

§3. L'HOMOMORPHISME ET L'APPLICATION

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **39 (1993)**

Heft 3-4: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **18.04.2024**

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.

§3. L'HOMOMORPHISME θ ET L'APPLICATION ψ

Soit C_Δ le groupe des classes d'idéaux au sens usuel de l'anneau O_Δ . L'homomorphisme θ de C_{Df^2} sur C_D défini et étudié dans [7], §3 est en fait un homomorphisme des groupes des classes d'idéaux au sens strict, de $C_{Df^2}^+$ sur C_D^+ . On vérifie que le Theorem 1 et le Corollary 4 de [7] soient vrais si l'on remplace classe par classe au sens strict et équivalence par équivalence au sens strict: pour adapter la démonstration du Théorème 1 il suffit de ne considérer que des substitutions linéaires de déterminant $+1$ (pages 333-334), et pour celle du Corollary 4 il suffit de remarquer que, avec les notations de [7], page 335,

$$N\left(\frac{\sqrt{D'} - b}{2a}\right) \cdot N\left(\frac{-\frac{b}{f} + \sqrt{D}}{2c}\right) > 0.$$

A partir de maintenant nous considérons le cas où $D \equiv 1 \pmod{4}$ et $f = 2$.

LEMME 4. *Un idéal primitif de O_{4D} s'écrit $I = [a, b + \sqrt{D}]$ avec $b \equiv 1 \pmod{2}$, et soit $a \equiv 1 \pmod{2}$, soit $a \equiv 0 \pmod{4}$. Si C est la classe au sens strict de I , la classe $\theta(C)$ contient l'idéal $\theta(I)$ où $\theta(I)$ est défini par*

$$(3.1) \quad \theta(I) = \begin{cases} \left[a, \frac{b + \sqrt{D}}{2} \right], & \text{si } a \equiv 1 \pmod{2}, \\ \left[\frac{a}{4}, \frac{b + \sqrt{D}}{2} \right], & \text{si } a \equiv 0 \pmod{4}, \end{cases}$$

Démonstration. Soit $I = [a, b' + \sqrt{D}]$ un idéal primitif de O_{4D} . On a donc $D = b'^2 - ac$. Si b' est pair alors a est impair, donc $I = [a, b' + a + \sqrt{D}]$, donc on peut toujours supposer $I = [a, b + \sqrt{D}]$ avec b impair. Alors $ac \equiv 0 \pmod{4}$ et, comme $(a, 2b, c) = 1$, on voit que: soit $a \equiv 1 \pmod{2}$, $c \equiv 0 \pmod{4}$, soit $a \equiv 0 \pmod{4}$, $c \equiv 1 \pmod{2}$.

Le fait que $\theta(I) \in \theta(C)$ est une conséquence immédiate de [7] Theorem 1 et Corollary 4.

Nous supposons toujours $b \equiv 1 \pmod{2}$ dans l'écriture $I = [a, b + \sqrt{D}]$ d'un idéal primitif de O_{4D} et nous posons $I = a[1, \varphi]$ avec $\varphi = \frac{b + \sqrt{D}}{a}$

où φ est défini modulo 1.

Soit I associé à φ un idéal de O_Δ ($\Delta = D$ ou $4D$). Nous noterons I' et φ' l'idéal et le nombre associés obtenus à partir de I et φ par une étape de réduction négative, c'est-à-dire $\varphi' = \frac{1}{[\varphi + 1] - \varphi}$. Nous avons

PROPOSITION 6. *Soit $I = a[1, \varphi]$ un idéal primitif négativement réduit de O_{4D} . Si $a \equiv 1 \pmod{2}$ et si $\theta(I)$ n'est pas négativement réduit alors $(\theta(I))'$ est négativement réduit. Si $a \equiv 0 \pmod{4}$, $\theta(I)$ est négativement réduit.*

Démonstration. D'après le Lemme 2 on a $\varphi + [-\bar{\varphi}] > 0$. Si $a \equiv 1 \pmod{2}$, $\theta(I) = a\left[1, \frac{\varphi}{2}\right]$ est négativement réduit si, et seulement si, $\frac{\varphi}{2} + \left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right] > 0$. Si $\theta(I)$ n'est pas négativement réduit on a simultanément

$$(3.2) \quad \varphi + [-\bar{\varphi}] > 0, \quad \varphi + 2\left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right] < 0$$

d'où, comme $[-\bar{\varphi}] > 2\left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right]$, on voit que $[-\bar{\varphi}] = 2\left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right] + 1$ et

$$(3.3) \quad \frac{1}{2} < \frac{-\bar{\varphi}}{2} - \left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right] < 1.$$

