

§1. DÉMONSTRATION DU THÉORÈME 1

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **27 (1981)**

Heft 1-2: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Interprétation géométrique: Le graphe de f , contenu dans l'angle droit de sommet $(n, f(n))$ et de côté parallèle aux axes, s'étrangle en n . Nous démontrerons:

THÉORÈME 4. *La fonction $n \rightarrow n - \omega(n)$ a une infinité de points d'étranglement.*

Pour démontrer ce théorème, nous construirons une infinité de points n tels qu'il existe juste avant n , une plage de nombres ayant beaucoup de facteurs premiers et juste après une plage de nombres ayant peu de facteurs premiers.

§ 1. DÉMONSTRATION DU THÉORÈME 1

Minoration: D'après le théorème de Selberg, (cf. [Sel 2] et [Nic]) il existe entre $(1 - 2\varepsilon) \log X$ et $(1 - \varepsilon) \log X$ un nombre x tel que:

$$\pi(x + f(x)) - \pi(x) \sim \frac{f(x)}{\log x} \quad \text{et} \quad \pi(x) - \pi(x - f(x)) \sim \frac{f(x)}{\log x}$$

pour toute fonction $f(x)$ croissante, vérifiant $f(x) > x^{1/6}$ et telle que $\frac{f(x)}{x}$ décroisse et tende vers 0.

On choisit $f(x) = c \sqrt{x \log x}$. Soit k tel que $p_k \leq x < p_{k+1}$. On considère la famille de nombres:

$$n = A_{k-r} q_1 \dots q_r, \quad 0 \leq r \leq s$$

où q_1, \dots, q_r sont des nombres premiers distincts choisis parmi p_{k+1}, \dots, p_{k+s} . De tels nombres vérifient $\omega(n) = k$ et il y en a 2^s . De plus ils vérifient:

$$n \leq A_k \left(\frac{p_{k+s}}{p_{k-s}} \right)^s.$$

On choisit s de façon que $p_{k+s} \leq x + f(x)$ et $p_{k-s} \geq x - f(x)$ de telle sorte que $s \sim \frac{f(x)}{\log x}$. On a alors:

$$\log \frac{n}{A_k} \leq s \log \frac{x + f(x)}{x - f(x)} \sim 2c^2 \log x.$$

Si l'on choisit $c < \frac{1}{\sqrt{2}}$, on aura donc $A_k \leq n < A_{k+1}$ et ces nombres n seront ω -largement composés et $\leq X$. On aura donc :

$$Q_l(X) \geq 2^s \geq \exp \left(\frac{(1-\varepsilon) \log 2}{\sqrt{2}} \sqrt{\log X} \right).$$

Majoration : La majoration de $Q_l(X)$ est basée sur le lemme :

LEMME 1. Soit $p_1 = 2, p_2 = 3, \dots, p_k$ le $k^{\text{ième}}$ nombre premier et soit $T(x)$ le nombre de solutions de l'inéquation :

$$x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_r p_r + \dots \leq x, \quad x_i \in \{0, 1\}.$$

Si $C > \pi \sqrt{\frac{2}{3}}$, on a pour x assez grand :

$$\log T(x) \leq C \sqrt{\frac{x}{\log x}}.$$

Démonstration. Le nombre de solutions de l'équation :

$$x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_r p_r + \dots = n, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

est le nombre $S(n)$ de partitions de n en sommants premiers et distincts. Le nombre $T(x) = \sum_{n \leq x} S(n)$ peut être évalué par le théorème taubérien de Hardy et Ramanujan (cf. [Ram]) et Roth et Szekeres donnent la formule [Roth] :

$$\log S(n) = \pi \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{n}{\log n}} \left(1 + O \left(\frac{\log \log n}{\log n} \right) \right)$$

et montrent que $S(n)$ est une fonction croissante de n . On a alors : $T(x) \leq x S[x]$.

