



Limites. Continuité en un point

Exercices de Jean-Louis Rouget. Retrouver aussi cette fiche sur www.maths-france.fr

* très facile ** facile *** difficulté moyenne **** difficile ***** très difficile
 I : Incontournable T : pour travailler et mémoriser le cours

Exercice 1 ***I

Soit f une fonction réelle d'une variable réelle définie et continue sur un voisinage de $+\infty$. On suppose que la fonction $f(x+1) - f(x)$ admet dans \mathbb{R} une limite ℓ quand x tend vers $+\infty$. Etudier l'existence et la valeur éventuelle de $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{f(x)}{x}$.

[Correction ▼](#)

[005382]

Exercice 2 ***

Soit f une fonction définie sur un voisinage de 0 telle que $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 0$ et $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(2x) - f(x)}{x} = 0$. Montrer que $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{x} = 0$. (Indication. Considérer $g(x) = \frac{f(2x) - f(x)}{x}$.)

[Correction ▼](#)

[005383]

Exercice 3 **I

Soient f et g deux fonctions continues en $x_0 \in \mathbb{R}$. Montrer que $\text{Min}\{f, g\}$ et $\text{Max}\{f, g\}$ sont continues en x_0 .

[Correction ▼](#)

[005384]

Exercice 4 ***I Distance d'un point à une partie

Soit A une partie non vide de \mathbb{R} . Pour $x \in \mathbb{R}$, on pose $f(x) = \text{Inf}\{|y - x|, y \in A\}$. Montrer que f est continue en tout point de \mathbb{R} .

[Correction ▼](#)

[005385]

Exercice 5 **T

Montrer en revenant à la définition que $f(x) = \frac{3x-1}{x-5}$ est continue en tout point de $\mathbb{R} \setminus \{5\}$.

[Correction ▼](#)

[005386]

Exercice 6 **IT

Montrer que la fonction caractéristique de \mathbb{Q} est discontinue en chacun de ses points.

[Correction ▼](#)

[005387]

Exercice 7 ****

Etudier l'existence d'une limite et la continuité éventuelle en chacun de ses points de la fonction définie sur $]0, +\infty[$ par $f(x) = 0$ si x est irrationnel et $f(x) = \frac{1}{p+q}$ si x est rationnel égal à $\frac{p}{q}$, la fraction $\frac{p}{q}$ étant irréductible.

[Correction ▼](#)

[005388]

Exercice 8 **IT

Etudier en chaque point de \mathbb{R} l'existence d'une limite à droite, à gauche, la continuité de la fonction f définie par $f(x) = xE\left(\frac{1}{x}\right)$ si $x \neq 0$ et 1 si $x = 0$.

Exercice 9 **

Trouver f bijective de $[0, 1]$ sur lui-même et discontinue en chacun de ses points.

Exercice 10 ***

Soit f une fonction continue et périodique sur \mathbb{R} à valeurs dans \mathbb{R} , admettant une limite réelle quand x tend vers $+\infty$. Montrer que f est constante.

Correction de l'exercice 1 ▲

Il existe $a > 0$ tel que f est définie et continue sur $[a, +\infty[$.

1er cas. Supposons que ℓ est réel. Soit $\varepsilon > 0$.

$$\exists A_1 \geq a / \forall X \in [a, +\infty[, (X \geq A_1 \Rightarrow \ell - \frac{\varepsilon}{2} < f(X+1) - f(X) < \ell + \frac{\varepsilon}{2}).$$

Soit $X \geq A_1$ et $n \in \mathbb{N}^*$. On a :

$$\sum_{k=0}^{n-1} (\ell - \frac{\varepsilon}{2}) < \sum_{k=0}^{n-1} (f(X+k+1) - f(X+k)) = f(X+n) - f(X) < \sum_{k=0}^{n-1} (\ell + \frac{\varepsilon}{2}),$$

et on a donc montré que

$$\forall \varepsilon > 0, \exists A_1 \geq a / \forall X \geq A_1, \forall n \in \mathbb{N}^*, n(\ell - \frac{\varepsilon}{2}) < f(X+n) - f(X) < n(\ell + \frac{\varepsilon}{2}).$$

Soit de nouveau $\varepsilon > 0$. Soit ensuite $x \geq A_1 + 1$ puis $n = E(x - A_1) \in \mathbb{N}^*$ puis $X = x - n$.

