



STRUKTURE NEVIDLJIVOG / STRUCTURES DE L'INVISIBLE  
umjetnost-znanost / art - science

Galerija Klovićevi dvori, 16.04. – 15. 06. 2014.  
Fondation Vasarely Aix-en-Provence, 22. 10. 2014. – 04. 01. 2015.

Organizacija izložbe / Organisation de l'exposition:  
Galerija Klovićevi dvori, Zagreb  
Fondation Vasarely Aix-en-Provence

Autorica izložbe / Commissaire d'exposition:  
Martina Kramer

Kustosice / Conservatrices de musée:  
Koraljka Jurčec Kos  
Marina Viculin

Umjetnici / Artistes:  
Marine Antony, Elias Crespín, Ivana Franke, Pierre Gallais, Tommi Grönlund  
& Petteri Nissunen, Martina Kramer, Isabelle Sordage, Mirjana Vodopija

Znanstvenici / Scientifiques:  
Danko Bosanac, Etienne Ghys, Davor Horvatić, Jean-Marc Lévy-Leblond

Tehnička realizacija u Galeriji Klovićevi dvori / Realisation technique à la Galerija Klovićevi dvori:  
Dragutin Matas  
Tomislav Antolić, Davor Markotić, Vinko Soldan, Tomica Šetek

rasvjeta / éclairage:  
Damir Babić

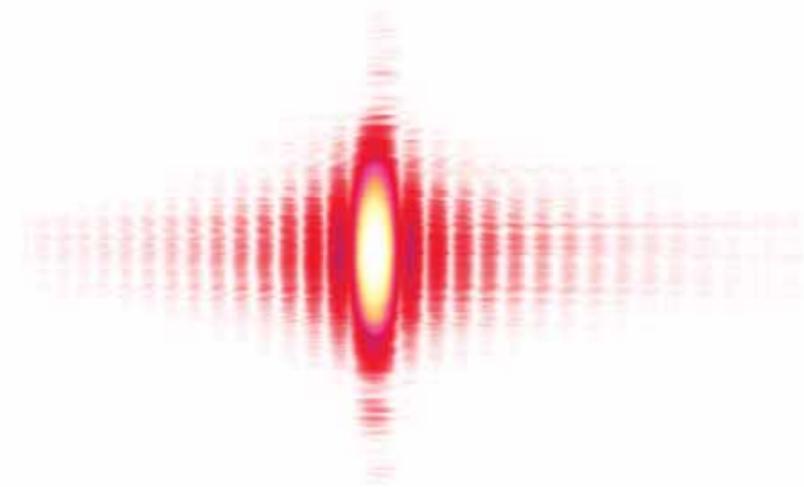
Partneri u Zagrebu / Partenaires à Zagreb:  
Markita Franulić, Tehnički muzej  
Mirjana Vodopija, Akademija likovnih umjetnosti  
Marin Roje, Institut Ruđer Bošković

Partneri u Aix-en-Provenceu / Partenaires à Aix-en-Provence:  
Raphaël Sage, Mathieu Vabre, Association Seconde nature  
Jean-Paul Ponthot, Ecole d'Art d'Aix-en-Provence

Izložba u Zagrebu je ostvarena uz financijsku potporu Galerije Klovićevi dvori,  
Francuskog instituta (Institut Français), Ministarstva kulture RH, Finskog veleposlanstva  
u Zagrebu i Galerije L'Ollave.

L'exposition à Aix-en-Provence est réalisée avec l'aide de la Ville d'Aix, de la Région PACA,  
du Conseil Général et avec le soutien de sponsors.

# STRUKTURE NEVIDLJIVOG STRUCTURES DE L'INVISIBLE



## STRUKTURE NEVIDLJIVOG

*Fizička stvarnost nije ništa drugo nego preklapanje imaginarnih mogućnosti.*  
Alain Connes, matematičar

Granice znanja i granice jezika, a tako i nevidljiva pozadina stvari i događaja, oduvijek su predstavljali izazov za umjetnost i znanost.

Umjetnici i znanstvenici pokušavaju zahvatiti zbilju, odnosno principe koji njome upravljaju. Oni ponekad ulaze naslijepo u misterij fenomena i oblića, naoružani svojim crtežima, jednadžbama i hipotezama. Prostor misli širi se istodobno prema mogućem, vjerojatnom, poznatom i prema nestvarnom, čudnom, neviđenom, prije negoli se zamisli i intuicije ostvare u obliku crteža, prostora, forme, modela.

Preispitujući unutarnje strukture svjetla, zvuka ili tvari, a time i status tijela unutar fizičkih fenomena, umjetnik projicira svoje predodžbe ili imaginarne strukture u prostor, koji je time preobražen.

Poveznice između tih formi i znanstvenih koncepata postoje, ali nisu eksplicitne. Specifičnost umjetničkog pristupa je upravo u nadilaženju bilo kojeg prethodnog modela, u oblikovanju još neviđenog i jedinstvenog ili u materijalizaciji pojedinih odnosa koji su dotad postojali samo u sferi ideja.

Slike i koncepcije znanosti nadahnjuju, oplođuju pojedina umjetnička istraživanja. Pred enigmama stvarnosti svijest je otvorena znatiželji; ne teži razvrstavanju u specijalnosti, već sintezi i ujedinjenju ljudskih spoznaja. Najplodniji je eksperimentalan, poetičan pristup, pri kojemu umjetnost i znanost otvaraju jedna drugoj nove kutove poimanja, zamišljanja i iskustva, stvarajući slobodan stvaralački prostor, koji nije uvjetovan podudaranjem sa znanstvenom istinom niti s logikom pojedine discipline.

Promatrač će biti uveden u drugačiju materijalnost, koja će u njemu potaknuti nekoliko razina i mogućnosti opažanja. Radovi kojima je i sama zračnost prostora sastavni dio, pobuđuju ujedno osjetilnu znatiželju i pitanja o enigmatičnom sastavu fizičkoga tkanja u kojem se krećemo.

Projekt "Strukture nevidljivog" zamišljen je kao kristalizacija ovih istraživanja kroz razgovore između umjetnika i znanstvenika. Budući da su radovi većinom temeljeni na pitanjima prostora, fizikalnih zakona i percepcije, razgovori sa znanstvenicima usmjereni su uglavnom prema područjima matematike i fizike, uz poneke upite prema neuroznanosti.

Matematika donosi niz modela o prostoru i univerzalnim unutarnjim odnosima. Neeuklidska geometrija donijela je nove izazove poimanju i razmatranju prostornih struktura, dok konstrukcija viših dimenzija od onih iz osjetilnog iskustva otvara grananje mogućnosti prostora prema beskonačnosti.

Kvantna fizika unijela je u poimanje materijalnog svijeta radikalne promjene. Mnogi su klasični koncepti osnovnih svojstava tvari doslovce preobrnuti. I što je poznavanje srži atoma ili tvari svemira dublje, to je neizvjesnost veća, a nepoznate zone sve masivnije.

Tako praznina nije prazna, već puna mogućnosti. Bivše ništa sada je nabijeno energijom i klicama svega postojećeg.

Razgovori između umjetnika i znanstvenika proučavaju teorijske i empirijske figure ovih područja. Susreti i razmjene nastavit će se kroz čitavu godinu, a sljedeća etapa bit će u znaku pogleda znanstvenika na radove umjetnika, te uzajamnog preispitivanja pojedinih aspekata koji se u likovnim ostvarenjima očituju.

Stoga je ovaj katalog više uvod nego zaključak. Izabrani ulomci razgovora ovdje su predstavljeni kao primjer razmjena u tijeku.

Ne radi se o opravdavanju ni ilustriranju znanosti umjetnošću, niti obratno, već o postavljanju jednog i drugog načina razmišljanja i vizualnog koncipiranja u zrcalni odnos.

