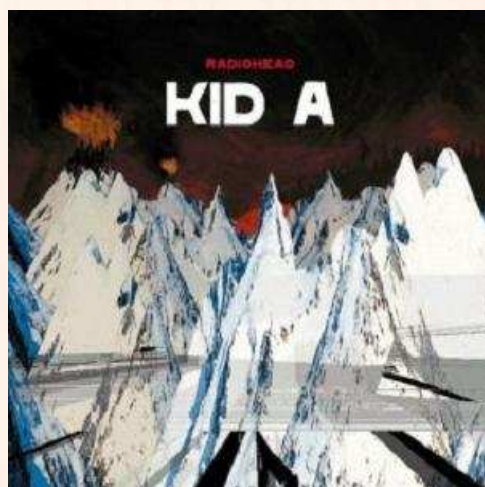


## CHAPITRE 2

# LIMITES (PARTIE I : LES SUITES)



## HORS SUJET



**TITRE :** « Kid A »

**AUTEUR :** RADIOHEAD

**PRÉSENTATION SUCCINCTE DE L'AUTEUR :** Kid A est le quatrième album du groupe de rock britannique Radiohead, il est sorti en 2000. Alors que les albums précédents (tel OK Computer) restent dans un style rock alternatif, les albums suivants sont beaucoup plus psychédélics : Kid A marque l'apogée de ce style expérimental de Radiohead. Pour cette raison, il est considéré par beaucoup comme un chef-d'œuvre. Dans cet album, les guitares ont quasiment disparu au profit de synthétiseurs et de sampleurs. Le nom donné à l'album, Kid A (littéralement « Enfant A »), évoque pour certains un premier enfant cloné. Pour d'autres, il laisse penser que le groupe le considère comme son premier enfant. Avec Kid A, l'album suivant de Radiohead, Amnesiac, forme un diptyque de musique expérimentale, un prolongement : Kid A et Amnesiac forment en réalité le diptyque Kid Amnesiac. Ce disque comporte une majorité de chansons composée principalement de synthétiseurs et de boîtes à rythmes (Kid A, Idioteque, Everything in Its Right Place...), tout en gardant des sonorités pop/rock (In Limbo) et en explorant d'autres univers comme le free-jazz (The National Anthem). Selon Thom Yorke et Jonny Greenwood cet album est inspiré en partie par le livre No Logo de la journaliste canadienne Naomi Klein. Les membres du groupe pensaient d'ailleurs au départ à appeler l'album No Logo, en hommage à ce livre qui décrit la société de consommation.

Document réalisé à l'aide de  $\LaTeX$

Auteur : C. Aupérin

Site : [wicky-math.fr/nf](http://wicky-math.fr/nf)

Lycée : Jules Fil (Carcassonne)

# Table des matières

<b>I) Comportement asymptotique d'une suite</b>	<b>1</b>
I.1. Notion de convergence et divergence . . . . .	1
I.2. Limites usuelles . . . . .	6
I.3. Opérations sur les limites . . . . .	7
<b>II ) Inégalités et limites</b>	<b>10</b>
II.1. Limites finies . . . . .	10
II.2. Limites infinies . . . . .	12
II.3. Application à la suite $(q^n)$ avec $q \in \mathbb{R}$ . . . . .	13
<b>III )Suites monotones et limites</b>	<b>13</b>

## L'ESSENTIEL :

- ↪ Découvrir les définitions de convergence et divergence
- ↪ Connaître les limites usuelles et les opérations sur les limites
- ↪ Savoir trouver la limite d'une forme indéterminée
- ↪ Utiliser les théorèmes de comparaison
- ↪ Démontrer qu'une fonction est continue ou non.
- ↪ Utiliser le théorème des valeurs intermédiaires

# LIMITES

## (PARTIE I : LES SUITES)



### Résumé

Même si elles ne constituent qu'un cas particulier des *fonctions numériques* (celles définies sur  $I \subset \mathbb{N}$ ), les suites méritent une étude à part entière car elles jouent un rôle extrêmement important à la fois en mathématiques et en physique. Elles permettent en effet dans les deux cas de fournir une approximation du « réel ». Après avoir mis en place un raisonnement important et fait quelques rappels de première, nous approfondirons la notion de limite de suite, puis nous parlerons d'applications importantes, en particulier les suites adjacentes.

Dans tout le chapitre,  $n$  et  $n_0$  désignent des entiers naturels.

## I) Comportement asymptotique d'une suite

### I.1. Notion de convergence et divergence

Travail de l'élève 1. Activité 4 p 15 du Déclic



#### Définition 1.

On dit qu'une suite  $u$  **admet une limite**  $\ell$  (ou **converge vers**  $\ell$ ) lorsque tout intervalle ouvert  $I$  contenant  $\ell$  (aussi « petit » soit-il) contient aussi tous les termes de la suite  $u$  à partir d'un certain rang  $N$ , ie  $\forall n \geq N$  on a  $u_n \in I$ .

