



Chapitre II – Limites de fonctions

Bacomathiques — <https://bacomathiqu.es>

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| I – Limite d'une fonction en un point | 1 |
| 1. Limite infinie | 1 |
| 2. Limite finie | 3 |
| 3. Limites à gauche et à droite | 4 |
| 4. Asymptote verticale | 5 |
| II – Limite d'une fonction en l'infini | 6 |
| 1. Limite infinie | 6 |
| 2. Limite finie | 7 |
| 3. Asymptote horizontale | 8 |
| III – Calcul de limites | 10 |
| 1. Limites de fonctions de référence | 10 |
| 2. Opérations sur les limites | 10 |
| 3. Comparaisons et encadrements | 12 |

I – Limite d'une fonction en un point

1. Limite infinie

À RETENIR

Fonction tendant vers $+\infty$ en un point

Soit f une fonction (en classe de Terminale, on se limite aux fonctions réelles) d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . Soit a un réel appartenant à \mathcal{D}_f ou étant une borne de \mathcal{D}_f .

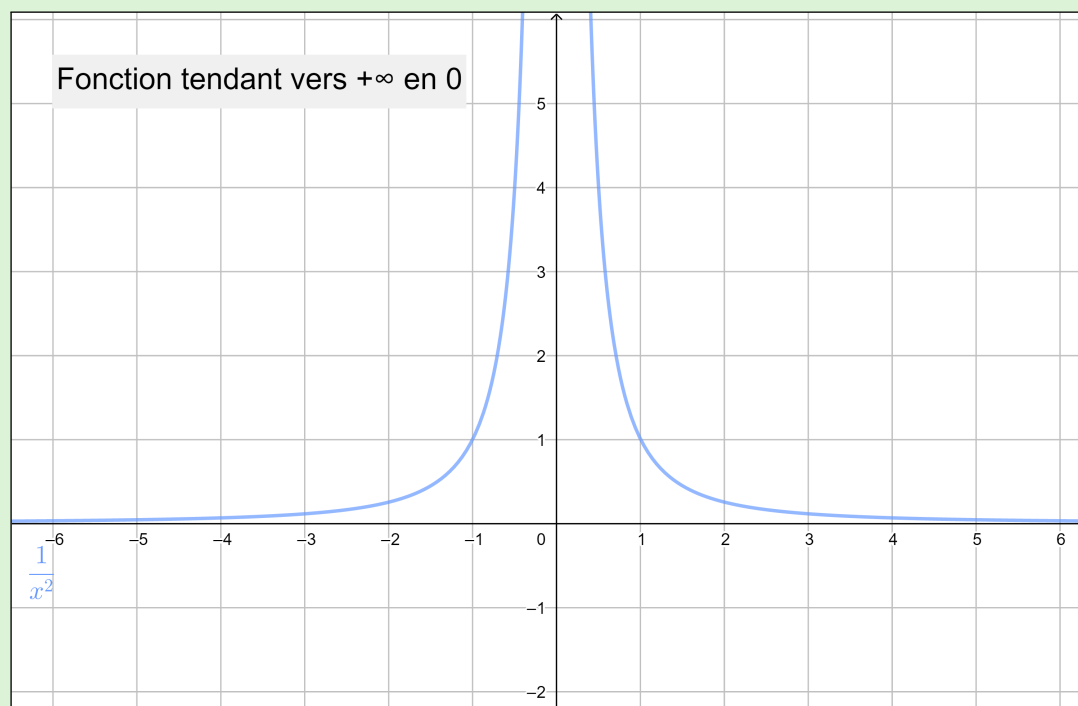
On dit que $f(x)$ **tend vers** $+\infty$ quand x tend vers a si $f(x)$ est aussi grand que l'on veut pourvu que x soit suffisamment proche de a .

On note ceci $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = +\infty$.