On a $X = x - E(x - A_1) \geq x - (x - A_1) = A_1$ et donc $n(\ell - \frac{\varepsilon}{2}) < f(x) - f(x - n) < n(\ell + \frac{\varepsilon}{2})$ ou encore

$$\frac{f(x-n)}{x} + \frac{n}{x}(\ell - \frac{\varepsilon}{2}) < \frac{f(x)}{x} < \frac{f(x-n)}{x} + \frac{n}{x}(\ell + \frac{\varepsilon}{2}).$$

Ensuite,

$$1 - \frac{A_1 + 1}{x} = \frac{x - A_1 - 1}{x} \leq \frac{n}{x} = \frac{E(x - A_1)}{x} \leq \frac{x - A_1}{x} = 1 - \frac{A_1}{x},$$

et comme $1 - \frac{A_1 + 1}{x}$ et $1 - \frac{A_1}{x}$ tendent vers 1 quand x tend vers $+\infty$, on en déduit que $\frac{n}{x}$ tend vers 1 quand x tend vers $+\infty$.

Puis, puisque f est continue sur le segment $[A_1, A_1 + 1]$, f est bornée sur ce segment. Or $n \leq x - A_1 < n + 1$ s'écrit encore $A_1 \leq x - n < A_1 + 1$ et donc, en posant $M = \sup\{|f(t)|, t \in [A_1, A_1 + 1]\}$, on a $\left| \frac{f(x-n)}{x} \right| \leq \frac{M}{x}$ qui tend

vers 0 quand x tend vers $+\infty$. En résumé, $\frac{f(x-n)}{x} + \frac{n}{x}(\ell - \frac{\varepsilon}{2})$ et $\frac{f(x-n)}{x} + \frac{n}{x}(\ell + \frac{\varepsilon}{2})$ tendent respectivement vers $\ell - \frac{\varepsilon}{2}$ et $\ell + \frac{\varepsilon}{2}$ quand x tend vers $+\infty$. On peut donc trouver un réel $A_2 \geq a$ tel que $x \geq A_2 \Rightarrow \frac{f(x-n)}{x} + \frac{n}{x}(\ell + \frac{\varepsilon}{2}) > (\ell - \frac{\varepsilon}{2}) - \frac{\varepsilon}{2} = \ell - \varepsilon$ et un réel $A_3 \geq a$ tel que $x \geq A_3 \Rightarrow \frac{f(x-n)}{x} + \frac{n}{x}(\ell + \frac{\varepsilon}{2}) < \ell + \varepsilon$.

Soit $A = \max(A_1, A_2, A_3)$ et $x \geq A$. On a $\ell - \varepsilon < \frac{f(x)}{x} < \ell + \varepsilon$. On a montré que $\forall \varepsilon > 0, (\exists A \geq a / \forall x \geq A, \ell - \varepsilon < \frac{f(x)}{x} < \ell + \varepsilon)$ et donc $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{f(x)}{x} = \ell$.

2ème cas. Supposons $\ell = +\infty$ (si $\ell = -\infty$, remplacer f par $-f$).

Soit $B > 0$. $\exists A_1 \geq a / \forall X \geq A_1, f(X+1) - f(X) \geq 2B$.

Pour $X \geq A_1$ et $n \in \mathbb{N}^*$, on a : $f(X+n) - f(X) = \sum_{k=0}^{n-1} (f(X+k+1) - f(X+k)) \geq 2nB$.

Soient $x \geq 1 + A_1$, $n = E(x - A_1)$ et $X = x - n$. On a $f(x) - f(x - n) \geq 2nB$ et donc,

$$\frac{f(x)}{x} \geq \frac{f(x-n)}{x} + \frac{2nB}{x},$$

qui tend vers $2B$ quand x tend vers $+\infty$ (démarche identique au 1er cas).

Donc $\exists A \geq A_1 > a$ tel que $x \geq A \Rightarrow \frac{f(x-n)}{x} + \frac{2nB}{x} > B$.

Finalement : $(\forall B > 0, \exists A > a / (\forall x \geq A, \frac{f(x)}{x} > B)$ et donc, $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{f(x)}{x} = +\infty$.