Projekt je ostvaren zahvaljujući partnerstvu između Galerije Klovićevi dvori u Zagrebu i Fondacije Vasarely u Aix-en-Provenceu. Poveznica između ovih umjetničkih sredina postoji u povijesti konstruktivističke, kinetičke i optičke umjetnosti oko koje se već šezdesetih godina uspostavio most između Hrvatske i Francuske. Osnivač Fondacije, umjetnik Victor Vasarely boravio je i sâm više puta u Zagrebu, gdje bi ga dočekali Ivan Picelj i drugi umjetnici Novih tendencija. Jedno poglavlje ovog kataloga pružit će nekoliko uporišta toj povijesnoj perspektivi.

Suvremena umjetnička istraživanja predstavljena u ovom projektu razlikuju se od ondanjih po svojem likovnom i ideološkom identitetu (danas više ne postoje svjetski umjetnički pokreti koji kroz eksploraciju novih vizualnih i znanstvenih mogućnosti gaje ideju o razvoju čovjekove svijesti i uzdizanju društva). No bitna veza koja se može uspostaviti s našim prethodnicima jest sama tematika: eksperimentiranje i ostvarivanje vizualnih struktura koje svoj uzor ne nalaze u vanjskim modelima već ga slobodno konstruiraju na osnovi iskustva ljudske percepcije, koja je sjedište svake spoznaje, i znanstvenih sustava unutarnjih zakona što nevidljivo upravljaju pojavnim svijetom.

Martina Kramer

## STRUCTURES DE L'INVISIBLE

*Le réel physique n'est rien d'autre que la superposition des possibles imaginaires.*  
Alain Connes, mathématicien

Les limites du savoir comme les limites de la langue, ou encore le fond invisible des choses et des événements, ont toujours représenté un défi pour l'art et la science.

Les artistes et les scientifiques cherchent à saisir le réel, et les principes intérieurs qui le régissent. Ils entrent quelquefois dans le mystère des phénomènes et des formes à l'aveuglette, armés de leurs dessins, de leurs équations et de leurs hypothèses. Le cheminement mental s'ouvre à la fois vers le possible, le probable, le connu et vers l'irréel, l'étrange et le jamais vu, avant que les pensées et les intuitions se réalisent sous forme d'un dessin, d'un espace, d'un modèle.

L'artiste s'interroge sur les structures intérieures de la lumière, du son, de la matière et du statut du corps au sein des phénomènes physiques, puis projette ses représentations, ses structures imaginaires dans l'espace, qui s'en trouve transformé.

Les relations entre ces formes et les concepts scientifiques existent, sans être explicites. La spécificité de l'approche artistique est justement dans le dépassement de tout modèle antérieur, dans la tentative de former un espace plastique unique et inédit, sinon dans la matérialisation des figures qui n'existaient jusqu'alors que dans le monde des idées.

Les images et les concepts de la science inspirent et fécondent certaines recherches artistiques. Devant les énigmes de la réalité, la conscience est curieuse; elle ne tend pas à séparer les savoirs en spécialités, mais plutôt à les relier et à penser la connaissance comme trésor commun de notre espèce. Les approches expérimentales ou poétiques sont celles où la science et l'art s'ouvrent mutuellement de nouveaux angles de vision, d'imaginaire et d'expérience, et cet espace de création reste libre, sans la contrainte de coïncider avec la vérité scientifique ni avec la logique de chaque discipline.

Le spectateur sera introduit dans une matérialité autre, qui sollicitera différents ressorts de sa perception. Les œuvres dont l'air même de l'espace fait partie, provoqueront à la fois une curiosité sensuelle et des questionnements sur la composition du tissage physique dans lequel nous tous, nous nous mouvons.

Le projet Structures de l'invisible est conçu comme une cristallisation de ces questionnements à travers des dialogues entre les artistes et les scientifiques. Puisque les œuvres sont ici fondées sur les sujets de l'espace, des lois physiques et de la perception, les dialogues sont orientés plus particulièrement vers les terrains des mathématiques et de la physique, avec quelques appels au domaine des neurosciences.

Les mathématiques apportent de nombreux modèles d'espace et de relations intérieures universelles.

La géométrie non euclidienne a posé de nouveaux défis à la compréhension et à l'étude des structures d'espace, tandis que la construction mathématique des dimensions supérieures à celles de l'expérience sensible, ouvre les ramifications des possibilités d'un espace vers l'infini.

De son côté, la physique quantique a introduit des changements radicaux dans la compréhension du monde matériel. Les concepts classiques des propriétés principales de la matière ont été bouleversés. Et plus la connaissance sur l'intérieur de l'atome ou de la matière de l'univers s'approfondit, plus l'incertitude est grande, et les zones inconnues plus massives. Ainsi le vide n'est pas vide, mais plein de possibles. L'ancien rien est maintenant chargé de l'énergie et des germes de tout ce qui potentiellement existe.

Les conversations entre les scientifiques et les artistes s'intéressent aux figures théoriques et empiriques de ces domaines. Ces rencontres et ces échanges sont appelés à se poursuivre tout au long de l'année, et l'étape suivante permettra le regard des scientifiques sur les travaux désormais réalisés par les artistes, ainsi que l'interrogation réciproque sur des sujets abordés en conclusion.

C'est pourquoi ce catalogue se présente comme une introduction plus que comme un accomplissement. Il présente quelques fragments choisis des conversations en cours. Il ne s'agit pas de justifier ni d'illustrer la science par l'art ou l'inverse, mais de mettre face à face deux manières de penser et de visualiser, pour mieux méditer le reflet de l'une dans l'autre.

Le projet est réalisé grâce au partenariat de la Galerie Klovićevi dvori à Zagreb et de la Fondation Vasarely à Aix-en-Provence. Entre ces deux lieux, où plutôt, entre ces deux milieux artistiques il existe un lien dans l'histoire de l'art et ses courants constructiviste, cinétique et optique. Grâce aux expérimentations et aux événements communs, un pont a déjà été établi entre la Croatie et la France il y a plus de cinquante ans. Victor Vasarely a séjourné à plusieurs reprises à Zagreb, où il a été accueilli par Ivan Picelj et les autres artistes du mouvement Nouvelles Tendances. Un chapitre de ce catalogue donne quelques repères à cette perspective historique.

Les recherches artistiques présentées dans ce projet se distinguent des recherches de cette époque par leurs aspects plastique et idéologique (il n'existe plus aujourd'hui de mouvements artistiques mondiaux qui, au travers d'une expérimentation de nouvelles possibilités visuelles et scientifiques, cultivent l'idée de l'élévation de la conscience humaine et d'un progrès de la société).

Mais un lien essentiel avec nos prédécesseurs se trouve dans la thématique même de ces démarches : l'expérimentation et la réalisation des structures visuelles qui ne trouvent pas leur modèle dans le monde extérieur, mais le construisent à partir de la perception humaine qui est le siège de toute connaissance et d'une transposition des systèmes scientifiques décrivant les relations intérieures qui dirigent invisiblement le monde des apparences.

Martina Kramer

## NOVE PERSPEKTIVE

Izuzetna izložba *Strukture nevidljivog* na pravome je mjestu u Galeriji Klovićevi dvori, kao i u Fondaciji Vasarely, koje su je zajedničkim entuzijazmom podržale.

Arhitektonski centar u Aix-en-Provenceu, kojeg je 1976. utemeljio Victor Vasarely, od samoga je početka usmjeren prema novima vizualnim istraživanjima vezanima uz znanost i tehnologiju, kako svoga vremena, tako i budućnosti.