À LIRE

Exemple

La fonction f définie sur \mathbb{R}^* par $f(x) = \frac{1}{x^2}$, tend vers $+\infty$ quand x tend vers 0.



Il est tout à fait possible d'établir une définition similaire pour une fonction tendant vers $-\infty$ en un point.

À LIRE ∞

Fonction tendant vers $-\infty$ en un point

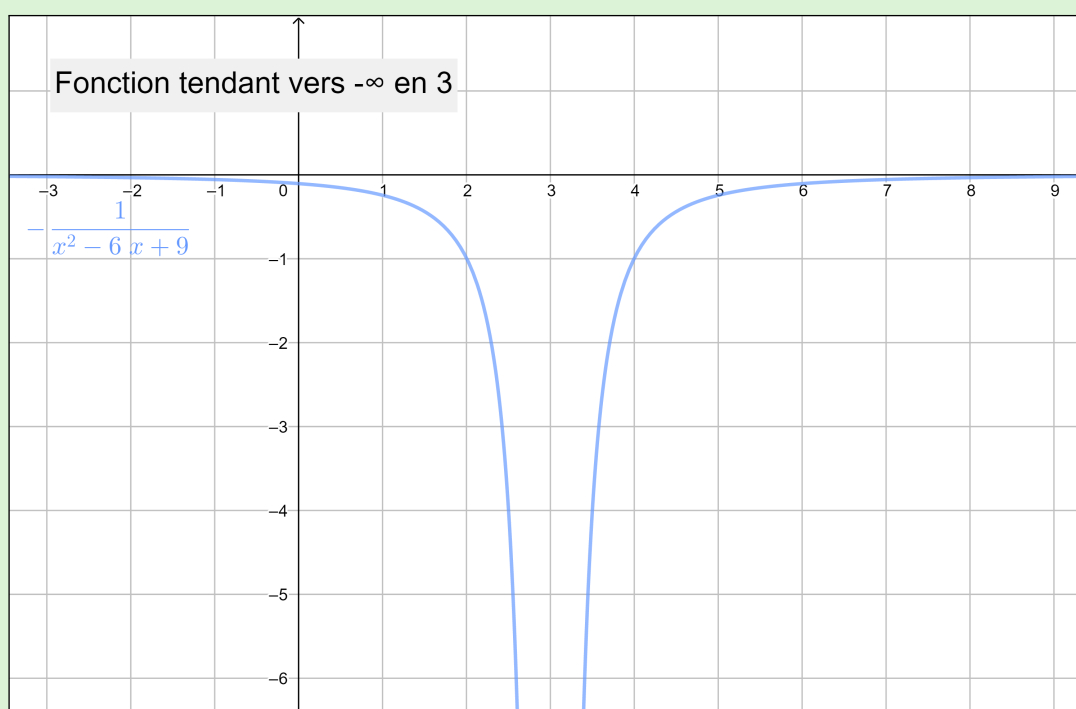
En reprenant les notations précédentes, on dit que $f(x)$ **tend vers** $-\infty$ quand x tend vers a si $f(x)$ est aussi petit que l'on veut pourvu que x suffisamment proche de a .

On note ceci $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = -\infty$.

À LIRE ∞

Exemple

La fonction f définie sur $]-\infty, 3[\cup]3, +\infty[$ par $f(x) = -\frac{1}{x^2 - 6x + 9}$, tend vers $-\infty$ quand x tend vers 3.



2. Limite finie

À RETENIR

Définition

Soit f une fonction d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . Soit a un réel appartenant à \mathcal{D}_f ou étant une borne de \mathcal{D}_f .