Correction de l'exercice 2 ▲

Pour $x \neq 0$, posons $g(x) = \frac{f(2x) - f(x)}{x}$. f est définie sur un voisinage de 0 et donc il existe $a > 0$ tel que $] -a, a[\subset D_f$. Mais alors, $] -\frac{a}{2}, \frac{a}{2}[\setminus \{0\} \subset D_g$.

Soit $x \in] -\frac{a}{2}, \frac{a}{2}[\setminus \{0\}$ et $n \in \mathbb{N}^*$.

$$f(x) = \sum_{k=0}^{n-1} (f(\frac{x}{2^k}) - f(\frac{x}{2^{k+1}})) + f(\frac{x}{2^n}) = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{x}{2^{k+1}} g(\frac{x}{2^{k+1}}) + f(\frac{x}{2^n}).$$

Par suite, pour $x \in] -\frac{a}{2}, \frac{a}{2}[\setminus \{0\}$ et $n \in \mathbb{N}^*$, on a :

$$\left| \frac{f(x)}{x} \right| \leq \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2^{k+1}} \left| g\left(\frac{x}{2^{k+1}}\right) \right| + \left| \frac{f(x/2^n)}{x} \right|.$$

Soit $\varepsilon > 0$. Puisque par hypothèse, g tend vers 0 quand x tend vers 0,

$$\exists \alpha \in]0, \frac{\varepsilon}{2}[\forall X \in]-\alpha, \alpha[, |g(X)| < \frac{\varepsilon}{2}.$$

Or, pour $x \in]-\alpha, \alpha[\setminus \{0\}$ et pour k dans \mathbb{N}^* , $\frac{x}{2^k}$ est dans $]-\alpha, \alpha[\setminus \{0\}$ et par suite,

$$\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2^{k+1}} \left| g\left(\frac{x}{2^{k+1}}\right) \right| \leq \frac{\varepsilon}{2} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2^{k+1}} = \frac{\varepsilon}{2} \frac{1 - \frac{1}{2^n}}{1 - \frac{1}{2}} = \frac{\varepsilon}{2} \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) < \frac{\varepsilon}{2},$$

et donc, $\left| \frac{f(x)}{x} \right| \leq \frac{\varepsilon}{2} + \left| \frac{f(x/2^n)}{x} \right|$. On a ainsi montré que

$$\forall x \in]-\alpha, \alpha[\setminus \{0\}, \forall n \in \mathbb{N}^*, \left| \frac{f(x)}{x} \right| \leq \frac{\varepsilon}{2} + \left| \frac{f(x/2^n)}{x} \right|.$$

Mais, à x fixé, $\frac{f(x/2^n)}{x}$ tend vers 0 quand n tend vers $+\infty$. Donc, on peut choisir n tel que $\frac{f(x/2^n)}{x} < \frac{\varepsilon}{2}$ et on a alors $\left| \frac{f(x)}{x} \right| < \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon}{2} = \varepsilon$. On a montré que

$$\forall \varepsilon > 0, \exists \alpha > 0 / (\forall x \in D_f, 0 < |x| < \alpha \Rightarrow \left| \frac{f(x)}{x} \right| < \varepsilon,$$

ce qui montre que (f est dérivable en 0 et que) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{x} = 0$.

Correction de l'exercice 3 ▲

$\text{Min}(f, g) = \frac{1}{2}(f + g - |f - g|)$ et $\text{Max}(f, g) = \frac{1}{2}(f - g + |f - g|)$ sont continues en x_0 en vertu de théorèmes généraux.

Correction de l'exercice 4 ▲

Soit $(x, y) \in \mathbb{R}^2$ et $z \in A$. $|x - z| \leq |x - y| + |y - z|$. Or, *forall* $z \in A$, $|x - z| \geq d(x, A)$ et donc $d(x, A) - |x - y|$ est un minorant de $\{|y - z|, z \in A\}$. Par suite, $d(x, A) - |x - y| \leq d(y, A)$. On a montré que

$$\forall (x, y) \in \mathbb{R}^2, d(x, A) - d(y, A) \leq |y - x|.$$

En échangeant les rôles de x et y , on a aussi montré que $\forall (x, y) \in \mathbb{R}^2, d(y, A) - d(x, A) \leq |y - x|$.

