

Derk Pik

Faculteit der Kunsten,

Universiteit Leiden

Postbus 9500,

2300 RA Leiden

drpik@math.leidenuniv.nl

Cultuur

Stochastiek in de vroege muziek van Xenakis

Wiskunde en muziek is opnieuw in snel tempo een levendig vakgebied geworden. Tot ver in de Renaissance hoorden wiskunde en arithmetiek eigenlijk bij elkaar, om daarna vanwege de steeds verdergaande specialisatie in de wetenschap uiteen te groeien. Eind negentiende eeuw heeft Helmholtz de twee inmiddels zeer verschillende gebieden weer bij elkaar gebracht en nog anderhalve eeuw later, in 2007, gaat het tijdschrift 'Journal of Mathematics and Music' van start met vertrouwenswekkende namen uit wiskunde en muziek. Ook heeft een aantal twintigste eeuwse componisten zich opnieuw laten inspireren door wiskundige theorieën. Met de komst van de computer zijn er zowel voor analyse als klanksynthese enorme mogelijkheden gecreëerd.

Iannis Xenakis was een pionier op dit terrein. Veel van zijn muziek is gestructureerd door toepassing van wiskundige technieken. Aan de hand van twee vroege, en door Xenakis zelf goed gedocumenteerde stukken, 'Herma' voor piano solo en 'Achorripsis' voor kamerorkest, wordt een aantal van deze technieken geïllustreerd. Derk Pik is als wiskundige verbonden aan de Faculteit der Kunsten van de Universiteit Leiden en verzorgt op het conservatorium in Den Haag een lezingencyclus 'Mathematical Structures in Music'. Dit artikel verscheen in maart 2006 in 'Mens en Melodie'.

Een goede live uitvoering van muziek van Xenakis is een indrukwekkende gebeurtenis. Zijn klanken roepen vaak natuurvoorstellingen op en lijken eerder bij de goden te behoren dan bij de mensen. Zonder bijbedoeling heeft zijn muziek een zeker onmenselijk karakter. Dit ligt slechts ten dele aan het genadeloze virtuoze karakter van zijn muziek. Wat maakt de kleur van zijn werk zo herkenbaar en bijzonder?

Het geluid van regen op bladeren, storm op zee, het geluid van een korenveld, maar ook van een drukke stad of van een schreeuwende menigte kan een diepe sensatie opwekken vanwege de associaties die het bij ons oproept. De klanken om ons heen vertellen ons vrijwel onmiddellijk waar we zijn: we hebben het vermogen om

zeer veel soorten ruis van elkaar te onderscheiden. Al deze geluiden hebben gemeen dat ze deels zijn voortgebracht door een of ander toevalsproces: in elk geval door een proces dat niet geheel deterministisch bepaald is. Het is daarom verwonderlijk dat stochastisch geluid zo weinig in muziek van voor 1950 voorkomt. Het was er overigens wel, bijvoorbeeld in strijkerstremoli. Een mooi voorbeeld is te vinden in het derde deel van de zesde symfonie van Beethoven waar het geluid van slagregens door zo'n tremolo wordt opgeroepen. Het geluid van een strijkerstremolo heeft door het feit dat niet alle strijkers precies op het zelfde moment hetzelfde geluid maken, een uitgesproken stochastisch karakter: een geluid dat door een toevalsproces wordt bepaald. Net als de regen.

Xenakis geeft zelf overigens andere redenen voor de introductie van stochastische processen in zijn muziek: "The serialists of the Vienna School, not having known how to master logically the indeterminism of atonality, returned to an organisation which was extremely causal in the strictest sense; more abstract than that of tonality" ([1], p. 5). Hij merkt de grote tegenstelling op die er bestaat tussen het (veronderstelde) gebrek aan functionaliteit van atonale muziek en de dwingende formele structuur van twaalftoonsmuziek. Toch was de hoofdzaak voor hem het creëren en beheersen van klanktexturen: "In 1954, I [Xenakis] introduced probability theory and calculus in musical composition in order to control sound masses both in their invention and their evolution" ([1], p. 255). Hoe gebruikte Xenakis stochastische technieken om een klankveld te genereren?