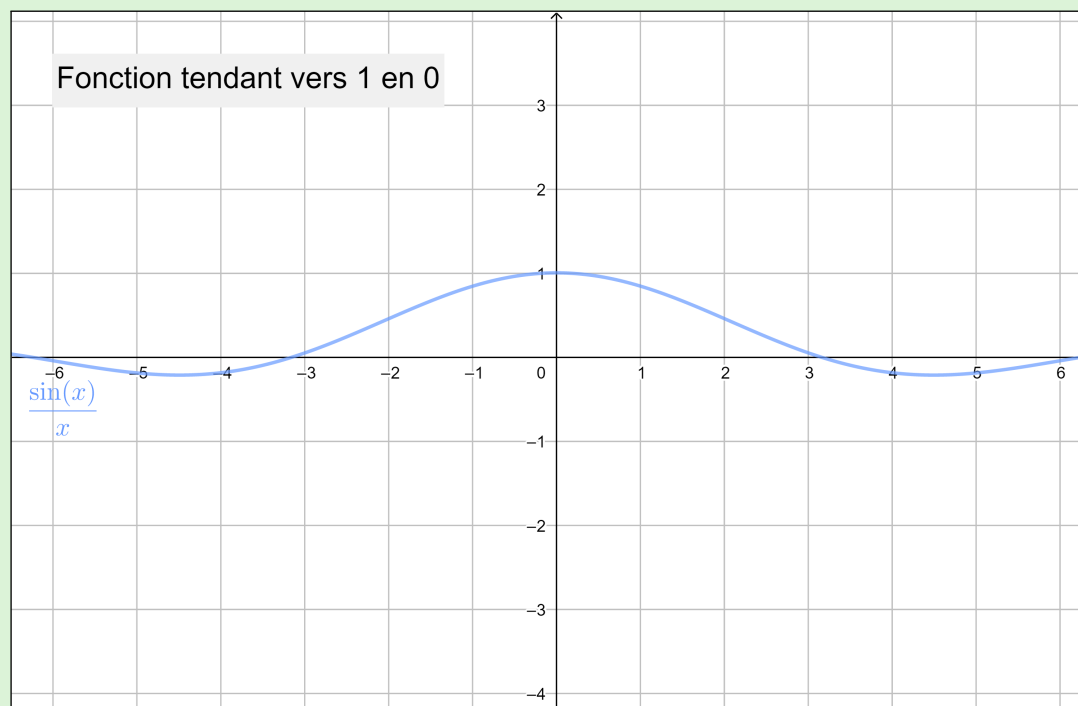
On dit que $f(x)$ **tend vers** ℓ quand x tend vers a si $f(x)$ est aussi proche de ℓ que l'on veut pourvu que x soit suffisamment proche de a .

On note ceci $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = \ell$.

À LIRE

Exemple

La fonction f définie sur \mathbb{R}^* par $f(x) = \frac{\sin(x)}{x}$, tend vers 1 quand x tend vers 0.



Une petite remarque cependant : cette limite n'est pas triviale à démontrer. On peut cependant en proposer une preuve à l'aide de la dérivée de la fonction sin (qui est cos) : $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x)}{x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x) - \sin(0)}{x - 0} = \sin'(0) = \cos(0) = 1$.

3. Limites à gauche et à droite

À RETENIR

Définition

Soit f une fonction d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . Soit a un réel appartenant à \mathcal{D}_f ou étant une borne de \mathcal{D}_f .