Finalement, $\forall (x, y) \in \mathbb{R}^2, |d(y, A) - d(x, A)| \leq |y - x|$. Ainsi, f est donc 1-Lipschitzienne et en particulier continue sur \mathbb{R} .

Correction de l'exercice 5 ▲

Soit $x_0 \in \mathbb{R} \setminus \{5\}$. Pour $x \neq 5$,

$$|f(x) - f(x_0)| = \left| \frac{3x - 1}{x - 5} - \frac{3x_0 - 1}{x_0 - 5} \right| = \frac{14|x - x_0|}{|x - 5| \cdot |x_0 - 5|}.$$

Puis, pour $x \in]x_0 - \frac{|x_0 - 5|}{2}, x_0 + \frac{|x_0 - 5|}{2}[$, on a $|x - 5| > \frac{|x_0 - 5|}{2}$ (> 0), et donc,

$$\forall x \in]x_0 - \frac{|x_0 - 5|}{2}, x_0 + \frac{|x_0 - 5|}{2}[, |f(x) - f(x_0)| = \frac{28}{(x_0 - 5)^2} |x - x_0|.$$

Soient $\varepsilon > 0$ puis $\alpha = \text{Min}\left\{\frac{|x_0 - 5|}{2}, \frac{(x_0 - 5)^2 \varepsilon}{28}\right\}$ (> 0).

$$|x - x_0| < \alpha \Rightarrow |f(x) - f(x_0)| \leq \frac{28}{(x_0 - 5)^2} |x - x_0| < \frac{28}{(x_0 - 5)^2} \frac{(x_0 - 5)^2 \varepsilon}{28} = \varepsilon.$$

On a montré que $\forall \varepsilon > 0, \exists \alpha > 0 / (\forall x \in \mathbb{R} \setminus \{5\}, |x - x_0| < \alpha \Rightarrow |f(x) - f(x_0)| < \varepsilon)$. f est donc continue sur $\mathbb{R} \setminus \{5\}$.

Correction de l'exercice 6 ▲

Soit χ la fonction caractéristique de \mathbb{Q} . Soit x_0 un réel. On note que

$$x_0 \in \mathbb{Q} \Leftrightarrow \forall n \in \mathbb{N}^*, x_0 + \frac{1}{n} \in \mathbb{Q} \Leftrightarrow \forall n \in \mathbb{N}^*, x_0 + \frac{\pi}{n} \notin \mathbb{Q}.$$

Donc, $\lim_{n \rightarrow +\infty} \chi(x_0 + \frac{1}{n})$ existe, $\lim_{n \rightarrow +\infty} \chi(x_0 + \frac{\pi}{n})$ existe et $\lim_{n \rightarrow +\infty} \chi(x_0 + \frac{1}{n}) \neq \lim_{n \rightarrow +\infty} \chi(x_0 + \frac{\pi}{n})$ (bien que $\lim_{n \rightarrow +\infty} x_0 + \frac{1}{n} = \lim_{n \rightarrow +\infty} x_0 + \frac{\pi}{n} = x_0$). Ainsi, pour tout réel $x_0 \in \mathbb{R}$, la fonction caractéristique de \mathbb{Q} n'a pas de limite en x_0 et est donc discontinue en x_0 .

Correction de l'exercice 7 ▲

Soit a un réel strictement positif. On peut déjà noter que $\lim_{x \rightarrow a, x \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}} f(x) = 0$. Donc, si f a une limite quand x tend vers a , ce ne peut être que 0 et f est donc discontinue en tout rationnel strictement positif.

a désigne toujours un réel strictement positif fixé. Soit $\varepsilon > 0$.

Soit x un réel strictement positif tel que $f(x) \geq \varepsilon$.

x est nécessairement rationnel, de la forme $\frac{p}{q}$ où p et q sont des entiers naturels non nuls premiers entre eux vérifiant $\frac{1}{p+q} \geq \varepsilon$ et donc

$$2 \leq p+q \leq \frac{1}{\varepsilon}.$$

Mais il n'y a qu'un nombre fini de couples d'entiers naturels non nuls (p, q) vérifiant ces inégalités et donc, il n'y a qu'un nombre fini de réels strictement positifs x tels que $f(x) \geq \varepsilon$.