Nous nous proposons de majorer le nombre d'éléments de l'ensemble :

$$E_k = \{ n \mid \omega(n) = k, n < A_{k+1} \}.$$

Soit $n \in E_k, n = q_1^{\alpha_1} \dots q_k^{\alpha_k}$; le nombre $n' = q_1 q_2 \dots q_k$ est sans facteur carré et $n' \in E_k$. De plus $\frac{n}{n'} < p_{k+1}$. On a donc :

$$\text{card } E_k \leq p_{k+1} \text{ card } E'_k,$$

avec: $E'_k = \{n \mid n \text{ sans facteur carré, } \omega(n) = k, n < A_{k+1}\}$.

Maintenant si $n \in E'_k$, n s'écrit:

$$n = 2^{1-y_k} 3^{1-y_{k-1}} \dots p_k^{1-y_1} p_{k+1}^{x_1} \dots p_{k+r}^{x_r} \dots$$

avec x_i et y_i valant 0 ou 1 et $\sum x_i = \sum y_i$. Il vient:

$$\begin{aligned} \log \frac{n}{A_k} &= x_1 \log \frac{p_{k+1}}{p_k} + \dots + x_r \log \frac{p_{k+r}}{p_k} + \dots + y_1 \log \frac{p_k}{p_k} \\ &+ \dots + y_r \log \frac{p_k}{p_{k-r+1}} + \dots \end{aligned}$$

Le nombre d'éléments de E'_k est donc majoré par le nombre de solutions de l'inéquation, en x_i et y_i valant 0 ou 1:

$$\begin{aligned} x_1 \log \frac{p_{k+1}}{p_k} + \dots + x_r \log \frac{p_{k+r}}{p_k} + \dots + y_1 \log \frac{p_k}{p_k} + \dots \\ + y_r \log \frac{p_k}{p_{k-r+1}} + \dots \leq \log p_{k+1}. \end{aligned}$$

On en déduit: $\text{card } E'_k \leq N_1 N_2$, avec $N_i =$ nombre de solutions de l'inéquation ξ_i ($i=1, 2$):

$$(\xi_1) \quad x_1 \log \frac{p_{k+1}}{p_k} + \dots + x_r \log \frac{p_{k+r}}{p_k} + \dots \leq \log p_{k+1}$$

$$(\xi_2) \quad y_1 \log \frac{p_k}{p_k} + \dots + y_r \log \frac{p_k}{p_{k-r+1}} + \dots \leq \log p_{k+1}.$$

Soit R le plus grand nombre r tel que $p_{k+r} < 2p_k$. On coupe l'inéquation ξ_1 en deux:

$$\xi'_1: \quad \sum_{r=1}^R x_r \log \frac{p_{k+r}}{p_k} \leq \log p_{k+1},$$

$$\xi''_1: \quad \sum_{r=R+1}^{\infty} x_r \log \frac{p_{k+r}}{p_k} \leq \log p_{k+1}.$$

Le nombre de variables de ξ''_1 est en fait fini, et majoré par $p_k p_{k+1}$. Le nombre de variables non nulles d'une solution de ξ''_1 est majoré par $\frac{1}{\log 2} \log p_{k+1}$. Le nombre N''_1 de solutions de ξ''_1 est majoré par:

$$N_1'' \leq \sum_{j \leq \frac{1}{\log 2} \log p_{k+1}} \binom{p_k \ p_{k+1}}{j} \leq \frac{1}{\log 2} \log p_{k+1} (p_k p_{k+1})^{\frac{1}{\log 2} \log p_{k+1}}$$

ce qui assure:

$$N_1'' = \exp((O \log p_k)^2).$$

Il résulte de l'inégalité de Brun-Titchmarsh (cf. [Hal 1] et [Mon]):

$$\pi(x) - \pi(x-y) < 2y / \log y$$

valable pour $1 < y \leq x$ que, pour $k \geq 2$:

$$p_{k+r} - p_k > \frac{r}{2} \log(p_{k+r} - p_k) \geq \frac{r}{2} \log 2r.$$

On en déduit que pour $r \leq R$, on a:

$$\log \frac{p_{k+r}}{p_k} \geq \frac{p_{k+r} - p_k}{p_{k+r}} \geq \frac{r \log 2r}{4p_k} \geq c \frac{p_r}{p_k}.$$