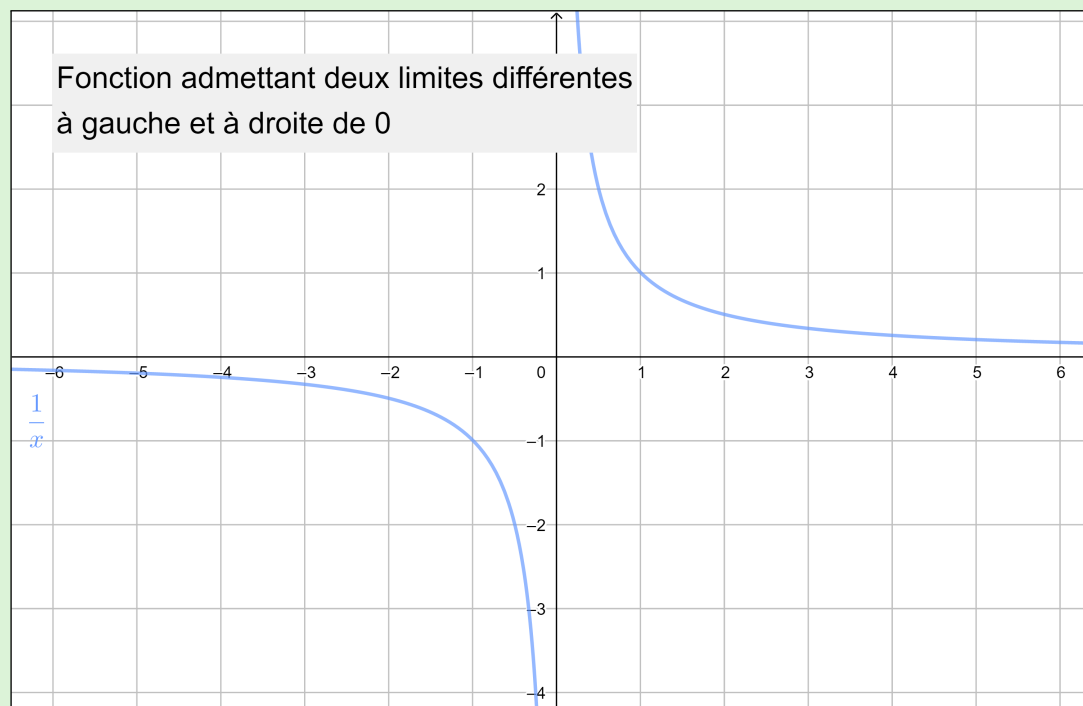
- On dit que $f(x)$ admet une **limite à gauche** quand x tend vers a si $f(x)$ admet une limite quand x tend vers a avec $x < a$. On la note $\lim_{x \rightarrow a^-} f(x)$.
- On dit que $f(x)$ admet une **limite à droite** quand x tend vers a si $f(x)$ admet une limite quand x tend vers a avec $x > a$. On la note $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x)$.

À LIRE

Exemple

La fonction f définie sur \mathbb{R}^* par $f(x) = \frac{1}{x}$, admet deux limites différentes à gauche et à droite de 0 :

- $\lim_{x \rightarrow 0^-} h(x) = -\infty$
- $\lim_{x \rightarrow 0^+} h(x) = +\infty$



4. Asymptote verticale

À RETENIR

Définition

Soit f une fonction d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . Soit a un réel appartenant à \mathcal{D}_f ou étant une borne de \mathcal{D}_f .

Alors si $f(x)$ admet une limite infinie quand x tend vers a , alors la droite d'équation $x = a$ est une **asymptote verticale** à la courbe représentative de f .

À LIRE

Exemple

En reprenant les exemples précédents :

- Les courbes représentatives des fonctions $x \mapsto \frac{1}{x}$ et $x \mapsto \frac{1}{x^2}$ admettent toutes deux une asymptote verticale d'équation $x = 0$.
- La courbe de la fonction $x \mapsto \frac{1}{x^2 - 6x + 9}$ admet une asymptote verticale d'équation $x = 3$.

II – Limite d'une fonction en l'infini

1. Limite infinie

À RETENIR 🔔

Fonction tendant vers $+\infty$ en $+\infty$

Soit f une fonction d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . On suppose qu'une des bornes de \mathcal{D}_f est $+\infty$.

On dit que $f(x)$ **tend vers** $+\infty$ si $f(x)$ est aussi grand que l'on veut pourvu que x soit suffisamment grand.

Comme précédemment, on peut écrire des définitions similaires pour dire que f tend vers $-\infty$ quand x tend vers $+\infty$.