Par suite, $\exists \alpha > 0$ tel que aucun des réels x de $]x_0 - \alpha, x_0 + \alpha[$ ne vérifie $f(x) \geq \varepsilon$. Donc,

$$\forall a > 0, \forall \varepsilon > 0, \exists \alpha > 0 / \forall x > 0, (0 < |x - a| < \alpha \Rightarrow |f(x)| < \varepsilon),$$

ou encore

$$\forall a > 0, \lim_{x \rightarrow a, x \neq a} f(x) = 0.$$

Ainsi, f est continue en tout irrationnel et discontinue en tout rationnel.

Correction de l'exercice 8 ▲

Donnons tout d'abord une expression plus explicite de $f(x)$ pour chaque réel x .

Si $x > 1$, alors $\frac{1}{x} \in]0, 1[$ et donc, $f(x) = 0$.

Si $\exists p \in \mathbb{N}^* / x \in]\frac{1}{p+1}, \frac{1}{p}]$, $f(x) = px$.

$f(0) = 1$ (et plus généralement, $\forall p \in \mathbb{Z}^*, f(\frac{1}{p}) = 1$).

Si $x \leq -1$, alors $\frac{1}{x} \in [-1, 0[$ et donc, $f(x) = -x$.

Enfin, si $\exists p \in \mathbb{Z} \setminus \{-1\}$ tel que $x \in]\frac{1}{p+1}, \frac{1}{p}]$, alors $\frac{1}{p+1} < x \leq \frac{1}{p} (< 0)$ fournit, par décroissance de la fonction $x \mapsto \frac{1}{x}$ sur $] -\infty, 0[$, $p \leq \frac{1}{x} < p+1 (< 0)$ et donc $f(x) = px$.

Etude en 0. $\forall x \in \mathbb{R}^*, \frac{1}{x} - 1 < E(\frac{1}{x}) \leq \frac{1}{x}$ et donc $1 - x < f(x) \leq 1$ si $x > 0$ et $1 \leq f(x) < 1 - x$ si $x < 0$. Par suite,

$$\forall x \in \mathbb{R}, |f(x) - 1| \leq |x|,$$

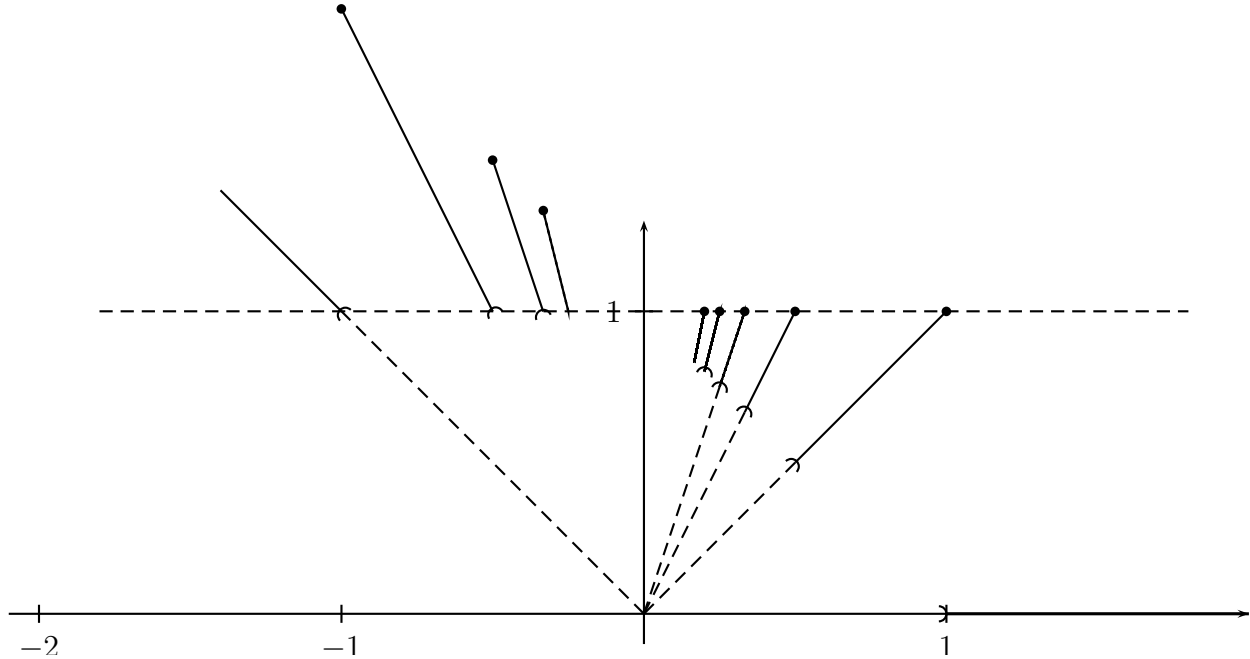
et $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 1$. f est donc continue en 0.