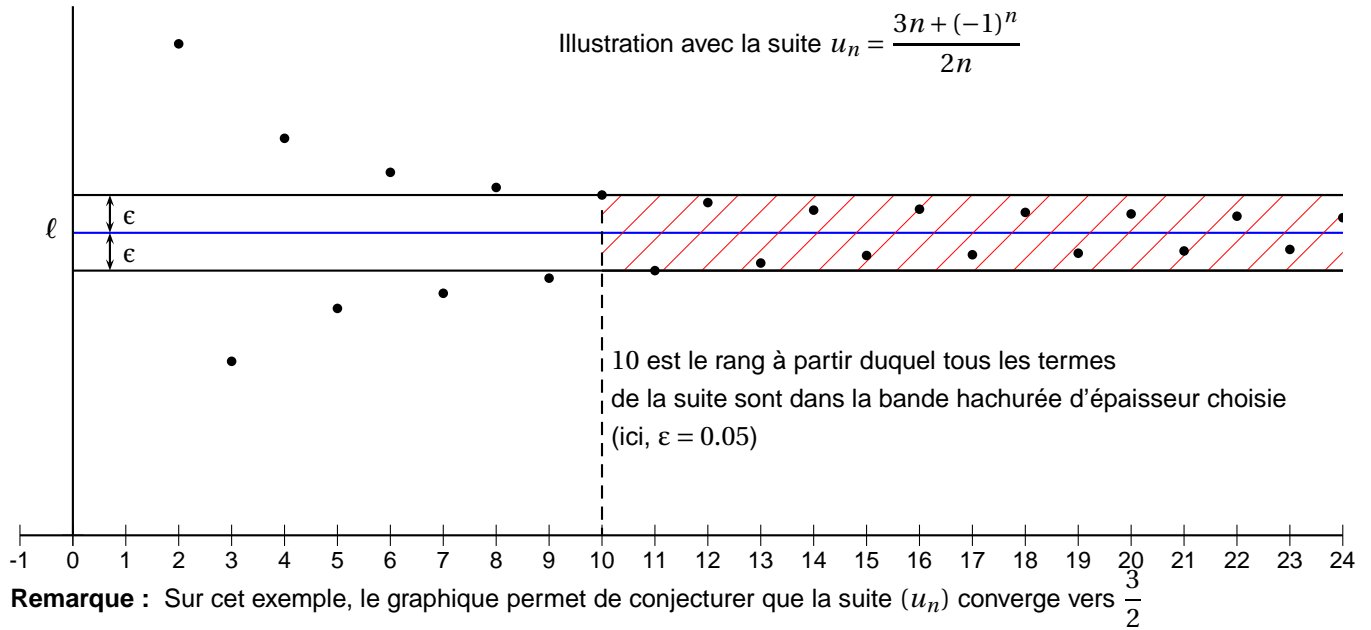
$$\forall \varepsilon > 0, \exists N \in \mathbb{N}, \forall n \geq N, \text{ on a } |u_n - \ell| \leq \varepsilon$$

On note  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = \ell$ .

Une suite qui ne converge pas est dite **divergente**.

#### Remarques :

- ↪ Concrètement, les termes  $u_n$  deviennent aussi proches de  $\ell$  qu'on le souhaite, à partir d'un certain rang.
- ↪ On utilise en général un intervalle centré en  $\ell$ .
- ↪ Graphiquement, la notion de limite se traduit ainsi :  
Quelle que soit la largeur de la bande horizontale choisie, il existe un rang (ou un indice) à partir duquel tous les points de la représentation graphique de la suite sont situés dans cette bande.



**Exemples :**

1. Conjecturer à la calculatrice les limites éventuelles des suites suivantes, puis les démontrer.
  - a.  $(u_n)_{n \in \mathbb{N}^*}$  de terme général  $u_n = \frac{1}{n} - 2$
  - b.  $(v_n)_{n \in \mathbb{N}}$  de terme général  $v_n = \frac{5n + 1}{n + 3}$
  - c.  $(w_n)_{n \in \mathbb{N}}$  de terme général  $w_n = (-1)^n$
2.
  - a. A partir de quel rang  $N$  la distance entre  $u_n$  et sa limite est-elle strictement inférieure à 0.001 ?
  - b. Même question pour  $(v_n)$ .

**Solution :**

1.
  - a. A la calculatrice, on conjecture que la suite  $u$  converge vers 2.  
 Soit  $\epsilon > 0$ . On résout l'inéquation :  $|u_n - 2| < \epsilon \iff \frac{1}{n} < \epsilon \iff n > \frac{1}{\epsilon}$   
 En posant  $N = E\left(\frac{1}{\epsilon}\right) + 1$ , pour tout  $n \leq N$  on a  $|u_n - 2| < \epsilon$ .
  - b. A la calculatrice, on conjecture que la suite  $v$  converge vers 5.  
 Soit  $\epsilon > 0$ . On résout l'inéquation :  

$$|u_n - 5| < \epsilon \iff \left| \frac{-14}{n+3} \right| < \epsilon \iff \frac{14}{n+3} < \epsilon \iff n > \frac{14}{\epsilon} - 3$$
 En posant  $N = E\left(\frac{14}{\epsilon} - 3\right) + 3$ , pour tout  $n \leq N$  on a  $|u_n - 5| < \epsilon$ .
  - c. La suite  $(w_n)$  ne peut pas converger car elle prend alternativement les valeurs 1 et -1.
2. Dans les deux cas, résoudre les inéquations nous donnait le plus petit  $N$  possible donc :
  - a. Pour  $\epsilon = 0.001$  on a  $N = E(1000) + 1 = 1001$ .
  - b. Pour  $\epsilon = 0.001$  on a  $N = E(14000 - 3) + 1 = 13998$ .

**Une méthode pour déterminer la limite  $\ell$  d'une suite**

- ↪ On peut utiliser la calculatrice pour conjecturer sa limite
- ↪ On pose  $\varepsilon > 0$  quelconque et on résout  $|u_n - \ell| < \varepsilon$ .
- ↪ On choisit alors  $N = \text{partie entière de la solution trouvée} + 1$

**Théorème 1.**

Si une suite  $(u_n)$  converge alors sa limite  $\ell$  est unique.