Nit vodilja u radu naše institucije jest predanost ideji i nastojanje da se održi taj duh izgradnje i stvaranja još neviđenih djela proizašlih iz inovativnih eksperimentiranja. U skladu s time surađujemo s istraživačkim grupama na području novih tehnologija te podržavamo projekte u kojima se susreću znanost i umjetnost.

Tim duhom prožeta je i izložba *Strukture nevidljivog* koja ujedno daje novi zamah međunarodnom provođenju umjetničke suradnje te otvara lijepu perspektivu budućim bogatim razmjenama.

Umjetnici koji sudjeluju u ovoj izložbi različitih su profila i usmjerenja, no ovdje su ujedinjeni vrlo preciznom vezom zahvaljujući Martini Kramer, kustosici izložbe.

Za razliku od virtualne i digitalne slike, ovdje je svako djelo utjelovljeno u fizičkoj egzistenciji trodimenzionalnim radovima koji djeluju unutar stvarnoga prostora mijenjajući ga. Ova izložba također postavlja znanstvena, optička, matematička i fizička pitanja.

Iznad svega, raduje me što će ova izložba pridonijeti daljnjim plodnim i inteligentnim razmjenama između naše dvije zemlje. U tom svjetlu, predložio sam *Strukture nevidljivog* našim mađarskim partnerima iz Pečuha i Budimpešte za 2015. godinu, a želja mi je predstaviti izložbu i u Finskoj.

Zahvaljujem svim našim partnerima u Hrvatskoj, kao i Francuskom institutu u Zagrebu, Regiji Provansa-Alpe-Azurna obala i Gradu Aix-en-Provence koji su poduprli ovaj projekt.

Pierre Vasarely  
Predsjednik Fondacije Vasarely



Fondacija Vasarely - stalni postav / Fondation Vasarely - exposition permanente

## NOUVELLES PERSPECTIVES

La très remarquable exposition les Structures de l'invisible trouve toute sa place à la Galerie Klovickévi Dvori comme à la Fondation Vasarely, qui l'ont portée ensemble avec enthousiasme.

Fondé en 1976 par Victor Vasarely, le Centre architectonique d'Aix-en-Provence est depuis l'origine orienté vers les recherches visuelles nouvelles en relation avec les sciences et les technologies de son temps comme d'avenir.

C'est l'engagement d'entretenir cet esprit de construction et de création d'œuvres inédites, issues d'expérimentations innovantes, qui constitue le fil conducteur de notre Institution. Celle-ci collabore ainsi avec des groupes de recherche dans le domaine des nouvelles technologies et favorise les projets de rencontres avec la science.

C'est tout l'esprit de l'exposition Structures de l'invisible, qui donne un nouvel élan à une pratique internationale de collaboration artistique et qui ouvre une belle perspective aux très riches échanges à venir.

Les plasticiens participant à cette exposition viennent d'horizons et de contextes très différents mais un lien concret les unit grâce à Martina Kramer, commissaire de l'exposition.

A la différence de l'image virtuelle et numérique, chaque œuvre s'enracine ici dans une existence physique qui agit dans et sur l'espace réel avec des travaux tridimensionnels.

Cette exposition pose aussi des questionnements scientifiques, optiques, mathématiques et physiques.

Je me réjouis que cette exposition contribue encore aux échanges fructueux et intelligents entre nos deux pays. Dans cette optique, j'ai proposé les Structures de l'invisible à nos partenaires historiques hongrois de Pécs et de Budapest pour 2015 tout en souhaitant également la présenter en Finlande.

Je remercie l'ensemble de nos partenaires croates ainsi que l'Institut français, la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et la Ville d'Aix-en-Provence qui ont soutenu ce projet.

Pierre Vasarely  
Président de la Fondation Vasarely

## NEKE NOVE LETJELICE

Marina Viculin

*Strukture nevidljivog* zahvaćaju u segment umjetnosti koja se bavi percepcijom i spoznajom. Okupljaju umjetnike koji upliću znanstvena propitivanja u svoje konstrukcije. Nakon dijaloga koji je uspostavljen između jednih i drugih, s velikom znatiželjom očekujemo osvrte znanstvenika na umjetničke radove koji se bave njihovim temama.

Koliko i kako umjetnost može vizualizirati otkrića znanosti bilo je pitanje kojim su se još šezdesetih godina bavili sudionici pokreta Novih tendencija. Današnje *Strukture nevidljivog* obavezuju nas svojom temom i oblikom da se prisjetimo toga vremena. Umjetnici Novih tendencija, koji su sebe nazivali istraživačima, otvorili su većinu danas značajnih tema u umjetnosti. Stoga ću ovdje i sada pokušati sažeti osnovnu informaciju o tome što se dogodilo, što je karakteriziralo taj kompleksni pokret i zašto sam ja njime zadivljena. Ista vrsta fascinacije prenosi se i na radove koji čine izložbu *Strukture nevidljivog*!

Posebno nas raduje da je Fondacija Vasarely iz Aix-en-Provencea naš partner u *Strukturama nevidljivog*. Viktora Vasarelyja smatrali su članovi Novih tendencija jednim od svojih duhovnih očeva, njegov sin Yvaral bio je član francuske grupe GRAV (Groupe de recherche d'art visuel) koja čini onu postojanu jezgru pokreta NT. Kao da se povijest ponavlja, kao da se silnice srodnih pogleda opet sastaju u istoj žiži!

Pišući o Novim tendencijama često sam se pitala što inicira događaje. Je li moguće da se događanja poput Novih tendencija zbivaju slučajno? Što potiče silnice svijeta? Koliko je umjetničkog događanja izazvano socijalnom interakcijom, a koliko stanjem svijesti manje ili veće zajednice? Proizvode li snažne pokrete i velika otkrića pojedinci ili neko saznanje koje poput vulkana probije napetu opnu naučenog promatranja svijeta u kojem postojimo?



Izložba NT1, Galerija suvremene umjetnosti, Zagreb, 1961, lijevo Anreas Christen, u dnu Julije Knifer (*Meandar*)

L'exposition NT1, Galerija suvremene umjetnosti, Zagreb 1961, sur la paroi de gauche Andreas Christen au fond Julije Knifer (*Meandar*)

U priču nas uvode glavni likovi NT 1 - prvog čina, prve izložbe održane u Zagrebu - Bek, Mavignier, Meštrović. Godina je 1961. u socijalističkoj Jugoslaviji, mjesto događanja je Zagreb - mali živi srednjoeuropski grad. Matko Meštrović ima dvadeset i osam, Božo Bek, direktor zagrebačke Galerije suvremene umjetnosti trideset i pet, a Brazilac, slikar Almir Mavignier ima trideset i šest godina. Trojica mladih muškaraca, dva Hrvata, povjesničara umjetnosti, ljevičara i jedan slikar, tamnopusi Južnoamerikanac lijepih crta lica koji je svojoj južnjačkoj toplini dodao preciznost i čistoću na ulmskoj HfG odnjegovanih misli. Trojica su zavrtila čudesnu zvrčku koja će - i kada oni jedan po jedan odustanu - pomalo gubiti ritam i snagu, ali neće potpuno stati sve do 1973. godine.

U Zagrebu se tijekom sljedećeg desetljeća uobličio, razvijao i mijenjao internacionalni pokret Novih tendencija čije su se izložbe događale 1961., 1963., 1965., 1969., 1973. godine. Svako je izložbeno izdanje Novih tendencija donosilo najavu pravca koji će svoje značenje i snagu pokazati tek u vremenima koja slijede. U pokretu NT je na pet izložbi održanih u Zagrebu, sudjelovalo više od dvije stotine umjetnika.