À LIRE 🔗

Fonction tendant vers $-\infty$ en $+\infty$

En reprenant les notations précédentes, on dit que $f(x)$ **tend vers** $-\infty$ quand x tend vers $+\infty$ si $f(x)$ est aussi petit que l'on veut pourvu que x soit suffisamment grand.

À LIRE 🔗

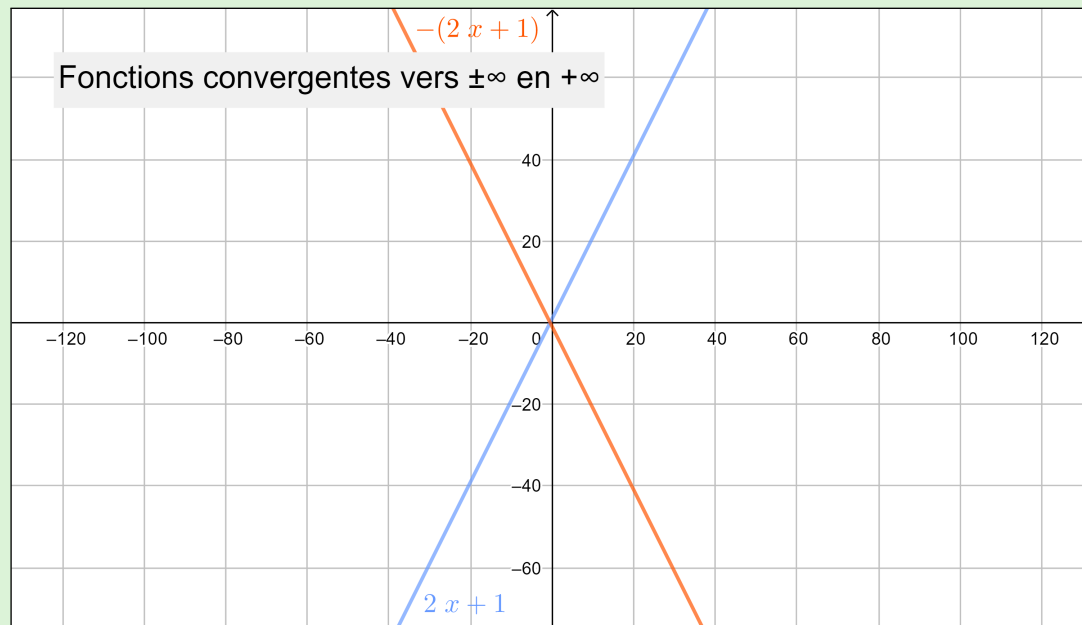
Fonction tendant vers $\pm\infty$ en $-\infty$

Pour avoir les définitions quand x tend vers $-\infty$, il suffit de remplacer “ x suffisamment grand” par “ x suffisamment petit” et il faut qu'une des bornes de \mathcal{D}_f soit $-\infty$.

À LIRE

Exemple

La fonction f définie sur \mathbb{R} par $f(x) = 2x + 1$, tend vers $+\infty$ quand x tend vers $+\infty$. Cependant, la fonction $-f : x \mapsto -2x - 1$ tend vers $-\infty$ quand x tend vers $+\infty$.



2. Limite finie

À RETENIR

Limite finie en $+\infty$

Soit f une fonction d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . On suppose qu'une des bornes de \mathcal{D}_f est $+\infty$.

On dit que $f(x)$ **tend vers** ℓ quand x tend vers $+\infty$ si $f(x)$ est aussi proche de ℓ que l'on veut pourvu que x soit suffisamment grand.

De même, on peut écrire une définition semblable quand x tend vers $-\infty$.