**Preuve**

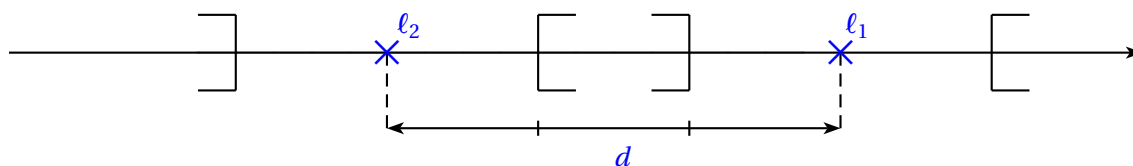
(n° 46 p 33 du livre Déclic)

Raisonnons par l'absurde et supposons que la suite  $(u_n)$  admet deux limites  $\ell_1$  et  $\ell_2$  telles que  $\ell_1 < \ell_2$ .

Notons  $d = \ell_2 - \ell_1$ . Par définition, l'intervalle ouvert  $I_1$  de centre  $\ell_1$  et de rayon  $\frac{d}{3}$  contient tous les termes de la suite à partir d'un certain rang, de même l'intervalle ouvert  $I_2$  de centre  $\ell_2$  et de rayon  $\frac{d}{3}$  contient tous les termes de la suite à partir d'un certain rang.

Par conséquent  $I_1 \cap I_2$  est un intervalle contenant tous les termes de la suite à partir d'un certain rang.

Mais on a le schéma suivant :



Donc  $I_1 \cap I_2 = \emptyset$ , ce qui est absurde. Par conséquent la suite  $(u_n)$  ne peut admettre qu'une limite.

**Remarque :** Si  $(u_n)$  admet une limite, alors toute sous-suite de  $(u_n)$  admet la même limite.

On utilisera en général ce résultat :

- ↪ Pour les suites récurrentes, car la sous-suite  $(u_{n+1})$  admet la même limite éventuelle  $\ell$  que  $(u_n)$ .  
Ainsi, si  $\ell$  existe, elle vérifie l'égalité  $\ell = f(\ell)$
- ↪ Pour sa contraposée, en montrant que deux sous-suites de  $(u_n)$  n'ont pas la même limite.  
Comme la limite est unique et que  $(u_n)$  doit avoir la même que n'importe laquelle de ses sous-suites,  $(u_n)$  ne peut pas admettre de limite, elle diverge.

La réciproque est fausse.



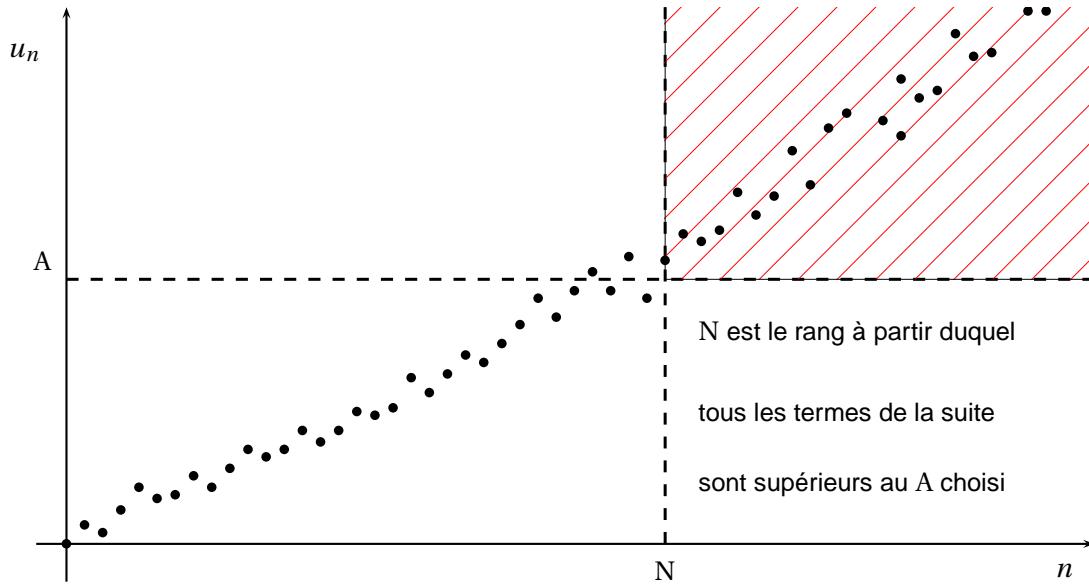
**Définition 2.**

On dit qu'une suite  $u$  diverge vers  $+\infty$  lorsque tout intervalle ouvert du type  $]A; +\infty[$  contient tous les termes de la suite  $u$  à partir d'un certain rang  $N$  (dépendant du  $A$  considéré), ie  $\forall n \geq N$  on a  $u_n > A$ .

$$\forall A, \exists N \in \mathbb{N}, \forall n \geq N, \text{ on a } u_n \geq A$$

On note  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = +\infty$ .

On définit de même la divergence vers  $-\infty$  à l'aide d'intervalle du type  $] -\infty; A[$ . On note  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = -\infty$ .



$N$  est le rang à partir duquel  
tous les termes de la suite  
sont supérieurs au  $A$  choisi

**Remarque :** Dire que  $(u_n)$  tend vers  $+\infty$  revient à dire que :

- ↪ Concrètement, les termes  $u_n$  deviennent aussi grands qu'on le souhaite à partir d'un certain rang.
- ↪ Tout intervalle de la forme  $]A; +\infty[$  contient tous les termes de la suite, sauf un nombre fini d'entre eux (les premiers).



**Exemples :**

1. Démontrer que chacune des suites suivantes diverge vers  $\pm\infty$  :
  - a.  $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$  de terme général  $u_n = n$
  - b.  $(v_n)_{n \in \mathbb{N}}$  de terme général  $v_n = n^2$
  - c.  $(w_n)_{n \in \mathbb{N}}$  de terme général  $w_n = -(n+1)^2$
2.
  - a. A partir de quel rang a-t-on  $u_n > 10^6$  ?
  - b. Même question pour  $v_n$ .
  - c. A partir de quel rang a-t-on  $u_n < -10^6$  ?