Tada, početkom šezdesetih, dogodio se pokret koji nazivamo posljednjom avangardom, pokret koji je posljednji vjerovao da može ozbiljno i snažno utjecati na ljudsku zajednicu i na

senzibilne pojedince. Drugačija čitanja svijeta, njegovih izvora i posljedica shvatit ćemo u potpunosti tek tijekom sljedećih desetljeća kad se iz tada zasađenog sjemena razvijaju novi umjetnički pravci poput digitalne umjetnosti.

Nove tendencije su *bricolagom* oblikovnih elementa i već rabljenih značenja stvorile sasvim novu kognitivnu cjelinu. Poput Wilburna i Orwilla Wrighta izgradile su nešto što je poletjelo od dijelova stvari koje nisu letjele, od stvari kojima nije bilo ni na kraj pameti da bi se letjeti uopće moglo.

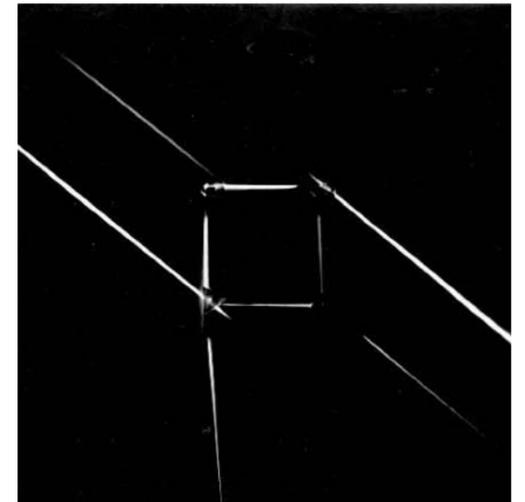
Druga misao koja dobro opisuje Nove tendencije su eksplozivne naprave kućne izrade: male i nespretne, ali mudre i opasne. One ne izgledaju, ali djeluju. Djeluju subverzivno. Ne djeluju snagom već pozicijom u sustavu. Malim eksplozijama izazivaju u svijesti sitne pukotine koje se šire brzo kao mreža fatalnih napuknuća u sustavu percepcije i misli.

Ako se umjetnost najopćenitije može shvatiti kao jedan od načina razumijevanja svijeta, NT se nalazi među pionirima novog poimanja. Ni jedna od specifičnosti njihovog umjetničkog djelovanja, kao kinetički radovi, korištenje svjetlosti kao materijala, radovi za manipulaciju i interaktivni radovi, trodimenzionalni radovi u koje se ulazi, otvoreno djelo, grupni rad, otpor sustavu galerija, pokušaj samoorganiziranja u umjetnički pokret itd. nije originalna, ali je u sklopu Novih tendencija pokrenula lavinu drugačijeg mišljenja. Velika moć ove umjetnosti je da preusmjerava pažnju i tako nas malim pomacima uči drugačije percipirati.

NT se bori za redefiniciju pojma umjetnosti i preoblikovanje predodžbe o tome kako može izgledati umjetnički rad. Odgovara na pitanje o tome kako zabilježiti multisenzorna iskustva, doživljaje, saznanja. Nove tendencije redefinišu i preoblikuju umjetnički rad kako bi mogao korespondirati višesjetilnom iskustvu, proprioceptivnom saznanju suvremenog vremena. Već postojeća iskustva luminokinetičkih objekata, interaktivnih, ambijentalnih radova, NT aplicira u novi sustav multisenzornog, protočnog (fluktuirajućeg) otvorenog saznanja. Poznate elemente i otkrića svojih prethodnika poput Tatlina, Moholy Nagya, Duchampa, Albersa, Strzeminskog, Caldera, Mondriana, Vasarelyja, Tingelyja aplicira, testira, difuzionira postavljajući odnose umjetnosti i tehnologije koji vode otvorenoj i neograničenoj virtualnosti dvadeset i prvog stoljeća.

Često se konstruktivni karakter ovih radova miješa s njihovim pojavnim oblikom. Geometrijske su forme odabrane samo zato jer se oko njih, kako to kaže Jöel Stein, ipak najlakše možemo dogovoriti. Poznati pravilni likovi sužavaju polje različitih interpretacija pa se pažnja usmjerava na odnose, na mogućnost mutacije, varijacije i na apstraktni sadržaj koji te mijene nose. Koncept se pokazuje kroz mijenu, mijena iziskuje vrijeme, a doživljaj vremena ovisan je o promatraču u čijem se oku tek može ostvariti. Stvarni sadržaj, koncept ovih radova pokazuje se tek u vremenu pa zato on čini vidljivim i shvatljivim entitet prostor-vrijeme.

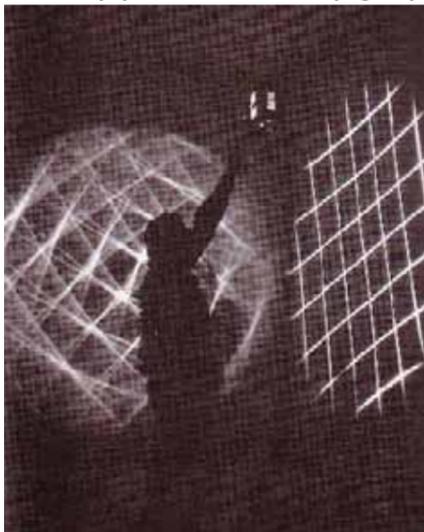
Sasvim doslovno, bez simbola i prenesenih značenja, radovi NT-a ocrtavaju prisutnost i osobine entiteta prostor-vrijeme. Ovisnost o promatraču kao i upotreba svjetlosti kao gradivnog elementa dio su iste priče. Opet se moramo sjetiti da su radovi NT-a pionirski radovi koji se ponekad zadovoljavaju višestrukim osvještavanjem prisutnosti promatrača u svim fazama kreiranja značenja i oblika umjetničkog "artefakta". Bez promatrača rad ne postoji! Način na koji se prostor i vrijeme razdjeljuju ovisan je o promatraču.



Grupa N (Biasi), kinetičko-spektralna slika, NT2, 1963.  
Groupe N (Biasi), tableau cinétique-spectral, NT2, 1963

U sljedećem koraku interaktivnost je osnažena fizičkim sudjelovanjem promatrača od kojeg se traži neposredna akcija u oblikovanju samog rada. Dakle, to su radovi koji se realiziraju tek participacijom drugoga, nekoga tko nije rad stvorio. U početku je to ruka koja manipulira. Koncept takvog rada u svojoj jezgri, u svome konceptu nosi faktor ovisnosti o drugome i dok se taj faktor ne unese u sam rad, on je nepoznatljiv. Ponekad je akcija-manipulacija minimalna i zapravo mi možemo pretpostaviti što je sam rad bez da ga stvarno pokrećemo ili mijenjamo rukom, no postavljeni zahtjev aktivnog odnosa navodi promatrača-manipulatora da spozna vlastitu poziciju, da spozna kako je narav onoga što percipira kao događaj ovisna o njegovoj poziciji u sustavu.

Upotreba svjetlosti kao gradivnog materijala umjetničkog rada naglašava ovisnost o promatraču koji jedini unutar svojeg svjetlosnog stošca može realizirati rad po konceptu koji je postavio umjetnik. Svjetlosni stožac kao povijest jednog bljeska svjetlosti je shematizirani prikaz svjetlosnog događaja u prostor-vremenu gdje je prostoru oduzeta jedna dimenzija te je u koordinatni sustav sheme unesena dimenzija vremena. Svjetlosni stožac je konceptualni prostor unutar kojega događaji mogu jedni na druge utjecati jer se ništa ne kreće brže od svjetlosti koja definira njegove obrise. Zato događaj svjetlosti kliže po toj granici, a sva ostala sporija pomicanja nalaze se unutar stošca.