Toonverzamelingen

Om deze vraag te beantwoorden, gaan we dieper in op twee van Xenakis' composities: *Herma* (1960-61) voor piano solo en *Achorripsis* (1958) voor kamerorkest. *Herma* (Grieks voor kiem) werd in opdracht van de pianist en componist Yuji Takahashi gecomponeerd. Hij verzorgde er in 1962 in Tokyo de eerste uitvoering van. Bij eerste kennismaking maakt het stuk een zeer heftige indruk. De pianist levert een enorm gevecht om alle ver uit elkaar gelegen tonen te spelen. Meestal zijn er twee dynamische niveaus: wolken tonen in forte en gelijktijdig wolken tonen in pianissimo. Na

Enkele termen uit de muziek

Crescendo, decrescendo: sterker wordend, zachter wordend.

Glissando: speelwijze waarbij de toonhoogte op gelijkmatige, continue manier stijgt of daalt.

Piano, forte: de sterkte waarmee een passage gespeeld moet worden, wordt aangegeven met zogenaamde dynamische tekens. Zeer zacht wordt aangegeven met *pp*, *pianissimo*, zacht wordt genoteerd door *p*, *piano*, *mezzo piano* (*mp*) en *mezzo forte* (*mf*) betekenen half zacht en half sterk en *f*, *forte* betekent sterk, *ff*, *fortissimo*, is zeer sterk. Er zijn nog meer veelvoorkomende gradaties, zoals *fff*, *fortississimo*: dit is nog sterker dan *ff*.

Pizzicato: getokkeld: speelwijze op een strijkinstrument waarbij de snaren niet gestreken worden, maar door het plukken met een vinger tot klinken worden gebracht.

Solfège: verzamelnaam van muziektechnische vaardigheden, zoals het van blad lezen van muziek, het opschrijven van een te beluisteren muziekfragment, het benoemen van akkoorden.

Tremolo: het snel herhalen van één of meerdere tonen, waardoor een specifieke 'bevende' klankkleur ontstaat.

een paar keer luisteren vallen er allerlei delen te onderscheiden, die vooral verschillen in klankdichtheid. Op twee momenten komen alle tonen uit het middenregister; dit zijn ook de enige echte akkoordfragmenten. Naar het einde toe neemt de dichtheid van de tonen toe.

Xenakis heeft zelf uitgebreid over dit stuk geschreven. Vanwege deze goede documentatie is het veel door analisten bestudeerd. Heel interessant is de statistische beschrijving van Robert Wannamaker, op internet te vinden op de site van de *Society of Music Theory* (zie [2]).

Voor het stuk definieert Xenakis drie verzamelingen *A*, *B* en *C* van tonen. Het stuk begint met een expositie van deze verzamelingen. Eerst klinkt er, ongeveer een minuut lang, een willekeurige keuze uit alle tonen van de piano; tonen van willekeurige duur, met een lengte variërend tussen van een snelle voorslag tot een halve seconde. De toonwolk begint zeer zacht en er begint meteen een lang crescendo, gedurende het hele fragment tot aan fortississimo. Het crescendo wordt ondersteund door de toename in dichtheid van de

tonen. Dan wordt de verzameling *A*, bestaande uit dertig tonen in het stuk geïntroduceerd. De tonen worden in twee wolken gepresenteerd: een forte-'melodie' van gemiddeld 0.8 tonen per seconde, door Xenakis *linéaire* genoemd, en een pianissimowolk van 3.3 tonen per seconde, door Xenakis *nuage* genoemd. De lineaire langzame random-melodie klinkt de hele tijd; de pianissimowolk verschijnt en verdwijnt.