**Solution :**

1.
  - a.  $\lim_{n \rightarrow +\infty} n = +\infty$ . En effet :  
Soit  $A < 0$ . Alors pour tout  $n \geq N$  on a  $u_n = n > A$ , donc on peut choisir  $N = 0$ .  
Soit  $A$  un réel positif. Il suffit de choisir  $N = A + 1$ .
  - b.  $\lim_{n \rightarrow +\infty} n^2 = +\infty$ . En effet :  
Soit  $A < 0$ . Alors pour tout  $n \geq N$  on a  $u_n = n^2 > A$ , donc on peut choisir  $N = 0$ .  
Soit  $A$  un réel positif. On veut montrer qu'il existe un rang  $N$  à partir duquel tous les termes de la suite appartiennent à  $]A; +\infty[$ .  
On remarque que  $u_n > A \iff n^2 > A \iff n > \sqrt{A}$ .  
Si on choisit  $N$  le premier entier supérieur strictement à  $\sqrt{A}$ , ie  $N = E(\sqrt{A}) + 1$  alors  $u_n = n^2 > A$  pour tout  $n \geq N$ . Donc ce  $N$  convient.
  - c.  $\lim_{n \rightarrow +\infty} w_n = -\infty$ . En effet :  
Soit  $A > 0$ . Alors pour tout  $n \geq N$  on a  $u_n = n^2 > A$ , donc on peut choisir  $N = 0$ .  
Soit  $A$  un réel négatif. On veut montrer qu'il existe un rang  $N$  à partir duquel tous les termes de la suite appartiennent à  $] -\infty; A[$ .  
On remarque que  $w_n < A \iff -(n+1)^2 < A \iff n > \sqrt{-A} - 1$ .  
Si on choisit  $N$  le premier entier supérieur strictement à  $\sqrt{-A} - 1$ , ie  $N = E(\sqrt{-A} - 1) + 1 = E(\sqrt{|A|})$  alors  $w_n < A$  pour tout  $n \geq N$ . Donc ce  $N$  convient.
2. Dans tous les cas on a choisit le plus petit  $N$  convenable. Donc :
  - a. Pour  $A = 10^6$  on a  $N = 10^6 + 1$ .
  - b. Pour  $A = 10^6$  on a  $N = 10^3 + 1$ .
  - c. Pour  $A = -10^6$  on a  $N = 10^3$ .

**Une méthode pour montrer qu'une suite diverge vers  $+\infty$** 

- ↪ On traite le cas  $A < 0$  trivialement.
- ↪ On pose  $A > 0$  quelconque et on résout  $u_n > A$ .
- ↪ On choisit alors  $N = \text{partie entière de la solution trouvée} + 1$

**Exemple :**

On considère la suite  $(u_n)$  définie par  $u_n = \sum_{k=1}^n \frac{1}{k}$ .

Montrer, par récurrence, que la suite  $(u_n)$  diverge vers  $+\infty$

**Solution :**

Soit  $A \in \mathbb{N}$ . Comme la suite  $(u_n)$  est croissante, on veut montrer qu'il existe  $N \in \mathbb{N}$  tel que  $u_N > A$ . En effet, dans ce cas l'intervalle ouvert  $]A; +\infty[$  contiendra tous les termes de la suite à partir de  $N$ .

Notons  $\mathcal{P}(A)$  la propriété suivante : Il existe  $N \in \mathbb{N}$  tel que  $u_N > A$

↪ **Initialisation** :  $\mathcal{P}(0)$  est vraie, en effet  $u_1 > 0$

↪ **Hérédité** : Supposons que  $\mathcal{P}(A)$  soit vraie, montrons que  $\mathcal{P}(A+1)$  est vraie, ie qu'il existe  $N'$  à partir duquel tous les termes de la suite sont supérieurs à  $A+1$ . On remarque que

$$u_{2n} = u_n + \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{k} \geq u_n + n \times \frac{1}{2n} = u_n + \frac{1}{2}$$



**Solution :**

Puisque  $\mathcal{P}(A)$  est vraie, il existe un entier  $N$  tel que  $u_N > A$ , par conséquent :

$$u_{4N} \geq u_{2N} + \frac{1}{2} \geq u_N + 1 > A + 1$$

Donc à partir de  $N' = 4N$ , tous les termes de la suite sont supérieurs à  $A + 1$ . Ainsi  $\mathcal{P}(A + 1)$  est vraie. On vient de démontrer, par récurrence, que  $(u_n)$  est une suite qui diverge vers  $+\infty$



**Exercice(s) du livre :**

Déclic : n° 6 - 7 p 19 + 42 - 44 p 33 + 47 - 52 p 34

**I.2. Limites usuelles**



**Théorème 2.**

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} n = +\infty$

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} n^2 = +\infty$

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} \sqrt{n} = +\infty$

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{n} = 0$

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{n^2} = 0$

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{\sqrt{n}} = 0$

Pour tout entier  $k \geq 1$  :

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} n^k = +\infty$

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{n^k} = 0$



**Preuve**

Cf exos 45 et 51 p 34 (Déclic)

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} \sqrt{n} = +\infty.$

Soit  $A$  un réel positif (le cas négatif est trivial). On veut montrer qu'il existe un rang  $N$  à partir duquel tous les termes de la suite appartiennent à  $]A; +\infty[$ .

On remarque que  $u_n > A \iff \sqrt{n} > A \iff n > A^2$ .

Si on choisit  $N = E(A^2) + 1$  alors  $u_n > A$  pour tout  $n \geq N$ . Donc ce  $N$  convient.

$\rightsquigarrow \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{n^2} = 0$

Soit  $\epsilon$  un réel positif. On veut montrer qu'il existe un rang  $N$  à partir duquel tous les termes de la suite appartiennent à  $I = ]-\epsilon; +\epsilon[$ .