Gianni Colombo, *Post-strukture*, 1964/67  
Gianni Colombo, *Post-Structures*, 1964/67

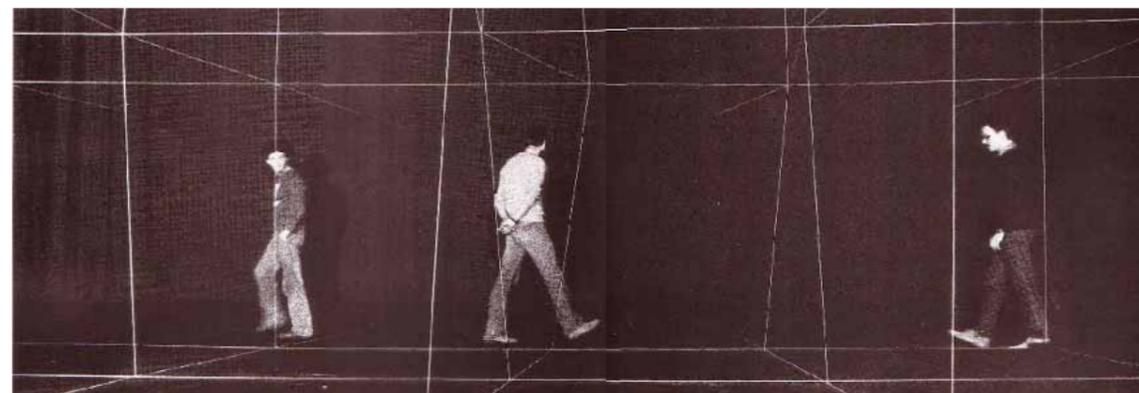
Umjetnost precizno bilježi suvremeni koncept vremena. Luminokinetički radovi poput Morelletovih pokazuju nam svoje virtualne dublere jer su oko i prostor-vrijeme aktivnog recipijenta postali jedini medij "oblikovnog principa" umjetnika-istraživača. Rad koji Morellet izlaže na NT 3 jednostavna je ortogonalna mreža od 16 polja iscrtanih neonskim cijevima učvršćenim na dasci 80 x 80 cm. Vidimo ga na fotografiji kao mrežu na kojoj je tek nekoliko lampi upaljeno. No to, snimljeno, uopće nije rad, to je dubler. U

stvarnoj situaciji dubler postaje ekran na kojem će se rad tek dogoditi. Rad je neočekivano velik i nepredvidljiv. On broji na stotine tisuća različitih slika uobličjenih nasumičnim paljenjem neona smještenih u našem svjetlosnom stošcu čiji je vrh trenutak kada se dogodio prvi bljesak, kada su upaljeni neoni.

Sljedeći korak po istoj istraživačkoj liniji Novih tendencija je oduzimanje primata oku. Ako su rani radovi NT-a koristili najčešće geometrijske oblike i čiste forme te njihove suodnose kao primarni jezik, "kudirana poruka" radova koji imaju oblik ambijenta kao svoj primarni jezik uzima specifičnosti ljudske percepcije koja se ne bazira samo na pet eksternih osjetila. Ambijenti pokušavaju učiniti primjetljivim cijeli raspon percepcije eksterioceptivnih, proprioceptivnih i interoceptivnih osjetilnosti. Tako stižemo do Colombovih Topoesthesia i Baresthesia. Recipijent je i duhom i tijelom uronjen u ambijent koji mu "kudiranu poruku" prenosi na nivou tijela. Ta poruka često glasi: "ne vjeruj oku". Colombova Baresthesia pokazuje da ćemo, ako budemo prisiljeni strahom od gubitka ravnoteže, prednost dati proprioceptivnim osjetilnim informacijama koje su možda primordijalne u odnosu na vizualno. Ali proprioceptivni sustav drugačije korespondira s intelektualnim i sljedeće je pitanje koliko i kako primat vizualne informacije određuje naš svjetonazor, našu emocionalnu i intelektualnu poziciju. Što se događa sa sveukupnim sustavom naših znanja ako smanjimo utjecaj vizualnog?

Nakon toga ili paralelno s njim odvija se rađanje digitalne umjetnosti. Četvrte su tendencije naslovljene *Komputori i vizualna istraživanja*, te intenzivno (i ekstenzivno) ispituju što se u

već postavljenim perceptivnim istraživanjima i istraživanjima percepcije može postići upotrebom kompjutora. U sklopu Novih tendencija 1969. godine počeo se umjetničkim radom baviti pionir i velikan kompjutorske umjetnosti matematičar, Vladimir Bonačić. Zaražen tada virusom umjetnosti, on se nikada neće vratiti čistoj znanosti, već će postati jedan od ključnih roditelja digitalne umjetnosti. Posljednja, peta izložba održana u Zagrebu 1973. godine pripada već novome vremenu, vremenu konceptualne umjetnosti i zapravo donosi mogućnost drugačijeg sagledavanja postavki i istraživanja umjetnika-istraživača iz pokreta Novih tendencija.



Gianni Colombo, *Elastičan prostor* iz 1964., ostvaren na izložbi Trigon, Graz, 1967.  
Gianni Colombo, *Spazio elastico* de 1964, réalisé a l'exposition Trigon, Graz, 1967.

## DE NOUVEAUX OBJETS VOLANTS

Marina Viculin

Les Structures de l'invisible s'emparent d'un champ de l'art qui traite de la perception et de la connaissance. Ce projet réunit des artistes qui intègrent des questionnements scientifiques à l'oeuvre dans leurs installations. A la suite du dialogue établi entre les uns et les autres, nous attendons avec grande curiosité le regard que les scientifiques porteront sur les oeuvres d'art qui concernent leurs sujets de prédilection.

Combien et comment l'art peut-il visualiser les découvertes de la science ? - c'était déjà la question qui avait motivé les artistes du mouvement Nouvelles tendances, dans les années soixante. Les Structures de l'invisible d'aujourd'hui nous obligent avec leur thème et leurs formes à nous souvenir de cette époque. Les artistes des Nouvelles tendances, qui se considéraient comme des chercheurs, ont ouvert une grande partie des thèmes qui ont une importance dans l'art d'aujourd'hui. C'est la raison pour laquelle je voudrais profiter de cette occasion pour résumer les grandes lignes de ce qui s'est passé alors, ce qui a caractérisé ce mouvement complexe et pourquoi il m'inspire de l'admiration. Je ressens la même admiration devant les oeuvres qui constituent l'exposition Structures de l'invisible !

Nous sommes particulièrement heureux d'avoir comme partenaire la Fondation Vasarely d'Aix-en-Provence. Les membres des Nouvelles tendances ont considéré Victor Vasarely comme l'un de leurs pères spirituels, et son fils, Yvaral, fut membre du groupe français GRAV (Groupe de recherche d'art visuel) qui a formé le noyau du mouvement NT. Comme si l'histoire se répétait, comme si les forces de regards familiers se réunissaient à nouveau dans un même foyer.

Ayant eu l'occasion à plusieurs reprises d'écrire sur ce mouvement, je me suis souvent demandée ce qui engendrait les événements. Est-il possible que les tels événements arrivent par hasard ? Qu'est-ce qui active les forces du monde ? Quelle part de l'événement artistique est provoquée par l'interaction sociale, et quelle part est la conséquence de l'état d'esprit d'une collectivité plus ou moins grande ? Les mouvements forts et les grandes découvertes sont-ils produits par une connaissance soudaine qui, telle un volcan, perce la peau d'une observation apprise du monde dans lequel nous existons ?