Na weer een kleine minuut zijn er twee maten stilte en wordt het complement van de verzameling *A* geëxposeerd. We geven het complement van *A* aan door *A^c*. Het complement *A^c* bevat alle tonen die niet in *A* zitten: 88 – 30 = 58 tonen. Dit zijn er dus veel meer: Xenakis plaatst de wolk fortissimo, 10 tonen per seconde, gedurende ongeveer een halve minuut in het stuk. De expliciete toonverzamelingen, door Wannamaker gereconstrueerd, kunnen op internet worden bekeken. Ze laten ook kleine inconsistenties zien; zo zit de toon *C₂* zowel in *A* als in *A^c*. Dit was al langer bekend: in *Harley* ([3], p. 258) staat dat er zelfs een discussie is geweest of deze paar noten moeten worden gecorrigeerd of niet.

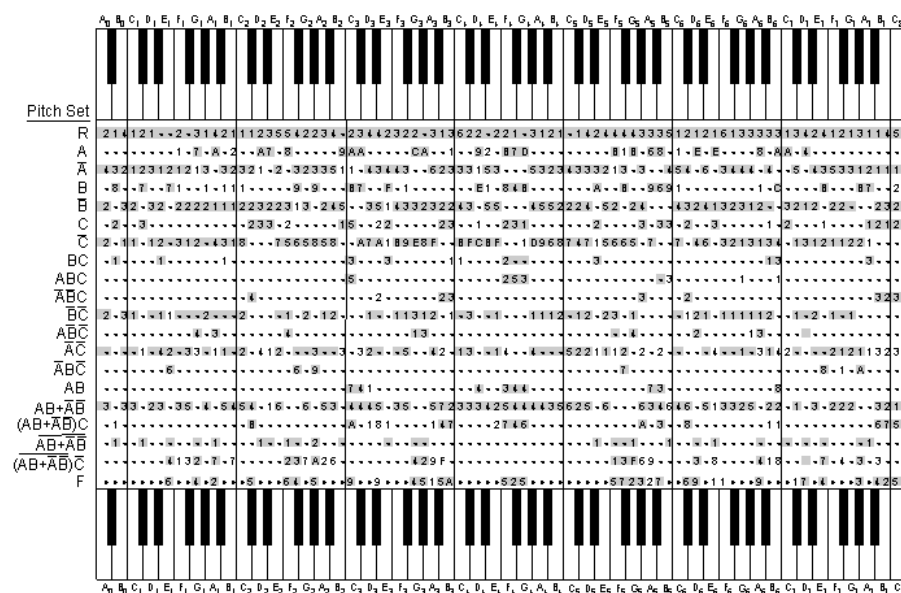
Op de zelfde wijze maakt de toehoorder kennis met de verzameling *B* (31 tonen) en haar complement, en *C* (29 tonen) en haar complement. Een dramatisch moment in de expositie van *B* wordt gevormd door een forte-akkoord, dat bij *B*-linéaire behoort, en verderop, in het complement van *C*, het geweld van tien akkoorden, snel achter elkaar, alles in het middengebied van de piano. Het is duidelijk dat deze keu-

zes niet door het toeval zijn bepaald. We zijn inmiddels bij het midden, een keerpunt van het stuk beland.

Het herkennen van toonverzamelingen

Zijn de drie verschillende toonverzamelingen wel te herkennen? Ze verschillen in structuur niet echt van elkaar en lijken willekeurig samengesteld. Bij een informele proef voor studenten aan het Conservatorium in Den Haag bleken de verzamelingen verrassend snel van elkaar te onderscheiden. Met behulp van de computer, het rekenprogramma *Matlab* en samples van alle pianotonen werden tien klankwolken van elke soort samengesteld. De computer trok dus willekeurige tonen, met een dichtheid en een spreiding in de toonlengte die enigszins overeenkwam met de toonduur van de wolken in *Herma*. Eerst konden de studenten raden of de trekking uit een verzameling bestaande uit alle 88 tonen afkomstig was, of alleen uit de verzameling *A*. De meeste studenten onderscheidden beide al na drie keer. Dezelfde solfègeoefening met de drie verzamelingen *A*, *B* en *C* gaf nauwelijks meer problemen.