Des inégalités (3.2) on déduit aussi $-\left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right] - \frac{1}{2} < \frac{\varphi}{2} < -\left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right]$ d'où

$$(3.4) \quad \left[\frac{\varphi}{2} + 1\right] = -\left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right] \text{ avec } 0 < \left[\frac{\varphi}{2} + 1\right] - \frac{\varphi}{2} < \frac{1}{2}.$$

Pour vérifier que $\theta(I)'$ est négativement réduit il suffit de voir que

$$\frac{1}{\left[\frac{\varphi}{2} + 1\right] - \frac{\varphi}{2}} + \left[\frac{-1}{-\left[\frac{-\bar{\varphi}}{2}\right] - \frac{\bar{\varphi}}{2}}\right] > 0$$

ce qui résulte de (3.3) et (3.4).

Si $a \equiv 0 \pmod{4}$, $\theta(I) = \frac{a}{4}[1, 2\varphi]$ est négativement réduit, car $2\varphi + [-2\bar{\varphi}] \geq 2\varphi + 2[-\bar{\varphi}] > 0$. Ceci achève de prouver la proposition 6.

Soit maintenant E l'ensemble des idéaux négativement réduits de O_{4D} . Nous considérons la partition suivante de E en trois sous-ensembles E_1, E_2, E_3 . Soit $I = a[1, \varphi]$ un idéal primitif de O_{4D} , négativement réduit. Alors

$$\begin{aligned} I \in E_1 & \quad \text{si} \quad a \equiv 1 \pmod{2} \quad \text{et} \quad \theta(I) \quad \text{est négativement réduit,} \\ I \in E_2 & \quad \text{si} \quad a \equiv 1 \pmod{2} \quad \text{et} \quad \theta(I) \quad \text{n'est pas négativement réduit,} \\ I \in E_3 & \quad \text{si} \quad a \equiv 0 \pmod{4}. \end{aligned}$$

Soit E^* l'ensemble des idéaux négativement réduits de O_D . Nous définissons une application ψ de E dans E^* de la manière suivante:

$$\begin{aligned} \psi(I) &= \theta(I), \quad \text{si } I \in E_1, \quad \text{ou } I \in E_3, \\ \psi(I) &= (\theta(I))', \quad \text{si } I \in E_2, \end{aligned}$$

de sorte que $\psi(I) \in \theta(C)$, où C désigne la classe de I .

Les propositions suivantes ne sont vraies que si $D \equiv 5 \pmod{8}$. Ce qui distingue ce cas est que, si $D \equiv 5 \pmod{8}$, pour tout idéal

$$J = \left[a, \frac{b + \sqrt{D}}{2} \right] \text{ on a } a \equiv c \equiv 1 \pmod{2}.$$

PROPOSITION 7. *Si $D \equiv 5 \pmod{8}$ la restriction de ψ à E_3 est surjective. L'image réciproque d'un idéal $J \in E^*$ a deux éléments si J est réduit, un seul si J n'est que négativement réduit.*

Démonstration. Soit $J = a[1, \omega]$ un élément de E^* . On peut supposer $0 < \bar{\omega} < 1 < \omega$. Les idéaux de $\psi^{-1}(J)$ appartenant à E_3 sont à chercher parmi les idéaux $4a \left[1, \frac{\omega + k}{2} \right]$ où $k \in \mathbf{Z}$, c'est-à-dire parmi les idéaux $I_1 = 4a \left[1, \frac{\omega}{2} \right]$ et $I_2 = 4a \left[1, \frac{\omega + 1}{2} \right]$. Les idéaux I_1 et I_2 sont primitifs et I_2 est négativement réduit alors que I_1 l'est si, et seulement si, $\omega > 2$ ce qui signifie que J est réduit.