Nous pénétrons dans l'histoire avec les personnages principaux des Nouvelles Tendances 1 - ceux du premier acte, de la première exposition réalisée à Zagreb - Bek, Maviginer, Mestrovic. C'est l'année 1961, dans la Yougoslavie socialiste, le lieu d'action est Zagreb, une petite ville vivante de l'Europe centrale. Matko Mestrovic a vingt huit ans, Bozo Bek, directeur de la Galerie d'art contemporain de Zagreb en a trente cinq, et Almir Mavignier, le Brésilien, peintre, trente six. Trois jeunes hommes, deux Croates historiens de l'art, hommes de gauche, et un peintre sud-américain de belle allure, qui a ajouté à sa chaleur du sud la précision et la pureté de la pensée cultivée à l'HfG d'Ulm. Tous les trois ont lancé une toupie magique qui tournera - même après leur départ un à un - jusqu'en 1973.

La décennie qui a suivi l'acte fondateur a vu se former, se développer et changer le mouvement international des Nouvelles Tendances, marqué par des expositions en 1961, 1963, 1965, 1969 et 1973. Chaque édition a apporté une annonce de la direction qui montrera son importance et sa force seulement dans les temps à venir. Ces cinq expositions réalisées à Zagreb ont réuni plus de deux cents artistes du monde entier.

C'est à cette époque, au début des années soixante, que le mouvement que nous appelons la dernière avant-garde a eu lieu, le dernier qui croyait qu'il pouvait sérieusement et fortement influencer la communauté humaine et les individus sensibles. Une lecture différente du monde, dont nous comprendrons pleinement les sources et les conséquences seulement au

cours des décennies suivantes, quand de nouvelles branches auront poussé à partir des graines semées alors, tel l'art numérique.

Les Nouvelles tendances ont créé, par un bricolage des formes et des significations déjà utilisées, un nouvel ensemble cognitif. Comme Wilbur et Orville Wright, elles ont construit quelque chose qui s'est envolé à partir de choses qui ne volaient pas, de choses qui ne pensaient même pas qu'il était possible de voler.

La deuxième pensée qui décrit très bien les Nouvelles Tendances concerne les mécanismes explosifs de fabrication domestique : petits et maladroits, mais intelligents et dangereux. Ils n'ont pas d'allure, mais fonctionnent. Font subversion. Ils n'agissent pas par la force, mais par leur position dans le système. Par de petites explosions, ils provoquent dans la conscience des micro-fissures qui se propagent vite comme un réseau de brisures fatales dans le système de perception et de pensée.

Si au sens le plus général on peut considérer l'art comme une manière de comprendre le monde, le mouvement NT se trouve parmi les pionniers d'une conception nouvelle. Aucune des spécificités de ses activités artistiques n'est entièrement originale - les oeuvres cinétiques, l'utilisation de la lumière comme matériau, les oeuvres à manipuler et les oeuvres interactives, les oeuvres tridimensionnelles dans lesquelles on rentre, l'oeuvre ouverte, le travail de groupe, la résistance au système des galeries, la tentative d'auto-organisation en mouvement artistique - mais dans le cadre des Nouvelles tendances, elles ont déclenché l'avalanche d'une autre manière de penser. Le grand pouvoir de cet art est de réorienter notre attention et de nous apprendre à percevoir autrement par de petits décalages.

Le mouvement NT s'engage pour la redéfinition de la notion d'art et la réforme des préjugés qui déterminent la forme d'une oeuvre d'art. Il répond à la question de savoir comment enregistrer les perceptions multi-sensorielles, les expériences, les connaissances. Il cherche à redéfinir et à reformer l'oeuvre d'art pour qu'elle puisse correspondre à l'expérience sensible, à la connaissance spécifique de l'époque contemporaine. Les recherches précédentes concernant les objets lumino-cinétiques et les ambiances interactives sont transposés par le NT en une corrélation nouvelle, au sein d'une connaissance ouverte et fluctuante. Les artistes du mouvement NT s'emparent des éléments connus et des découvertes de leurs prédécesseurs comme Tatlin, Moholy Nagy, Duchamp, Albers, Strzeminski, Calder, Mondrian, Vasarely, Tinguely, et les appliquent, les testent, les diffusent, et établissent ainsi les relations entre l'art et la technologie qui mènent vers la virtualité illimitée du 21ème siècle.



Izložba T4, Muzej za umjetnost i obrt, Zagreb, 1969.  
L'exposition T4, Muzej za umjetnost i obrt, Zagreb, 1969.

Le caractère constructif de ces travaux se confond souvent avec leur apparence. Les formes géométriques sont choisies uniquement parce qu'à leur sujet, comme le disait Joël Stein, on peut s'entendre le plus facilement. Les formes régulières et connues rétrécissent le champ d'interprétations différentes, et l'attention est portée sur les relations, les possibilités de mutation et de variation, puis sur le contenu abstrait qui porte ces transformations. Le concept se montre à travers la transformation, qui demande du temps, et l'expérience du temps est

dépendante du spectateur et de son œil où elle peut se réaliser. Le vrai sujet, le concept de ces travaux se révèle seulement dans le temps, et c'est pourquoi il rend visible et compréhensible l'entité espace-temps.

C'est d'une manière concrète, sans symboles et métaphores, que les travaux de NT dessinent la présence et les qualités de l'entité espace-temps. La dépendance du spectateur comme l'utilisation de la lumière comme élément constructif font partie de la même histoire. Nous devons nous rappeler à nouveau que les œuvres du NT sont des travaux pionniers prêts à se satisfaire de la seule prise de conscience de la présence de l'observateur dans toutes les phases de la création du sens et de la forme de « l'artefact » artistique. Sans l'observateur l'œuvre n'existe pas ! La manière dont l'espace et le temps sont séparés dépend de l'observateur.

La prochaine étape demande la participation directe du spectateur dans la formation de l'œuvre, et renforce ainsi l'interactivité. Ces œuvres ne se réalisent que suite à la participation d'autrui, qui n'a pas créé l'œuvre. Au départ c'est la main qui manipule. Le concept de telles œuvres porte dans son noyau le facteur de dépendance de l'autre et tant que ce facteur n'est pas introduit, l'œuvre ne peut être appréhendée. Quelque fois, l'action-manipulation est minimale et nous pouvons supposer ce qu'est le travail sans le manier, mais l'exigence d'un rapport actif conduit le spectateur-manipulateur à prendre conscience de sa propre position, de réaliser que la nature de ce qu'il perçoit comme expérience dépend de sa position dans le système.

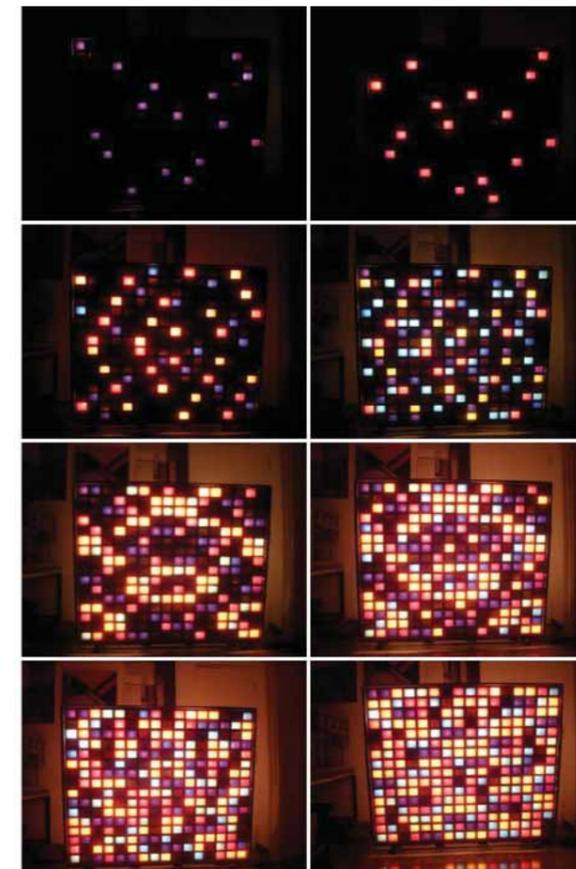
L'utilisation de la lumière comme matériau de construction de l'œuvre d'art renforce encore le rôle du spectateur qui est le seul à l'intérieur de son cône de lumière à pouvoir réaliser le travail selon le concept posé par l'artiste. Le cône de lumière comme l'historique d'un éclat de lumière est la représentation schématique d'un événement lumineux dans l'espace-temps où l'espace a été privé d'une dimension pour mieux inscrire la dimension temporelle dans le système des deux axes. Le cône de lumière est un espace conceptuel à l'intérieur duquel les événements peuvent s'influencer mutuellement car rien ne se meut plus vite que la lumière qui définit ses contours. C'est pourquoi l'événement de lumière glisse sur cette limite et tous les autres mouvements plus lents restent à l'intérieur du cône.