Toute solution de ξ'_1 est donc solution de l'inéquation:

$$x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_r p_r + \dots \leq \frac{1}{c} p_k \log p_{k+1}$$

et d'après le lemme précédent, on a:

$$\log N'_1 = O(\sqrt{p_k})$$

et le nombre de solutions de ξ_1 vérifie:

$$\log N_1 = O(\sqrt{p_k}).$$

On démontre de même que le nombre N_2 de solutions de ξ_2 vérifie:

$$\log N_2 = O(\sqrt{p_k}).$$

Ce qui entraîne:

$$\log(\text{card } E'_k) \leq \log N_1 + \log N_2 = O(\sqrt{p_k})$$

et:

$$\text{card } E_k \leq p_{k+1} (\text{card } E'_k) = \exp(O(\sqrt{p_k})).$$

Finalement, l'ensemble des nombres ω -largement composés est $\bigcup_{k=1}^{\infty} E_k$; la quantité $Q_l(X)$ de tels nombres $\leq X$ vérifie, en posant $A_{k_0} \leq X < A_{k_0+1}$, ce qui entraîne $\log X \sim p_{k_0}$:

$$Q_l(X) \leq \sum_{k=1}^{k_0} \exp(O(\sqrt{p_k})) \leq k_0 \exp(O(\sqrt{p_{k_0}})) \leq \exp(c_2 \sqrt{\log X}).$$

Remarque. On peut conjecturer que $\log Q_l(X) \sim \pi \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{\log X}$. En effet si l'on calcule la constante c_2 dans la majoration ci-dessus, on trouve $c_2 = 2\pi \sqrt{\frac{2}{3}}(1+\varepsilon)$, le « 2 » venant de la formule de Brun-Titchmarsh. Si l'on suppose les nombres premiers très bien répartis autour de p_k , on peut assimiler $\log \frac{p_{k+r}}{p_k}$ à $r \frac{\log p_{k+1}}{p_k}$ et le nombre d'éléments de E'_k serait le nombre de solutions de l'inéquation

$$\sum_{r=1}^{\infty} r x_r + \sum_{r=1}^{\infty} r y_r \leq p_k \quad \text{avec} \quad \sum_{i=1}^{\infty} x_i = \sum_{i=1}^{\infty} y_i$$

$x_i, y_i \in \{0, 1\}$. Le logarithme de ce nombre de solutions est équivalent à $\pi \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{p_k}$.

§ 2. DÉMONSTRATION DU THÉORÈME 2

Minoration : Posons $k = \left[\frac{c \log x}{\log \log x} \right] + 1$ et $A_k = e^{\theta(p_k)} = 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot p_k$, où $\theta(x) = \sum_{p \leq x} \log p$ est la fonction de Chebichev. Les multiples n de A_k vérifient $\omega(n) > \frac{c \log x}{\log \log x}$. Il y en a $\left[\frac{x}{A_k} \right]$ qui sont inférieurs à x . On a (cf. [Land], § 57):

$$\log A_k = \theta(p_k) = p_k + O(p_k / \log^2 p_k) = k(\log k + \log \log k - 1 + o(1)).$$

Il vient en posant $l = \log x$, $l_2 = \log \log x$, $l_3 = \log \log \log x$:

$$k = \frac{cl}{l_2} + O(1)$$

$$\log A_k = cl + c(\log c - 1)(1 + o(1))l/l_2$$

et

$$f_c(x) \geq \left[\frac{x}{A_k} \right] \geq x^{1-c} \exp \left(c(1 - \log c)(1 + o(1)) \frac{\log x}{\log \log x} \right).$$