PROPOSITION 8. *Si $D \equiv 5 \pmod{8}$ les restrictions de ψ à E_1 et à E_2 sont des bijections de E_i ($i = 1, 2$) sur E^* .*

Démonstration. Soit ψ_1 la restriction de ψ à E_1 , et soit $J = a[1, \omega] \in E^*$. On a $\omega + [-\bar{\omega}] > 0$, donc $I = a[1, 2\omega]$ est négativement réduit et, comme $a \equiv 1 \pmod{2}$, on a $\theta(I) = J$ et $I \in E_1$, ce qui montre que ψ_1 est surjective. Soit $I_1 = a_1[1, \varphi_1]$ un idéal de E_1 tel que $\psi_1(I_1) = J$; alors

$\theta(I_1) = a_1 \left[1, \frac{\varphi_1}{2} \right] = J$, d'où $a_1 = a$ et $\varphi_1 \equiv 2\omega \pmod{2}$, ce qui montre que $I_1 = I$ et que ψ_1 est injective.

Considérons maintenant la restriction ψ_2 de ψ à E_2 . Soit J un idéal de E^* et ω le nombre négativement réduit associé à J . Les idéaux J_- donnant J par une étape de réduction négative sont définis par les nombres $\frac{-1}{\omega + n}$ ($n \in \mathbf{Z}$).

Comme $\frac{-2}{\omega + n}$ est un nombre de discriminant $4D$, les idéaux $\psi_2^{-1}(J)$ sont,

parmi les idéaux définis par les nombres $\frac{-2}{\omega + n}$ ($n \in \mathbf{Z}$), ceux qui sont négativement réduits sans que J_- le soit, ce qui se traduit par

$$\frac{-1}{\omega + n} + \left[\frac{1}{\bar{\omega} + n} \right] < 0, \quad \frac{-2}{\omega + n} + \left[\frac{2}{\bar{\omega} + n} \right] > 0$$

d'après le lemme 2, c'est-à-dire

$$(3.5) \quad 2 \left[\frac{1}{\bar{\omega} + n} \right] < \frac{2}{\omega + n} < \left[\frac{2}{\bar{\omega} + n} \right].$$

Tenant compte de ce que $0 < \bar{\omega} < 1 < \omega$, on vérifie que $n = 1$ est la seule valeur de n qui satisfait (3.5), ce qui montre que ψ_2 est bijective et achève de prouver la proposition 8.

Des propositions 7 et 8 résulte immédiatement le résultat suivant:

THÉORÈME 2. *Soit $D \equiv 5 \pmod{8}$ un discriminant > 0 . Soit N_- le nombre des idéaux primitifs négativement réduits de O_{4D} , et soient N_-^* et N^* respectivement le nombre des idéaux primitifs négativement réduits et réduits de O_D . Alors*

$$(3.6) \quad N_- = 3N_-^* + N^*.$$

L'application ψ étant compatible avec l'homomorphisme θ le résultat plus précis suivant est vrai.

THÉORÈME 3. *Soit $D \equiv 5 \pmod{8}$ un discriminant > 0 . Soit C^* une classe d'idéaux au sens strict de O_D et $\theta^{-1}(C^*)$ son image inverse par θ . Soit L_- le nombre des idéaux primitifs négativement réduits de $\theta^{-1}(C^*)$ et soient L_-^* et L^* le nombre des idéaux primitifs respectivement négativement réduits et réduits de C^* . Alors:*

$$(3.7) \quad L_- = 3L_-^* + L^*.$$

Nous pouvons maintenant prouver le Théorème 1. On sait que

$$(3.8) \quad \text{Card}(\text{Ker } \theta) = \begin{cases} 3, & \text{si } (1.1) \text{ n'a pas de solution impaire,} \\ 1, & \text{si } (1.1) \text{ a des solutions impaires.} \end{cases}$$

Ce résultat était déjà connu de Gauss ([2], §256, VI); d'autres démonstrations se trouvent dans [8], §151 et [5], page 172.

Le Théorème 1 est une conséquence immédiate de (3.7) et (3.8).

Remarque. Les résultats analogues aux Théorèmes 2 et 3 quand $D \equiv 1 \pmod{8}$ seront exposés dans un article ultérieur.

§4. EXEMPLES NUMÉRIQUES

a) THÉORÈME 2.

Nous donnons les valeurs de N_- , N_-^* et N^* pour tous les $D \equiv 5 \pmod{8}$ de 5 à 109, et pour 141 et 165 que nous étudierons en b).

D	N_-	N_-^*	N^*
5	4	1	1
13	10	3	1
21	14	4	2
29	16	5	1
37	24	7	3
45	20	6	2
53	22	7	1
61	36	11	3
69	34	10	4
77	26	8	2
85	46	14	4
93	38	12	2
101	36	11	3
109	58	17	7
141	58	18	4
165	60	18	6