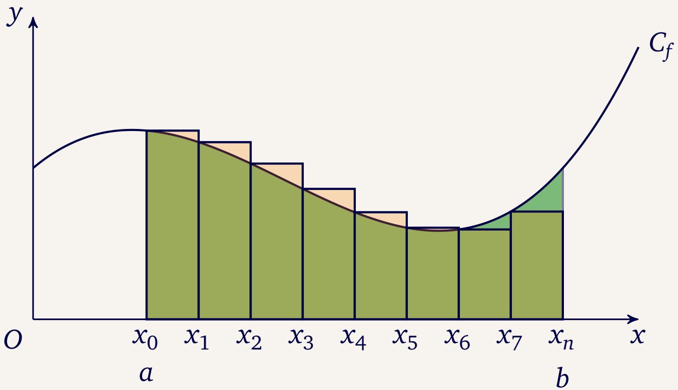
Théorème 5.1 — Formule de Taylor–Lagrange à l'ordre 2

Soit f une fonction de I dans $\mathbb{R}$, de classe C^2. Pour tout réels distincts a et b dans I, il existe un réel c strictement compris entre a et b tel que :

$$f(b) = f(a) + f'(a)(b-a) + \frac{f''(c)}{2}(b-a)^2$$



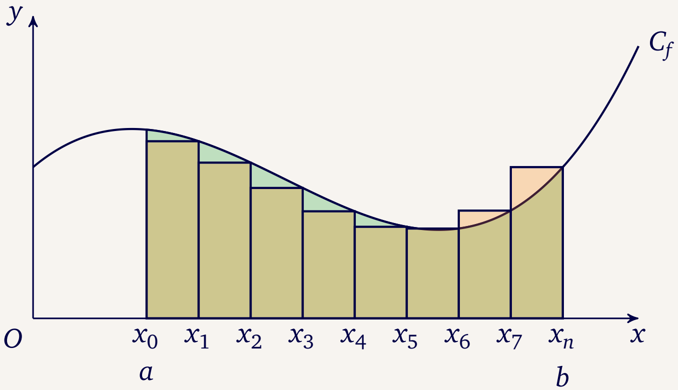
Méthode des rectangles : un rectangle.



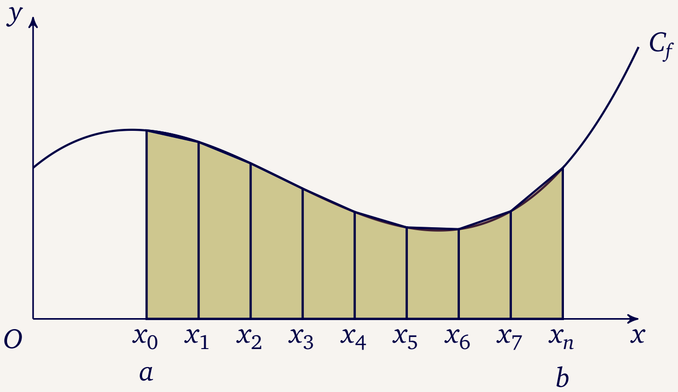
Méthode des rectangles à gauche : $S_n = \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n-1} f\left(\frac{k}{n}\right)$

Proposition 5.4

$$\lim_{n \to +\infty} S_n = \int_a^b f(t)\,\mathrm{d}t$$



Méthode des rectangles à droite : $S_n = \dfrac{1}{n}\displaystyle\sum_{k=1}^{n} f\left(\dfrac{k}{n}\right)$



Méthode des trapèzes $S_n = \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{1}{2}\left[f\left(\frac{k}{n}\right)+f\left(\frac{k+1}{n}\right)\right]$

Définition 5.7 — Valeur moyenne d'une fonction

Soit $f : [\,a\,;b\,] \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue, avec $a < b$. Par définition la valeur moyenne de f est le réel

$$\text{valeur moyenne de } f \overset{\text{déf.}}{=} \frac{1}{b-a}\int_a^b f$$

Théorème 5.8 — Somme de Riemann à gauche

Soit $f : [0\,;1] \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue.

$$\frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n-1} f\left(\frac{k}{n}\right) \xrightarrow[n\to+\infty]{} \int_0^1 f(t)\,\mathrm{d}t$$

Théorème 5.9 — Somme de Riemann à droite

Soit $f : [0\,;1] \longrightarrow \mathbb{R}$ une fonction continue.

$$\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} f\left(\frac{k}{n}\right) \xrightarrow[n\to+\infty]{} \int_0^1 f(t)\,\mathrm{d}t$$