Als het er alleen maar om gaat verschillende wolken zo snel mogelijk te herkennen, zijn er allerlei trucs toe te passen, zoals het registreren van bepaalde tonen; iets wat gemakkelijk kan met een absoluut gehoor. Ook is het mogelijk om bepaalde akkoorden te onderscheiden die in de ene wolk wel voorkomen en in de andere niet. Al deze trucs zijn voor de gemiddelde conservatoriumstudent gemakkelijk toe te passen. De solfègeoefening wordt



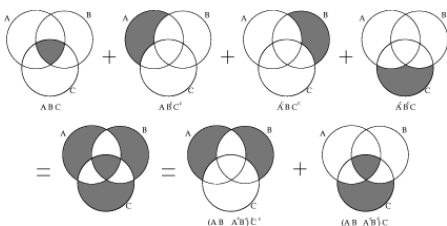
Figuur 1 De verzamelingen *R*, *A*, *B* en *C*, hun complementen, en de in *Herma* voorkomende samenstellingen van deze verzamelingen, volgens de reconstructie van Wannamaker. Het complement *A^c* van een verzameling *A* wordt in het stuk genoteerd als *A̅*.

moelijker, als de studenten wordt gevraagd om alleen naar het globale kleurverschil te luisteren. Het is echter nog steeds niet onmogelijk. (De lezer die het zelf wil proberen kan terecht op de internetpagina [5].)

Een identiteit uit de verzamelingenleer

De tweede helft van Herma is eigenlijk een illustratie van de identiteit:

$$ABC \cup A^c B^c C \cup A^c B C^c \cup A B^c C^c = (AB \cup A^c B^c)^c \cup (AB \cup A^c B^c)^c C^c.$$



Figuur 2

Er zijn, net als bij de expositie in het eerste deel van de verzamelingen *A*, *B* en *C*, twee niveaus van klanksterkte. Op het ene niveau worden *ABC*, *A^cB^cC*, *A^cBC^c*, *AB^cC^c* geconstrueerd en fortississimo (*fff*) uitgevoerd; op het andere niveau worden de twee deelverzamelingen $(AB \cup A^c B^c)C$ en $(AB \cup A^c B^c)^c C^c$ gemaakt en fortissimo (*ff*) gespeeld. Daar zit in dynamiek dus een klein verschil in, dat echter erg belangrijk is voor de helderheid van de structuur van het stuk. Dit is waarschijnlijk het allermoeilijkst te realiseren voor de pianist: een gradueel verschil, dat op hetzelfde moment ook de structuur bepaalt. Omdat de identiteit van figuur 2 eigenlijk uiteenvalt in de gelijkheden

$$ABC \cup A^c B^c C = (AB \cup A^c B^c)C$$

$$A^c B C^c \cup A B^c C^c = (AB \cup A^c B^c)^c C^c,$$

passen de fortississimo gespeelde wolken *ABC* en *A^cB^cC* precies in de gelijktijdig gespeelde fortissimo verzameling $(AB \cup A^c B^c)C$, en net zo zijn de wolken *A^cBC^c* en *AB^cC^c* terug te vinden in $(AB \cup A^c B^c)^c C^c$. Als je wat verder inzoomt op het stuk, worden de verzamelingen *ABC*, *A^cB^cC*, *A^cBC^c*, *AB^cC^c*, $(AB \cup A^c B^c)C$ en $(AB \cup A^c B^c)^c C^c$ ook nog eens geconstrueerd. Bijvoorbeeld *ABC* verschijnt vanuit de wolk *BC*, waar dus nog tonen in zitten die wel in *BC* en niet in *A* voorkomen. Spoedig verdwijnt deze ‘verstoring’ en verandert *BC* in *ABC*, fortississimo gespeeld en ‘consonant’ met de grote wolk $(AB \cup A^c B^c)C$, die op het andere plan raast. Het volledige schema van de tweede helft staat in [1], p. 176.