On remarque que  $\frac{1}{n^2} > 0$  pour tout entier  $n$ , on cherche donc à déterminer à partir de quel entier  $n_0$  on a :

$$0 < u_n < \epsilon \iff 0 < \frac{1}{n^2} < \epsilon \iff 0 < \frac{1}{\epsilon} < n^2 \iff 0 < \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} < n$$

Si on choisit  $N$  le premier entier supérieur à  $\frac{1}{\sqrt{\epsilon}}$  alors  $u_n < \epsilon$  pour tout  $n \geq N$ . Donc ce  $N$  convient.



**I.3. Opérations sur les limites**

Soient  $(u_n)$  et  $(v_n)$  deux suites.

**Cas d'une somme :**  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (u_n + v_n)$

$\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n$	$\ell$	$\ell$	$\ell$	$+\infty$	$-\infty$	$+\infty$
$\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n$	$\ell'$	$+\infty$	$-\infty$	$+\infty$	$-\infty$	$-\infty$
$\lim_{n \rightarrow +\infty} (u_n + v_n)$	$\ell + \ell'$	$+\infty$	$-\infty$	$+\infty$	$-\infty$	<b>On ne peut pas conclure directement</b>

**Cas d'un produit :**  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (u_n v_n)$

$\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n$	$\ell$	$\ell \neq 0$	$\infty$	$0$
$\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n$	$\ell'$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$\lim_{n \rightarrow +\infty} (u_n \times v_n)$	$\ell \times \ell'$	$\pm\infty$ en suivant la règle des signes	$\pm\infty$ en suivant la règle des signes	<b>On ne peut pas conclure directement</b>

**Cas d'un quotient :**  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{u_n}{v_n}$

$\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n$	$\ell$	$\ell$	$\ell$ ou $\infty$	$0$	$0$	$\infty$
$\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n$	$\ell' \neq 0$	$\infty$	$0^+$ ou $0^-$	$0$	$\infty$	$\infty$
$\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{u_n}{v_n}$	$\frac{\ell}{\ell'}$	$0$	$\pm\infty$ en suivant la règle des signes	<b>On ne peut pas conclure directement</b>	$0$	<b>On ne peut pas conclure directement</b>

 **Exemples :**

Soient les suites  $u$ ,  $v$  et  $w$  définies sur  $\mathbb{N}$  par :

$$u_n = \frac{2}{3n+5}, \quad v_n = (2n+4)(-5n+7) \quad \text{et} \quad w_n = \frac{3 - \frac{4}{n}}{\frac{2}{n}}$$

↪ Pour la suite  $u$ , par somme et produit on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (3n+5) = 3 \lim_{n \rightarrow +\infty} n + 5 = +\infty$ .

Par quotient on obtient :  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = 0$

↪ Pour la suite  $v$ , on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (2n+4) = +\infty$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (-5n+7) = -\infty$ .

Par produit, on a donc  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = -\infty$ .

↪ Pour la suite  $w$ , on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{n} = 0$  donc  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \left(3 - \frac{4}{n}\right) = 3$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{2}{n} = 0$  par valeurs positives.

Par quotient  $\lim_{n \rightarrow +\infty} w_n = +\infty$ .

**Remarque :** Ces règles sur les opérations sont naturelles, si on a un peu de bon sens. Mais il faut être conscient que tous les résultats de ces tableaux se démontrent (et certains ne sont pas évidents). Nous ne présenterons ici aucune démonstration et nous admettrons tous ces résultats.

Il importe surtout de retenir les cas où on ne peut pas conclure directement. On parle de **forme indéterminée**. C'est dans ces cas là qu'on vous demandera essentiellement des limites. Pour les trouver, il vous faudra faire appel à des calculs du type développement, factorisation (souvent par le terme de plus haut degré), etc, afin de transformer l'écriture de la suite, et d'obtenir une forme connue de limite.



### LES 4 FORMES INDÉTERMINÉES À CONNAÎTRE

«  $\infty - \infty$  »«  $0 \times \infty$  »«  $\frac{0}{0}$  »«  $\frac{\infty}{\infty}$  »

Attention, on ne dira pas « zéro sur zéro est une forme indéterminée » mais plutôt « le quotient de deux fonctions tendant vers 0 est une forme indéterminée »



### Exemples :

Soient les suites  $u$  et  $v$ ,  $w$  et  $t$  définies sur  $\mathbb{N}$  par :

$$u_n = n - \sqrt{n}, \quad v_n = \frac{2n^2 + 1}{-n^2 + 3}, \quad w_n = \frac{-n^3 + 3}{2n^2 - 5n + 1} \quad \text{et} \quad t_n = \frac{2n^2 - 5n + 1}{-n^3 + 3}$$

↪ Pour la suite  $u$ , on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} n = +\infty$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (-\sqrt{n}) = -\infty$ .

Il s'agit donc d'une forme indéterminée.

Pour trouver la limite, on factorise :  $u_n = n \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \right)$ .

Or  $\lim_{n \rightarrow +\infty} n = +\infty$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \right) = 1$ . Par produit, on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = +\infty$ .

↪ Pour la suite  $v$ , on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (2n^2 + 1) = +\infty$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (-n^2 + 3) = -\infty$ .

Il s'agit donc d'une forme indéterminée.

Pour trouver la limite, on factorise le numérateur et le dénominateur par le terme de plus haut degré :

$$v_n = \frac{n^2 \left( 2 + \frac{1}{n^2} \right)}{n^2 \left( -1 + \frac{3}{n^2} \right)} = \frac{2 + \frac{1}{n^2}}{-1 + \frac{3}{n^2}}$$

Or  $\lim_{n \rightarrow +\infty} 2 + \frac{1}{n^2} = 2$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} -1 + \frac{3}{n^2} = -1$ . Par quotient, on obtient  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = -2$ .