À LIRE

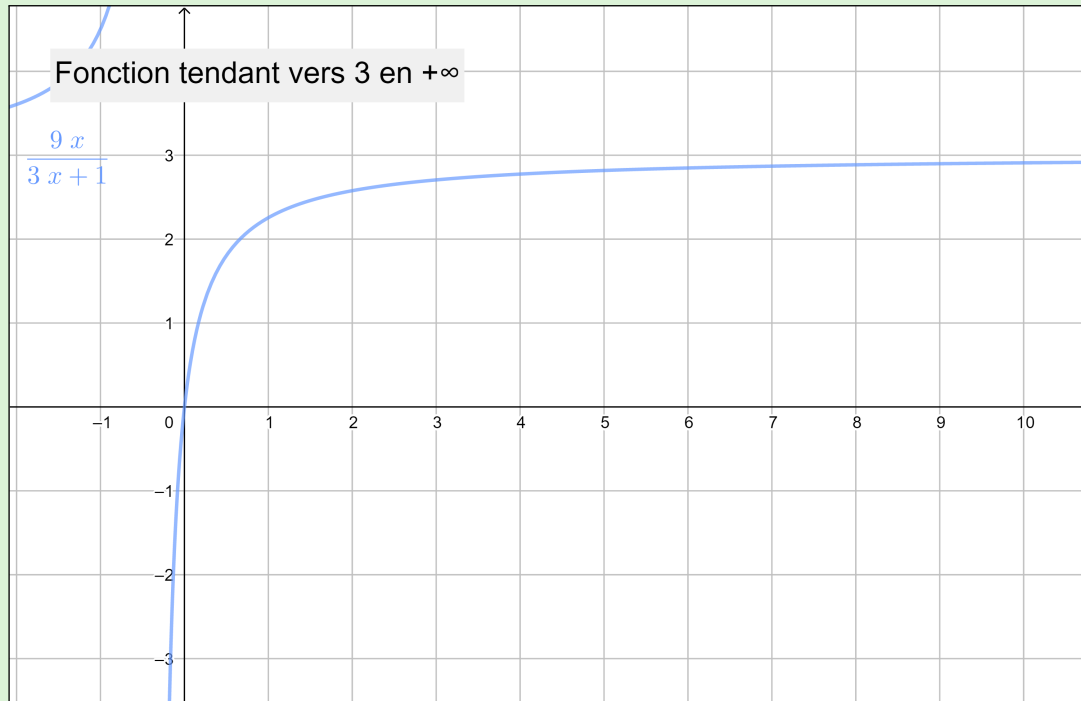
Limite finie en $-\infty$

En reprenant les notations précédentes et en supposant qu'une des bornes de \mathcal{D}_f soit $-\infty$, on dit que $f(x)$ **tend vers** ℓ quand x tend vers $-\infty$ si $f(x)$ est aussi proche de ℓ que l'on veut pourvu que x soit suffisamment petit.

À LIRE ∞

Exemple

La fonction f définie sur \mathbb{R}^+ par $f(x) = \frac{9x}{3x+1}$ tend vers 3 quand x tend vers $+\infty$.



3. Asymptote horizontale

À RETENIR 💡

Définition en $+\infty$

Soit f une fonction d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . On suppose qu'une des bornes de \mathcal{D}_f est $+\infty$.

Alors si $f(x)$ admet une limite finie ℓ quand x tend vers $+\infty$, alors la droite d'équation $y = \ell$ est une **asymptote horizontale** en $+\infty$ à la courbe représentative de f .

Comme tout ce que l'on a vu avant, il existe une définition semblable en $-\infty$.

À LIRE ⇨

Définition en $-\infty$

Soit f une fonction d'ensemble de définition \mathcal{D}_f . On suppose qu'une des bornes de \mathcal{D}_f est $-\infty$.

Alors si $f(x)$ admet une limite finie ℓ quand x tend vers $-\infty$, alors la droite d'équation $y = \ell$ est une **asymptote horizontale** en $-\infty$ à la courbe représentative de f .

À LIRE ⇨

Exemple

En reprenant l'exemple précédent, la courbe représentative de la fonction $x \mapsto \frac{9x}{3x+1}$ admet une asymptote horizontale d'équation $y = 3$ en $+\infty$.