Luisteren

Op meerdere plaatsen is opgemerkt dat de constructie van Herma te snel gaat, niet te volgen is, en dat het effect van het stuk vooral gebaseerd is op de grote bergen geluid an sich. Bij eerste kennismaking zijn bovendien de stiltes tussen de verzamelingen vooral dramatisch. Dit leidt tot de filosofische vraag hoe belangrijk de structuur is voor de kwaliteit van een stuk. Waar is die structuur voor nodig, als je er niets van hoort? We moeten ons echter ook afvragen, of de structuur van Herma echt niet waar te nemen is.

Uit de solfègeoefeningen met toonverzamelingen blijkt dat de verzamelingen, in elk geval voor professionele musici, gauw te herkennen zijn. Een bijkomend effect van deze oefeningen is dat het stuk ook is veranderd nadat je deze verzamelingen hebt leren herkennen. Actief luisteren geeft het stuk meer betekenis.

Gaswetten

Het klankmateriaal, de textuur van Herma is eigenlijk abstracte gegenereerde ruis. Deze ruis kan op vele manieren tot stand komen. Met het rekenprogramma Matlab is vrij eenvoudig te testen dat de verdeling van de tonen in de meeste wolken van Herma homogeen is over alle tonen van een verzameling. Het is (mij) niet bekend of de tonen en hun duur daadwerkelijk afkomstig zijn uit een stochastisch proces; het lijkt in elk geval plausibel.

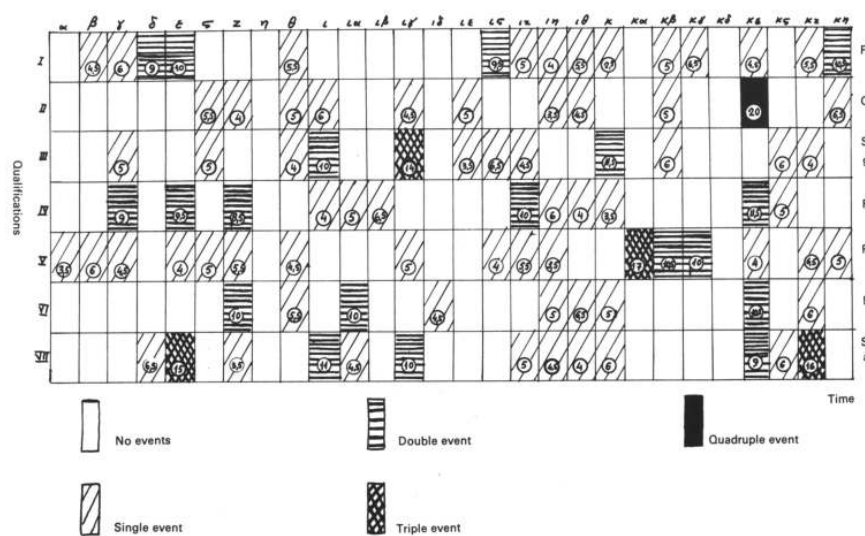
Er zijn echter nog vele andere verdelingen mogelijk dan de homogene. Een van de eerste stukken waar Xenakis doelbewust met een abstract gedefinieerd theoretisch raamwerk componeerde, is Achorripsis voor

een kamerorkest van 21 musici. Het werk is gedeeltelijk geïnspireerd op de bewegingen van een gas in de ruimte. Het is in die zin ook minder abstract dan Herma, waar geen sprake is van modellering naar een of ander fenomeen uit de natuur. Vanwege de transformatie van gaswetten naar klank heeft het werk zelfs een figuratief karakter.