↪ Pour  $w$  et  $t$ , il s'agit là encore de formes indéterminées. La méthode est la même que précédemment.

On trouvera  $\lim_{n \rightarrow +\infty} w_n = -\infty$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} t_n = 0$ .

**Remarque :** Notons que les trois derniers cas traitent également la forme indéterminée «  $0 \times \infty$  » puisque

$$\frac{a}{b} = a \times \frac{1}{b}$$



**Exercice(s) du livre :** Déclic : n° 55 - 57 ? - 59 ou 63 ? - 64 p 34 (FI)

Suite arithmétique : 65 p 35

Algo : 66 p35

**Exemples de programmation**

Sous **Algobox** :

```

VARIABLES
├── N EST_DU_TYPE NOMBRE
├── e EST_DU_TYPE NOMBRE
└── DEBUT_ALGORITHME
    ├── N PREND_LA_VALEUR 0
    ├── LIRE e
    ├── TANT_QUE (abs((N+1)/(2*pow(N,3)+1))>=e) FAIRE
    │   ├── DEBUT_TANT_QUE
    │   ├── N PREND_LA_VALEUR N+1
    │   └── FIN_TANT_QUE
    ├── AFFICHER "Le rang associé à "
    ├── AFFICHER e
    ├── AFFICHER " est "
    └── AFFICHER N
└── FIN_ALGORITHME
    
```

Sous **Scilab** :

```

Declic_exo_66p35.sce
1  N=0;
2  e=input("epsilon=");
3  while abs((N+1)/(2*N^3+1))>=e
4      N=N+1
5  end
6  disp(N,"est",e,"Le rang associé à");
    
```

Sur **TI 82 à 84** :

```

PROGRAM: EX066P35
:0→N
:Prompt E
:While abs((N+1)
/(2N^3+1))≥E
:N+1→N
:End
:Disp "LE RANG A
SSOCIE A ",E," E
ST ",N
    
```

On pourrait aussi rentrer la commande

```
INPUT "E=",E
```

pour demande à l'utilisateur la valeur de E et lui affecter.

Sur **TI89** les commandes sont les mêmes. Pour créer un nouveau programme, il faut :

- ↪ Aller dans l'éditeur de programme de l'APPS
- ↪ Choisir 3:Nouveau
- ↪ Choisir le dossier où le programme sera enregistré (par exemple 4:m)
- ↪ Donner un nom au programme (par exemple ici : exo66p35)

Pour exécuter un programme, il faut

- ↪ Aller dans l'écran de calculs de l'APPS
- ↪ Appuyer sur la touche CATALOG
- ↪ Appuyer sur F4 pour choisir le dossier Personnel
- ↪ Choisir son programme (écrire à la suite les éventuelles variables) et fermer la parenthèse.

Sur **Casio**, les commandes sont les mêmes, sauf pour la saisie et l'affichage des variables, respectivement écrites ainsi :

```
? → N et N ◀
```

## II ) Inégalités et limites

### II.1. Limites finies

#### Théorème 3.

Si  $(u_n)$  est une suite convergente alors  $(u_n)$  est bornée.



#### Preuve

Notons  $\ell$  la limite de la suite  $(u_n)$ , alors tous les termes de la suite appartiennent à l'intervalle  $]\ell - 1; \ell + 1[$  à partir d'un certain rang  $N$ . On a alors pour tout  $n \geq N$  :

$$\ell - 1 < u_n < \ell + 1$$

Notons  $m = \min(u_0; u_1; u_2; \dots; u_{N-1}; \ell - 1)$  et  $M = \max(u_0; u_1; u_2; \dots; u_{N-1}; \ell + 1)$ , alors on a :

$$\forall n \in \mathbb{N} \quad m \leq u_n \leq M$$

ce qui prouve que la suite  $(u_n)$  est bornée.

#### Propriété 1.

Soient  $u$  et  $v$  deux suites convergentes telles que  $u_n < v_n$  ou  $u_n \leq v_n$  à partir d'un certain rang. Alors, dans les deux cas, on a :

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n \leq \lim_{n \rightarrow +\infty} v_n$$



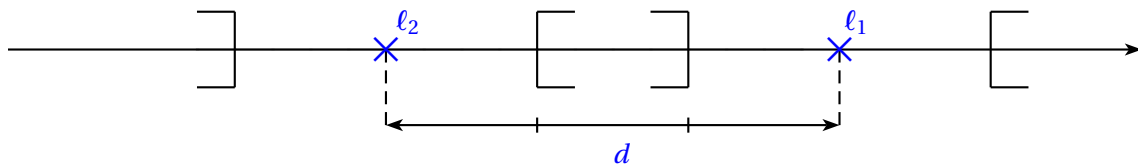
#### Preuve

Notons  $\ell_1$  la limite de  $u$ ,  $\ell_2$  la limite de  $v$  et  $N_0$  le rang à partir duquel  $u_n < v_n$ .

Raisonnons par l'absurde et supposons que  $\ell_1 > \ell_2$ .

Notons  $d = \ell_1 - \ell_2$ . Par définition, l'intervalle ouvert  $I_1$  de centre  $\ell_1$  et de rayon  $\frac{d}{3}$  contient tous les termes de la suite  $u$  à partir d'un certain rang  $N_1$ , de même l'intervalle ouvert  $I_2$  de centre  $\ell_2$  et de rayon  $\frac{d}{3}$  contient tous les termes de la suite  $v$  à partir d'un certain rang.