L'art enregistre précisément le concept contemporain du temps. Les œuvres lumino-cinématiques comme celles de Morellet nous montrent leurs doubles virtuels car l'œil et l'espace-temps du récepteur actif sont devenus le seul médium du « principe formateur » de l'artiste-chercheur. Le travail que Morellet montre à l'exposition NT 3 est un réseau simple orthogonal de 16 champs dessinés par les tubes de néon fixés sur une planche de 80x80 cm. Nous le voyons sur la photographie comme un réseau où seules quelques lampes sont allumées. Mais une fois enregistré ce n'est plus le travail mais son double. Dans la situation réelle, le double devient l'écran où le travail aura lieu. Le travail est étonnamment grand et imprévisible. Il compte des centaines de milliers d'images formées par les allumages aléatoires des néons placés dans notre cône de lumière dont le sommet est l'instant de leur premier éclat.

L'étape suivante sur la ligne expérimentale du NT se caractérise par la détronisation de l'œil. Si les premières œuvres du NT montraient une préférence pour des formes géométriques, des formes pures et leurs relations telles une langue primaire, le « message codé » des œuvres en forme d'ambiance prend comme langue primaire les spécificités de la perception humaine qui n'est pas fondé uniquement sur les cinq sens extérieurs. Les ambiances essaient de rendre perceptible tout un diapason de la perception des sensibilités extéroceptive, proprioceptive et intéroceptive. Ainsi nous arrivons aux Toposthesia et Baresthesia de Colombo. Le récepteur est immergé corps et esprit dans l'ambiance qui lui transmet le « message codé » au niveau du corps. Ce message dit souvent : « ne crois pas à l'œil ». Baresthesia de Colombo montre que, si nous nous trouvons forcés par la peur de la perte d'équilibre, nous allons donner la priorité aux informations sensibles proprioceptives qui sont peut-être pri-

mordiales par rapport au visible. Mais le système proprioceptif correspond autrement avec le système intellectuel et la question suivante est combien et comment la primauté de l'information visuelle détermine notre vision du monde, notre position émotionnelle et intellectuelle. Qu'est-ce qui se passe avec l'ensemble de nos savoirs si nous diminuons l'influence du visuel ?

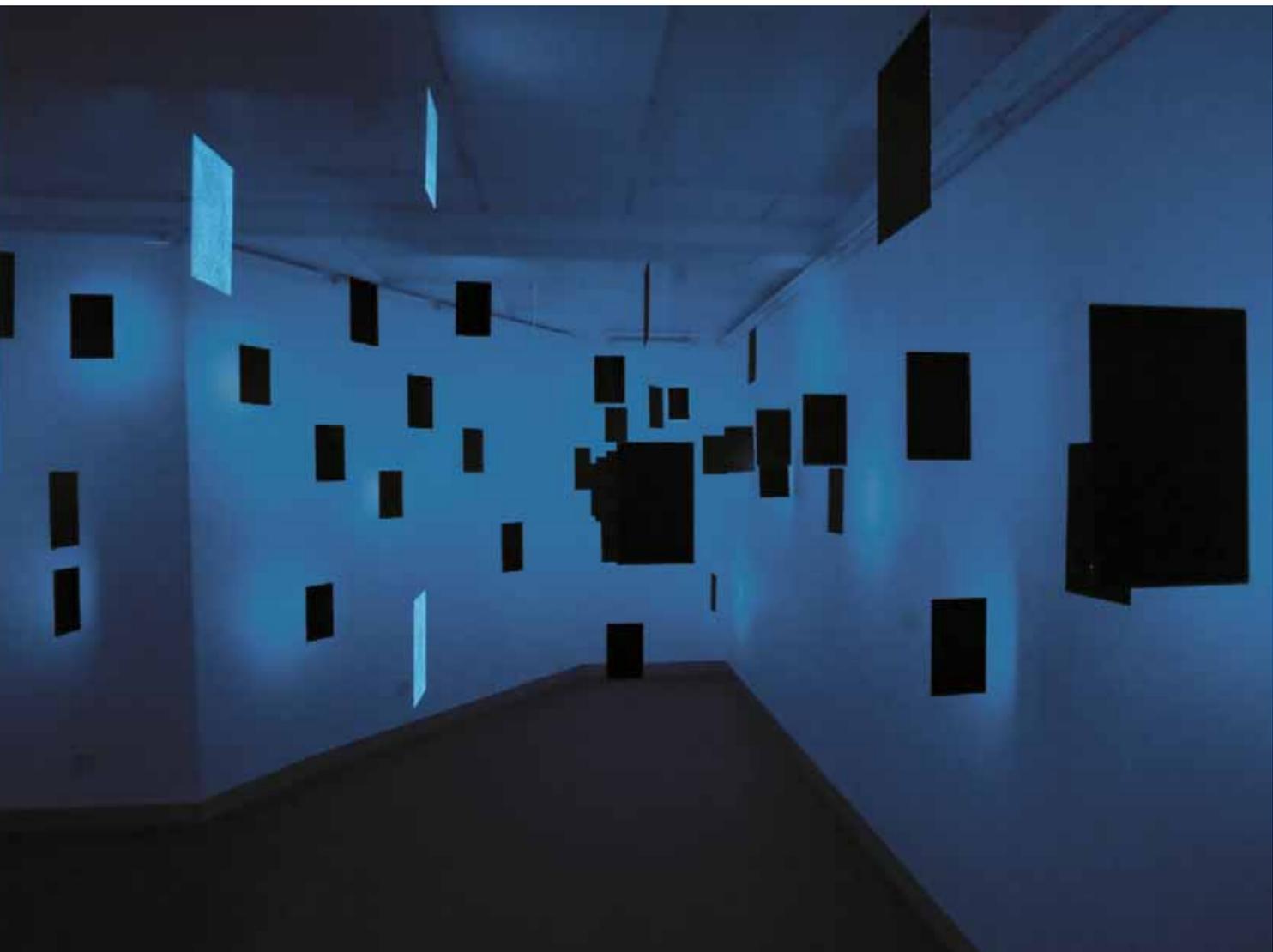
Après cela, ou parallèlement, on assiste à la naissance de l'art numérique. La quatrième édition de Nouvelles Tendances est intitulée « Ordinateurs et recherches visuelles » et interroge intensément et (et extensiblement) ce qui dans le champ de recherche déjà établi autour de la perception peut être obtenu par l'usage de l'ordinateur. Dans le cadre des Nouvelles Tendances 1969, le mathématicien Vladimir Bonacic, le pionnier et plus tard grande figure de l'art numérique, inaugure la pratique artistique. Contaminé alors par le virus de l'art, il ne retournera jamais à la science pure, mais deviendra l'un des parents décisifs de l'art numérique. La dernière, cinquième exposition de NT réalisée à Zagreb en 1973, appartient déjà à notre époque, celle de l'art conceptuel, et apporte la possibilité de considérer de manière différente les prédispositions et les recherches des artistes-chercheurs du mouvement Nouvelles Tendances.