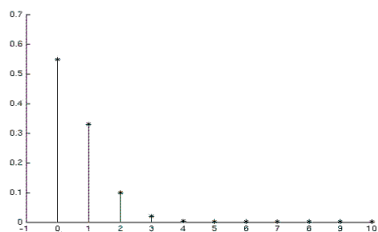
Het stuk moet worden gezien tegen een achtergrond van Xenakis’ zoektocht naar abstracte basisprincipes voor het componeren. Zo beschouwd is het stuk een mogelijk antwoord op de vraag hoe je met relatief weinig regels, met een eenvoudig uitgangspunt een rijke interessante textuur krijgt (zie [1], p. 22). Het stuk is voor het eerst uitgevoerd in 1958 in Buenos Aires door het *Orchester der Oper Köln* onder leiding van Herman Scherchen. Het stuk werd daar veel beter ontvangen dan een jaar later, in 1959 in Parijs, tevens het locale debuut van Xenakis, waar Achorripsis zelfs onderwerp werd van een heftige controverse [1], p. 23. De titel betekent ‘Geluidsstralen’ in het Grieks. Hoe zit het stuk in elkaar?

De Poissonverdeling

Achorripsis is strak georganiseerd, zowel horizontaal in tijd, als verticaal in samenklanken. De totale tijdsduur van het stuk is onderverdeeld in 28 gelijke tijdsintervallen. Er zijn verticaal steeds dezelfde zeven verschillende instrumentale groepen, namelijk: hout-, riet- en koperblazers, slagwerk en een strijkersgroep die als in drieën onderverdeeld beschouwd moet worden: de strijkers spelen gewone gestreken tonen, glissandi en pizzicati. In de organisatie van het stuk worden deze speelwijzen eigenlijk opgevat als voortgebracht



Figuur 3 Schema voor Achorripsis



Figuur 4 De Poissonverdeling met verwachting 0.6. Xenakis koos deze parameter voor de verdeling van gebeurtenissen in een cel van het raamwerk voor Achorripsis. De kans dat er geen gebeurtenis plaatsvindt in een cel is 0.55; de kans dat er precies een gebeurtenis plaatsvindt is 0.33; de kans dat er twee gebeurtenissen plaatsvinden is 0.10, enz.

door aparte instrumenten. Zo krijgen we een raamwerk van 28 bij 7 cellen, waarin een of meer gebeurtenissen plaatsvinden. Een gebeurtenis is bijvoorbeeld het verschijnen van een pizzicatowolk, of een groep tonen uit een blazerssectie.

Voor het aantal gebeurtenissen in een cel gebruikt Xenakis de Poissonverdeling. Dit is een natuurlijke verdeling voor de kans, gege-

ven een tijdsinterval, dat een bepaalde gebeurtenis 0, 1, 2, 3, ... keer voorkomt. De voorwaarden voor de toepasbaarheid van de Poissonverdeling zijn ruim. Vele natuurverschijnselen, zoals het aantal aardbevingen op aarde in een jaar, of het aantal gasmoleculen in een gedeelte van de ruimte zijn Poisson verdeeld. (Voor tientallen andere uiteenlopende voorbeelden, zie [4].) In dit opzicht is het eigenlijk ook beter te zeggen dat Xenakis geïnspireerd was door natuurfenomenen in het algemeen, dan door gasmechanica.

Wat gebeurt er in één cel?