De plus, elle admet une asymptote verticale d'équation $x = -\frac{1}{3}$.

III – Calcul de limites

1. Limites de fonctions de référence

Nous allons donner quelques fonctions “classiques” avec leur limite en quelques points.

À RETENIR

Limites de fonctions usuelles

| | $a = -\infty$ | $a = 0$ | $a = +\infty$ |
|--------------------------------------|---|---|---------------|
| $\lim_{x \rightarrow a} \frac{1}{x}$ | 0 | $-\infty$ si $a = 0^-$, $+\infty$ si $a = 0^+$ | 0 |
| $\lim_{x \rightarrow a} \sqrt{x}$ | Non définie | 0 si $a = 0^+$ | $+\infty$ |
| $\lim_{x \rightarrow a} x^k$ | $-\infty$ si k est impair, $+\infty$ si k est pair | 0 | $+\infty$ |
| $\lim_{x \rightarrow a} e^x$ | 0 | $e^0 = 1$ | $+\infty$ |

À LIRE

Rappel

On rappelle que 0^- signifie “tend vers 0 mais en restant inférieur à 0” et 0^+ signifie “tend vers 0 mais en restant supérieur à 0”.

2. Opérations sur les limites

Dans tout ce qui suit, f et g sont deux fonctions de domaines de définition \mathcal{D}_f et \mathcal{D}_g . Soit a un nombre réel appartenant à $\mathcal{D}_f \cap \mathcal{D}_g$ (ou qui est au moins une borne des deux à la fois). Les tableaux suivants ressemblent beaucoup à ceux qui sont disponibles dans le cours sur les suites donc vous pouvez bien-sûr n’en retenir qu’un des deux, et tenter à partir de là de retrouver l’autre.

À RETENIR

Limite d’une somme

| Limite d’une somme | | | | | | |
|---|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Si la limite de $f(x)$ quand x tend vers a est... | ℓ | ℓ | ℓ | $+\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ |
| Et la limite de g quand x tend vers a est... | ℓ' | $+\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ | $-\infty$ | $-\infty$ |
| Alors la limite de $f + g$ quand x tend vers a est... | $\ell + \ell'$ | $+\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ | $-\infty$ | ? |

À RETENIR

Limite d'un produit

| Limite d'un produit | | | | | | | | | |
|--|---------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Si la limite de $f(x)$ quand x tend vers a est... | ℓ | $\ell > 0$ | $\ell > 0$ | $\ell < 0$ | $\ell < 0$ | $+\infty$ | $+\infty$ | $-\infty$ | 0 |
| Et la limite de g quand x tend vers a est... | ℓ' | $+\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ | $-\infty$ | $-\infty$ | $\pm\infty$ |
| Alors la limite de $f \times g$ quand x tend vers a est... | $\ell \times \ell'$ | $+\infty$ | $-\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ | $+\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ | $?$ |

À RETENIR

Limite d'un quotient

| Limite d'un quotient | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| Si la limite de $f(x)$ quand x tend vers a est... | ℓ | ℓ | $+\infty$ | $+\infty$ | $-\infty$ | $-\infty$ | $\pm\infty$ | ℓ | 0 |
| Et la limite de g quand x tend vers a est... | $\ell' \neq 0$ | $\pm\infty$ | $\ell' > 0$ | $\ell' < 0$ | $\ell' > 0$ | $\ell' < 0$ | $\pm\infty$ | 0 | 0 |
| Alors la limite de $\frac{f}{g}$ quand x tend vers a est... | $\frac{\ell}{\ell'}$ | 0 | $+\infty$ | $-\infty$ | $-\infty$ | $+\infty$ | $?$ | $\pm\infty$ | $?$ |

À RETENIR

Limite d'une composée

Si on pose $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = b$ et $\lim_{x \rightarrow b} g(x) = c$. Alors $\lim_{x \rightarrow a} (g \circ f)(x) = c$.