On a le schéma suivant :



**Preuve (Suite)**

Par conséquent à partir de  $N = \max(N_0, N_1, N_2)$ , on a :

$$\rightsquigarrow u_n < v_n$$

$$\rightsquigarrow u_n \in I_1 \text{ donc } u_n > \ell_1 - \frac{d}{3}$$

$$\rightsquigarrow v_n \in I_2 \text{ donc } v_n < \ell_2 + \frac{d}{3} < \ell_1 - \frac{d}{3} < u_n$$

Ce qui est absurde. D'où  $\ell_1 \leq \ell_2$ .

**Attention !**

Le cas d'une inégalité stricte sur les termes de la suite et d'une égalité des limites est fréquent.

**Exemple :**

Soient  $u$  et  $v$  les suites définies sur  $\mathbb{N}^*$  par  $u_n = \frac{1}{n^2}$  et  $v_n = \frac{1}{n}$ .

Alors à partir de  $N_0 = 2$  on a  $n^2 > n \iff \frac{1}{n^2} < \frac{1}{n} \iff u_n < v_n$ .

Or on sait déjà que  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = \lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = 0$ . On est donc dans le cas où  $\ell_1 = \ell_2$ .

**Remarque :** On sait qu'une suite convergente est bornée par  $M \in \mathbb{R}$  et  $m \in \mathbb{R}$ , donc ce théorème nous indique que sa limite  $\ell$  est telle que :

$$m \leq \ell \leq M$$

En effet, il suffit de prendre pour  $(v_n)$  la suite constante égale à  $M$ , alors on a  $\ell \leq M$ . On procède de même pour  $m$ .

**Théorème 4. (des gendarmes)**

Soit  $u$ ,  $v$  et  $w$  trois suites et  $\ell \in \mathbb{R}$  tels que :

1. à partir d'un certain rang  $u_n \leq v_n \leq w_n$

2.  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = \lim_{n \rightarrow +\infty} w_n = \ell$

Alors  $v$  converge aussi et on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = \ell$

**Preuve**


Soit  $I$  un intervalle ouvert contenant  $\ell$ . Notons  $N_0$  le rang à partir duquel on a  $u_n \leq v_n \leq w_n$

$N_1$  le rang à partir duquel tous les termes de la suite  $(u_n)$  sont contenus dans  $I$  et  $N_2$  le rang à partir duquel tous les termes de la suite  $(w_n)$  sont contenus dans  $I$ .

Notons  $N = \max(N_0; N_1; N_2)$ , alors on a :

$$\rightsquigarrow \text{à partir du rang } N, u_n \leq v_n \leq w_n$$

$\rightsquigarrow$  D'après le point précédent, tous les termes de la suite  $v_n$  sont contenus dans  $I$  à partir du rang  $N$ , ce qui prouve que la suite  $(v_n)$  converge vers  $\ell$

 **Exemple :**

Soient les suites  $u$  et  $v$  et  $w$  définies sur  $\mathbb{N}^*$  par  $u_n = 1 + \frac{3 \cos(n)}{n^2}$  et  $v_n = \frac{(-1)^n + 3n^2}{n^2}$ .

↪ On sait que pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$  on a  $-1 \leq \cos(n) \leq 1$  donc  $1 - \frac{3}{n^2} \leq u_n \leq 1 + \frac{3}{n^2}$ .


$$\text{Or } \lim_{n \rightarrow +\infty} \left(1 - \frac{3}{n^2}\right) = \lim_{n \rightarrow +\infty} \left(1 + \frac{3}{n^2}\right) = 1.$$

D'après le théorème des gendarmes, on conclut que  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = 1$ .

↪ On sait que pour tout  $n \in \mathbb{N}^*$  on a  $-1 \leq (-1)^n \leq 1$  donc  $\frac{-1 + 3n^2}{n^2} \leq v_n \leq \frac{1 + 3n^2}{n^2}$ .

$$\text{Or } \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{-1 + 3n^2}{n^2} = \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1 + 3n^2}{n^2} = 3.$$

D'après le théorème des gendarmes, on conclut que  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = 3$ .

 **Exercice(s) du livre :** Déclic : n° 75-76-77 p 35-36 (th des gendarmes)

**II.2. Limites infinies** **Théorème 5.** (Théorème de comparaison)

Soient  $u$  et  $v$  deux suites telles que  $u_n \leq v_n$  à partir d'un certain rang.

↪ Si  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = +\infty$  alors  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = +\infty$

↪ Si  $\lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = -\infty$  alors  $\lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = -\infty$

 **Preuve**

(Exo 69 p 35 du Déclic)

↪ Considérons  $A$  un réel. On sait que  $u$  diverge vers  $+\infty$  donc à partir d'un certain rang  $N$  tous les termes de la suite  $u$  vérifient :  $u_n > A$ .

Par conséquent, à partir du rang  $N$ , on a aussi  $v_n > A$ , ce qui prouve que  $v$  diverge vers  $+\infty$ .

↪ La deuxième démonstration est analogue.

 **Exemple :**


Soient les suites  $u$  et  $v$  définies sur  $\mathbb{N}$  par  $u_n = n^2 - 3 \sin(n)$  et  $v_n = -n + 1 + (-1)^n$ .

↪ On sait que pour tout  $n \in \mathbb{N}$  on a  $-1 \leq \sin(n) \leq 1$  donc  $n^2 - 3 \leq u_n$ .

$$\text{Or } \lim_{n \rightarrow +\infty} n^2 - 3 = +\infty \text{ donc } \lim_{n \rightarrow +\infty} u_n = +\infty.$$

↪ On sait que pour tout  $n \in \mathbb{N}$  on a  $(-1)^n \leq 1$  donc  $v_n \leq -n + 2$ .

$$\text{Or } \lim_{n \rightarrow +\infty} -n + 2 = -\infty \text{ donc } \lim_{n \rightarrow +\infty} v_n = -\infty.$$

 **Exercice(s) du livre :** Déclic : n° 70-71-73 p 35 (comparaison infini)

**II.3. Application à la suite  $(q^n)$  avec  $q \in \mathbb{R}$**

**Propriété 2.**

- 1. Si  $q > 1$ , on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} q^n = +\infty$
- 2. Si  $q = 1$ , on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} q^n = 1$
- 3. Si  $-1 < q < 1$ , on a  $\lim_{n \rightarrow +\infty} q^n = 0$
- 4. Si  $q < -1$ , on a  $(q^n)$  n'admet pas de limite.