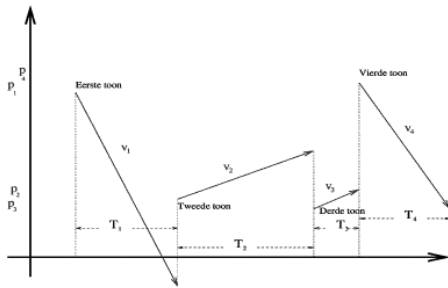
In Achorripsis zijn $196 = 28 \times 7$ cellen. Xenakis verdeelt over deze cellen de aantallen gebeurtenissen precies volgens de verhoudingen van de Poissonverdeling met verwachting 0.6. Dit komt neer op 107 cellen zonder gebeurtenis, 65 cellen met 1 gebeurtenis, 19 cellen met 2 gebeurtenissen, 4 cellen met 3 gebeurtenissen en 1 cel met 4 gebeurtenis-

sen. Het is opmerkelijk dat hij de aantallen zo precies verdeelt. Hij had het ook de uitkomst van een toevalsproces kunnen laten zijn. In dat geval was je met ongeveer deze aantallen uitgekomen. Ook eist hij dat de sommen van de rijen en de sommen van de kolommen weer een Poissonverdeling hebben. Bij de uitkomst van een toevalsproces was je daar automatisch op uitgekomen, maar als je zelf de cellen volgens bovenstaande verhouding zou invullen is dit niet a priori het geval.

Dan definieert hij de globale dichtheid: hij wil gemiddeld 2.25 geluiden per seconde per gebeurtenis horen. Dus als er in een cel drie gebeurtenissen plaats moeten vinden, hoor je 6.75 geluiden per seconde.

Interessant zijn de glissandi. Deze zijn ontwikkeld naar analogie van gasdynamica. Ze hangen af van heel wat parameters: toonhoogte, toonduur en lengte van de glissandi. Laten we, net als Xenakis in [1], de cel met coördinaten (III, $i\zeta$) van dichtbij bekijken. Volgens de matrix in figuur 5 vindt er

De maten 104 tot en met 111 uit Achorripsis



Figuur 5 De snelheid v , de tijdsintervallen tussen de tonen T en de toonhoogte bepalen de curve van de glissandi volledig. De drie parameters zijn alle onderling onafhankelijk gekozen.

één gebeurtenis plaats in deze cel, en deze cel moet volgens het schema strijkersglissandi bevatten. Het gehele stuk heeft 182 maten, dus 6,5 maten per cel. Het ritme van het stuk is twee-tweede met metronoomcijfer 52 per halve noot (dus 52 halve noten in een minuut). Gemiddeld komt dit neer op 4,5 geluiden per maat, of 29,5 geluiden voor een cel.

Een glissando is in essentie geheel bepaald door het tijdstip waarop hij begint, de snelheid waarmee de toonhoogte stijgt of daalt, de duur van de glissando en de toonhoogte waarop de glissando begint. We zullen de verdelingen die Xenakis gebruikt kort bespreken.

Het moment waarop een glissando begint, bepaalt hij door een exponentiële verdeling. Dit is een verdeling die vaak gebruikt wordt voor het modelleren van de tijdsduur tussen gebeurtenissen waarvan de gemiddelde tijdsduur tussen de gebeurtenissen constant is. Typische voorbeelden zijn de tijdsduur tussen twee ongelukken of de tijdsduur dat een radioactief deeltje vervalt. De waarden die Xenakis gebruikt voor de tijdsduren zijn weer niet het resultaat van een random trekking; hij berekent precies: gegeven 29 tijdsduren, hoeveel tijdsduren zullen afgerond gelijk aan o zijn, hoeveel gelijk aan 0.10 , hoeveel gelijk aan 0.2 , enzovoort, bij exponentiële verdeling van de tijdsduren.

De toonhoogte modelleert Xenakis kwadratisch. Dit is de enige ongewone verdeling in het stuk: het komt erop neer dat er meer lage dan hoge tonen in het stuk voorkomen. De snelheid van de glissandi kiest hij normaal verdeeld, met gemiddelde o en een variantie die klein genoeg is om bijna nooit buiten het bereik van de instrumenten terecht te komen. De normale verdeling is voor positieve en negatieve getallen gedefinieerd: een positieve uitkomst bij een trekking resulteert in een glissando omhoog en een negatief resultaat in een glissando omlaag. In de natuur is dit eigenlijk de meest fundamentele verdeling: bijvoorbeeld de snelheid van een gasdeeltjes in een volume is normaal verdeeld. De normale verdeling heeft de eigenschap dat er in een steekproef weinig extreme waarden voorkomen. Dit is weerspiegeld in de grafiek van de verdeling: de staarten zijn erg dun.