À LIRE

Formes indéterminées

À noter qu'il n'existe que 4 formes indéterminées : “ $+\infty - \infty$ ”, “ $0 \times \pm\infty$ ”, “ $\frac{\pm\infty}{\pm\infty}$ ” et “ $\frac{0}{0}$ ”.

3. Comparaisons et encadrements

À RETENIR

Théorèmes de comparaison

Soient deux fonctions f et g .

- Si $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = +\infty$ et si $f \leq g$ à partir d'un certain point, alors $\lim_{x \rightarrow +\infty} g(x) = +\infty$.
- Si $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = -\infty$ et si $f \geq g$ à partir d'un certain point, alors $\lim_{x \rightarrow +\infty} g(x) = -\infty$.

À RETENIR

Théorème des gendarmes

Soient trois fonctions f , g et h . Si on a $f \leq g \leq h$ à partir d'un certain point, et qu'il existe ℓ tel que $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \ell$ et $\lim_{x \rightarrow +\infty} h(x) = \ell$, alors $\lim_{x \rightarrow +\infty} g(x) = \ell$.

À LIRE

Exemple

Utilisons ce théorème pour montrer que la fonction $f : x \mapsto \frac{\sin(x)}{x}$ tend vers 0 quand x tend vers $+\infty$.

Tout d'abord, pour tout $x \in \mathbb{R}$, $-1 \leq \sin(x) \leq 1$.

Donc, pour tout $x > 0$, $\frac{-1}{x} \leq \underbrace{\frac{\sin(x)}{x}}_{=f(x)} \leq \frac{1}{x}$.

Comme, $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{-1}{x} = 0$ et $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{1}{x} = 0$, alors $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 0$.

Le dernier théorème est la “version fonctions” du théorème des gendarmes (que l'on a vu lors du cours sur les suites). Ils permettent notamment de démontrer une partie du **théorème des croissances comparées**.

À RETENIR

Croissances comparées

$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^x}{x^n} = +\infty$ pour tout $n \in \mathbb{N}$.

DÉMONSTRATION

Croissances comparées

Commençons tout d'abord par montrer que pour tout $x \geq 0$, $e^x \geq 1 + x$. Pour cela, posons $f : x \mapsto e^x - 1 - x$. On a pour tout $x \in \mathbb{R}$, $f'(x) = e^x - 1$. Donc $f'(x)$ est positif si et seulement si $e^x - 1 \geq 0$, c'est-à-dire $e^x \geq 1$.

En regardant le graphique de la fonction exponentielle, on trouve que cela est équivalent à $x \geq 0$.

Notre fonction est donc croissante sur l'intervalle $[0, +\infty[$, et son minimum est donc atteint en $x = 0$ et vaut $f(0) = 0$. Ainsi, pour tout $x \geq 0$, $f(x) \geq 0 \iff e^x - 1 - x \geq 0 \iff e^x \geq 1 + x$: ce que l'on cherchait.

Pour conclure, on utilise une petite astuce. Soit $n \in \mathbb{N}$:

D'après ce que l'on vient de faire, pour tout $x > 0$, $e^{\frac{x}{n+1}} \geq 1 + \frac{x}{n+1} > \frac{x}{n+1}$. Ainsi, en mettant à la puissance $n+1$ (qui ne change pas le sens de l'inégalité car les deux membres sont positifs), on a :

$e^x > \left(\frac{x}{n+1}\right)^{n+1} = \frac{x^{n+1}}{(n+1)^{n+1}}$ Maintenant, on divise les deux côtés par x^n (qui est un nombre strictement positif) et on obtient :

$$\frac{e^x}{x^n} > \frac{x}{(n+1)^{n+1}}$$

Or, le membre de droite tend vers $+\infty$ quand x tend vers $+\infty$ donc le membre de gauche aussi d'après les théorèmes de comparaison.