**Preuve**

On commence par démontrer par récurrence l'inégalité de Bernoulli (cf p 17 du Déclic ou Exo 10 du chapitre précédent) :

$$\forall x \geq 0 \text{ et } \forall n \in \mathbb{N} \text{ on a } : (1+x)^n \geq 1+nx$$

- 1. Si  $q > 1$  alors  $q = q' + 1$  avec  $q' > 0$  et on a  $q^n = (1+q')^n \geq 1+nq'$ .  
Or  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (1+nq') = +\infty$  car  $q' > 0$ . Donc  $\lim_{n \rightarrow +\infty} q^n = +\infty$ .
- 2. Si  $q = 1$  alors  $(q^n)$  est constante égale à 1 (donc convergente vers 1) .
- 3. Si  $-1 < q < 1$ . On pose  $q' = \frac{1}{|q|}$ . Alors  $q' > 1$  et  $\lim_{n \rightarrow +\infty} (q')^n = +\infty$ .  
Donc  $\lim_{n \rightarrow +\infty} q^n = \pm \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{(q')^n} = 0$ .
- 4. Si  $q \leq -1$ , alors  $(q^{2n})$  tend vers  $+\infty$  tandis que  $(q^{2n+1})$  tend vers  $-\infty$ .  
Donc  $(q^n)$  n'a pas de limite.



**Exemple :**

Déterminer la limite de la suite géométrique de raison 2 et de premier terme  $-3$ .



**Exercice(s) du livre :** Déclic : n° 78-84 à 87 p 37 (suites géométriques)

**III ) Suites monotones et limites**

**Théorème 6. (Admis)**

- ↔ Toute suite croissante et majorée de réels converge.
- ↔ Toute suite décroissante et minorée de réels converge.




**Exemple :**

Soit  $(u_n)$  la suite définie par  $u_n = 1 + \frac{1}{n}$  sur  $\mathbb{N}^*$ . Cette suite est décroissante minorée par 1, donc elle converge.



**Attention !**

Ici le minorant trouvé est la limite, mais ce n'est pas toujours le cas ! Le théorème donne l'existence d'une limite mais pas sa valeur.

 **Exemple :**

On considère la suite  $w$  définie par

$$\begin{cases} w_0 = 0.6 \\ w_{n+1} = 0.7w_n + 0.1 \end{cases}$$

1. Démontrer par récurrence que pour tout entier  $n$  on a  $0 \leq w_{n+1} \leq w_n \leq 1$
2. Justifier alors que la suite  $w$  est convergente.
3. Préciser la valeur de sa limite.

**Solution :**

1.  $\rightsquigarrow$  Initialisation :  $w_1 = 0.52$  donc on a bien  $0 \leq w_1 \leq w_0 \leq 1$

$\rightsquigarrow$  Hérédité : On suppose que  $\exists k \in \mathbb{N}$ ,  $0 \leq w_{k+1} \leq w_k \leq 1$ . Alors on a

$$0 \leq 0.7w_{k+1} \leq 0.7w_k \leq 0.7 \iff 0.1 \leq 0.7w_{k+1} + 0.1 \leq 0.7w_k + 0.1 \leq 0.8 \iff 0.1 \leq w_{k+2} \leq w_{k+1} \leq 0.8$$

Donc on a bien  $0 \leq w_{k+2} \leq w_{k+1} \leq 1$ . La propriété est héréditaire.

$\rightsquigarrow$  La propriété est initialisée et héréditaire, donc elle est vraie pour tout  $n$ .

2. On déduit de la question précédente que la suite  $(w_n)$  est décroissante et minorée par 0, donc elle converge vers un réel  $\ell$ .

3. La suite  $(w_{n+1})$  est une sous-suite de  $(w_n)$  donc elle converge vers  $\ell$ .

De plus,  $w_{n+1} = 0.7w_n + 0.1$  et on sait que  $\lim_{n \rightarrow +\infty} 0.7w_n + 0.1 = 0.7\ell + 0.1$ .

Par unicité de la limite on obtient  $\ell = 0.7\ell + 0.1 \iff \ell = \frac{1}{3}$ .

**Théorème 7.**

$\rightsquigarrow$  Toute suite croissante non majorée diverge vers  $+\infty$ .

$\rightsquigarrow$  Toute suite décroissante non minorée diverge vers  $-\infty$ .

**Preuve**

$\rightsquigarrow$  Soit  $(u_n)$  une suite croissante non majorée et un intervalle  $I = ]A; +\infty[$  ( $A \in \mathbb{R}$ ). La suite  $u$  n'étant pas majorée, il existe un entier  $n_0$  tel que  $u_{n_0} \geq A$ .

La suite  $u$  étant croissante, tous les termes après le rang  $n_0$  sont supérieurs à  $A$ , donc contenus dans  $I$ .

Donc la suite  $(u_n)$  tend vers  $+\infty$ .

$\rightsquigarrow$  La deuxième partie découle de la première, en considérant la suite  $(-u_n)$ , croissante non majorée.



**Exercice(s) du livre :** Déclic : n° 67-68 p 35 + 79 p 36 (Vrai-Faux)

n° 80-81-82 p 35

n° 93-95-96-99-100 ... p 39 (Prépa Bac)