f est affine sur chaque intervalle de la forme $] \frac{1}{p+1}, \frac{1}{p}]$ pour p élément de $\mathbb{Z} \setminus \{-1, 0\}$ et donc est continue sur ces intervalles et en particulier continue à gauche en chaque $\frac{1}{p}$. f est affine sur $] -\infty, -1]$ et aussi sur $]1, +\infty[$ et est donc continue sur ces intervalles. Il reste donc à analyser la continuité à droite en $\frac{1}{p}$, pour p entier relatif non nul donné. Mais,

$$f\left(\frac{1}{p}^+\right) = \lim_{x \rightarrow \frac{1}{p}, x > \frac{1}{p}} (x(p-1)) = 1 - \frac{1}{p} \neq 1 = f\left(\frac{1}{p}\right).$$

f est donc discontinue à droite en tout $\frac{1}{p}$ où p est un entier relatif non nul donné.

Graphes de f :



Correction de l'exercice 9 ▲

Soit $f(x) = \begin{cases} x & \text{si } x \in (\mathbb{Q} \cap [0, 1]) \setminus \{0, \frac{1}{2}\} \\ 1-x & \text{si } x \in (\mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}) \cap [0, 1] \\ 0 & \text{si } x = \frac{1}{2} \text{ et } \frac{1}{2} \text{ si } x = 0 \end{cases}$. f est bien une application définie sur $[0, 1]$ à valeurs dans $[0, 1]$.

De plus, si $x \in (\mathbb{Q} \cap [0, 1]) \setminus \{0, \frac{1}{2}\}$, alors $f(f(x)) = f(x) = x$.

Si $x \in (\mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}) \cap [0, 1]$, alors $1-x \in (\mathbb{R} \setminus \mathbb{Q}) \cap [0, 1]$ et donc $f(f(x)) = f(1-x) = 1 - (1-x) = x$.

Enfin, $f(f(0)) = f(\frac{1}{2}) = 0$ et $f(f(\frac{1}{2})) = f(0) = \frac{1}{2}$.

Finalement, $f \circ f = Id_{[0,1]}$ et f , étant une involution de $[0, 1]$, est une permutation de $[0, 1]$.

Soit a un réel de $[0, 1]$. On note que $\lim_{x \rightarrow a, x \in (\mathbb{R} \setminus \mathbb{Q})} f(x) = 1-a$ et $\lim_{x \rightarrow a, x \in \mathbb{Q}} f(x) = a$. Donc, si f a une limite en a , nécessairement $1-a = a$ et donc $a = \frac{1}{2}$. Mais, si $a = \frac{1}{2}$, $\lim_{x \rightarrow a, x \in \mathbb{Q}, x \neq a} f(x) = a = \frac{1}{2} \neq 0 = f(\frac{1}{2})$ et donc f est discontinue en tout point de $[0, 1]$.

Correction de l'exercice 10 ▲

Soit T une période strictement positive de f . On note ℓ la limite de f en $+\infty$.

Soit x un réel. $\forall n \in \mathbb{N}$, $f(x) = f(x+nT)$ et quand n tend vers $+\infty$, on obtient :

$$f(x) = \lim_{n \rightarrow +\infty} f(x+nT) = \ell.$$

Ainsi, $\forall x \in \mathbb{R}$, $f(x) = \ell$ et donc, f est constante sur \mathbb{R} .