Net als bij de snelheid van gasmoleculen de temperatuur de variantie bepaalt, maakte Xenakis de variantie van de verdeling evenredig aan de dichtheid van de geluiden. Dus als er veel geluiden zijn in een cel is de variantie hoog: er zijn veel snelle glissandi omhoog en omlaag. Nu ligt de inhoud van de cel, op sterkte na, geheel vast.

We vinden cel (III, $\iota\zeta$) terug in kolom $\iota\zeta$: dit betreft de maten 104 tot en met 111. We tellen inderdaad 29 glissandi, verdeeld over de vioolpartijen 1 en 3, celli 1 en 2, en contrabassen 1 en 2. Merk ook op, dat er nog twee andere cellen in de kolom $\iota\zeta$ staan die een gebeurtenis bevatten: in rij 1 een dubbele gebeurtenis voor de houtblazers en een enkele gebeurtenis voor de pizzicatogroep. Dit vinden we ook terug in de partituur.

Materie

De tonen van Herma en van Achorripsis zijn waarschijnlijk het resultaat van een trekking van een stochastisch proces. De plaats van de muzikale gebeurtenissen niet: deze heeft

Xenakis zelf gekozen en zijn dus deterministisch bepaald, geheel volgens ratio's afkomstig van de distributies. In die zin had Xenakis nog verder kunnen gaan. Wat is de zin voor de musici om al deze schijnbaar willekeurig bepaalde noten te spelen? Zowel het pianowerk als het stuk voor orkest zijn zeer moeilijk en duren bovendien maar kort. Het fascinerende aan deze muziek ligt waarschijnlijk juist in het onmenselijke aspect. Bij elke menselijke inmenging in het compositieproces, bij elke toon die je niet uitrekt, ligt menselijke interpretatie, gevoel en sentimentaliteit op de loer en wordt de textuur vervuild. Net als bij de beeldend kunstenaar Kounellis, die beelden maakt van delfstoffen zoals steenkool, van koperbuizen, staalplaten en van vlammen uit gasbranders, speelt de materie zelf de hoofdrol. De musici staan op gelijksoortige wijze in direct contact met materie, in feite zonder tussenkomst van een componist.

Abstracte muziek

Men kan in muziek, net als in beeldende kunst, een onderscheid maken tussen figuratief en abstract. Oppervlakkig gezien heeft alle muziek, en zeker instrumentale, een abstract karakter. Het is interessant om muziek waarbij de tonen, melodieën, en wat globaler muzikale gebeurtenissen geheel door de componist zelf gestalte hebben gekregen, als figuratief te beschouwen, en muziek waar de textuur het belangrijkste is, bijvoorbeeld als resultaat van het abstraheren van een fysisch proces of als resultaat van een toevalsexperiment, als abstract. Ook al bestaat zo'n indeling alleen maar in grote lijnen; ze leidt wel tot de vraag hoe abstract Herma en Achorripsis eigenlijk zijn. Kan het nog abstracter? Hoe klinkt Herma als het compositieproces precies hetzelfde wordt gelaten, maar de berekening van de toonwolken niet? Lijken de verschillende Herma's dan nog op elkaar? ξ

Referenties

- 1 Xenakis, *Formalised Music*, 1992, Pendragon Press.
- 2 www.societymusictheory.org/mto/issues/mto.01.7.3/mto.01.7.3.wannamaker.frames.
- 3 James Harley, *Xenakis His Life in Music*, 2004, Routledge.
- 4 en.wikipedia.org/wiki/Poisson_distribution
- 5 www.math.leidenuniv.nl/~drpik/mm/test