Zeitschrift: L'Enseignement Mathématique
Herausgeber: Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique
Band: 38 (1992)
Heft: 1-2: L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE

Artikel: POLYÈDRES ET RÉSEAUX
Autor: Brion, Michel
Kapitel: 1.1. Polynômes et séries de Laurent
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-59483

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

forment de façon très simple, ce qui permet de retrouver le résultat d'Ehrhart (si P est un polytope) par un passage à la limite en $x = 1$. On peut même donner une formule explicite, mais horrible, pour la fonction i_P (voir [B], Théorème 3.1).

Dans [B], les identités précédentes entre fonctions caractéristiques ont été établies grâce au dictionnaire entre polyèdres convexes entiers, et variétés toriques munies d'un fibré en droites ample (voir [O], Chapter II). Ensuite, M. Ishida a donné une démonstration élémentaire de résultats un peu plus généraux (voir [I]). Le but de ce travail est d'exposer les propriétés des fonctions caractéristiques des polyèdres convexes entiers, en suivant les idées d'Ishida, et d'en déduire des généralisations du théorème d'Ehrhart (théorèmes 3.1 et 3.2 ci-dessous). Les preuves reposent sur des variantes de la relation d'Euler entre les nombres de faces d'un polytope (lemme 2.1 ci-dessous).

Un problème intéressant mais complètement ouvert, est d'interpréter, en fonction de la géométrie du polytope convexe entier P, les coefficients de l'application polynomiale $i_P(n) = a_0 + a_1 n + \cdots + a_d n^d$. On sait depuis Ehrhart que $a_0 = 1$; de plus, d est la dimension de P; a_d est la mesure de P, et $2a_{d-1}$ est la mesure du bord de P (voir 3.2 ci-dessous). Mais la signification de $a_1, \ldots, a_{d-2}$ est inconnue.

1. Fonctions caractéristiques

1.1. Polynômes et séries de Laurent

Les notations de cette section seront utilisées dans toute la suite. Soient M un réseau dans un espace vectoriel réel V, de dimension finie d. On note $\mathbf{Z}[M]$ l'algèbre du groupe M sur $\mathbf{Z}$, et $(x^m)_{m \in M}$ sa base canonique: la multiplication dans $\mathbf{Z}[M]$ est définie par $x^m \cdot x^{m'} = x^{m+m'}$. Le choix d'une base $(m_1, \ldots, m_d)$ de M induit un isomorphisme de $\mathbf{Z}[M]$ avec l'anneau des polynômes de Laurent, à coefficients entiers, en les indéterminées $x^{m_1}, \ldots, x^{m_d}$.

On note $\mathbf{Z}[[M]]$ le groupe abélien formé des séries formelles $\sum_{m \in M} a_m x^m$ à coefficients entiers. On définit sur $\mathbf{Z}[[M]]$ une structure de module sur $\mathbf{Z}[M]$, par

$$x^p \cdot \sum_{m \in M} a_m x^m = \sum_{m \in M} a_{m-p} x^m$$

(mais en général, on ne peut définir le produit de deux séries formelles). On peut voir $\mathbf{Z}[[M]]$ comme l'ensemble des séries de Laurent formelles, en d indéterminées.

Soit S le sous-ensemble de $\mathbf{Z}[M]$ formé des produits finis d'éléments de la forme $1 - x^m$, $m \in M\backslash\{0\}$. On note $S^{-1}\mathbf{Z}[M]$ le sous-anneau du corps des fractions de $\mathbf{Z}[M]$, formé des $s^{-1}u$ où $u \in \mathbf{Z}[M]$ et $s \in S$. Enfin, on note $\mathscr{L}(M)$ l'ensemble des $u \in \mathbf{Z}[[M]]$ tels que $S \cdot u$ rencontre $\mathbf{Z}[M]$; c'est un sous-$\mathbf{Z}[M]$-module de $\mathbf{Z}[[M]]$.

Pour tout entier $p \geqslant 0$, on note S_p le sous-ensemble de S formé des produits d'au plus p éléments de la forme $1 - x^m$, $m \in M\backslash\{0\}$. On définit de façon évidente $S_p^{-1}\mathbf{Z}[M]$ et $\mathscr{L}_p(M)$.

PROPOSITION. *Il existe un unique* $\mathbf{Z}[M]$*-morphisme*

$$\mathscr{S}\colon \mathscr{L}(M) \to S^{-1}\mathbf{Z}[M]$$

tel que $\mathscr{S}(u) = u$ *pour tout* $u \in \mathbf{Z}[M]$. *De plus,* $\mathscr{S}(\mathscr{L}_p(M)) \subset S_p^{-1}\mathbf{Z}[M]$ *pour tout entier* $p \geqslant 0$.

Démonstration. Soit $u \in \mathscr{L}_p(M)$. Choisissons $s \in S_p$ tel que $v = s \cdot u \in \mathbf{Z}[M]$, et posons $\mathscr{S}(u) = s^{-1}v \in S^{-1}\mathbf{Z}[M]$. On vérifie immédiatement que $\mathscr{S}(u)$ ne dépend pas du choix de s, et que $\mathscr{S}$ convient. □

On appelle $\mathscr{S}(u)$ la *somme* de la série formelle $u \in \mathscr{L}(M)$. Par exemple, pour tout $m \in M\backslash\{0\}$, on a:

$$\mathscr{S}\left(\sum_{n=0}^{\infty} x^{nm}\right) = (1 - x^m)^{-1} \quad \text{et} \quad \mathscr{S}\left(\sum_{n=-\infty}^{\infty} x^{nm}\right) = 0 .$$

1.2. FONCTIONS CARACTÉRISTIQUES DE CÔNES ET POLYÈDRES

Définitions. Une demi-droite δ de V est *entière* si son origine m est un point de M, et si $\delta\backslash\{m\}$ rencontre M. Un *cône* (convexe, rationnel, polyédral) est l'enveloppe convexe d'un nombre fini de demi-droites entières, de même origine O. Le cône C est *saillant* s'il ne contient aucune droite, et *simplicial* s'il est enveloppe convexe de demi-droites dont les directions sont linéairement indépendantes.

Une *subdivision* du cône C est une famille $(C_i)_{i \in I}$ de cônes saillants telle que:

$C = \bigcup_{i \in I} C_i$;

si F est une face de C_i, alors $F = C_j$ pour un $j \in I$;

l'intersection $C_i \cap C_j$ est une face de C_i et de C_j.