Vladimir Bonačić, DIN GF100, V.B., 1969

**U PROSTORU**  
DANS L'ESPACE

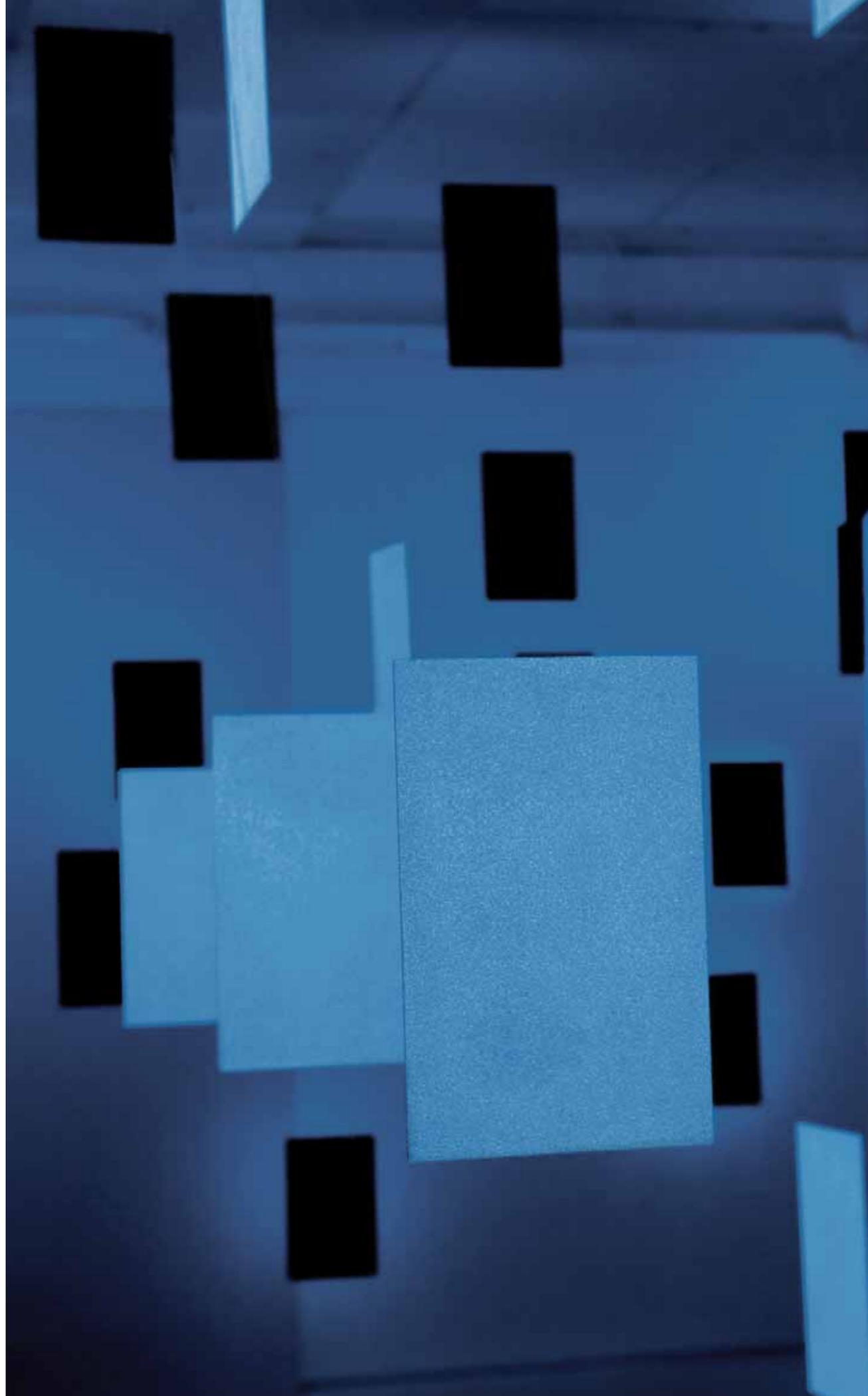
# MARINE ANTONY

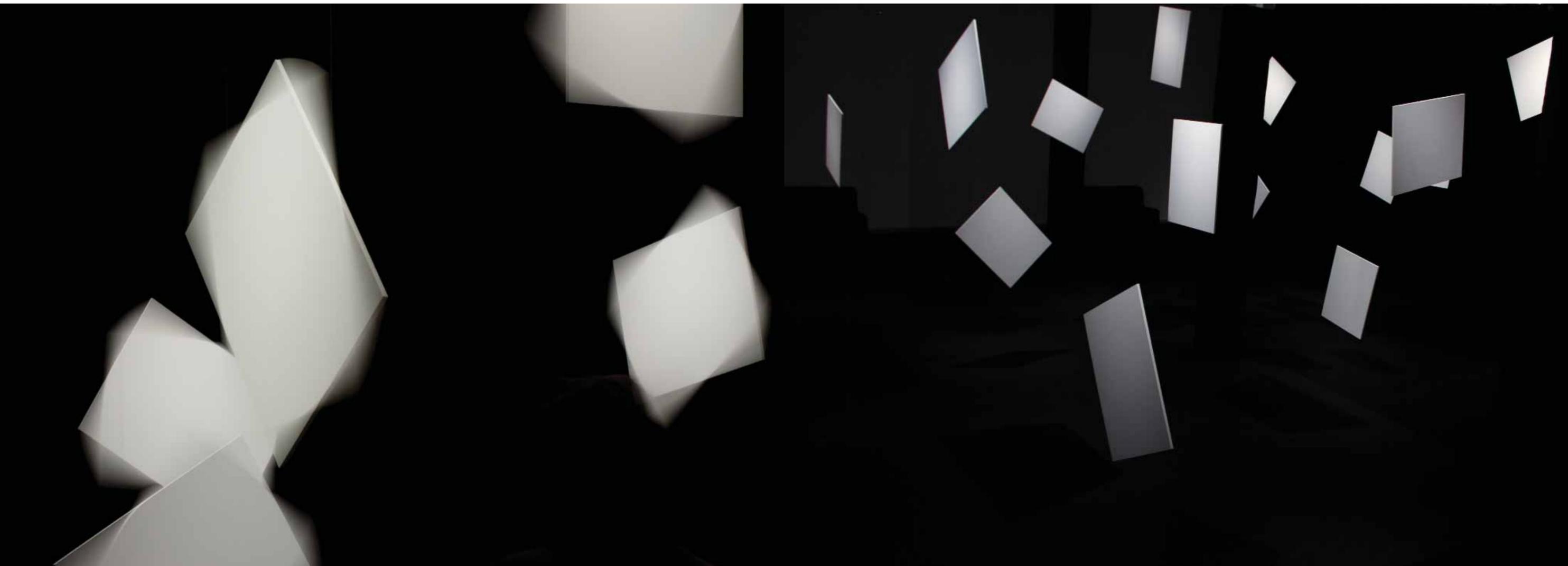


*Black over blue, 2011*

Zamračeni prostor određen je nizom pravokutnika. 110 identičnih aluminijskih pločica obješeno je paralelno sa zidovima. Svaka pločica s jedne je strane crna a s druge fluorescentna.

Un espace au noir total est ponctué de 110 plaques d'aluminium identiques suspendues de façon parallèle aux murs blancs. Chaque plaque présente une face noire et une face phosphorescente bleue.





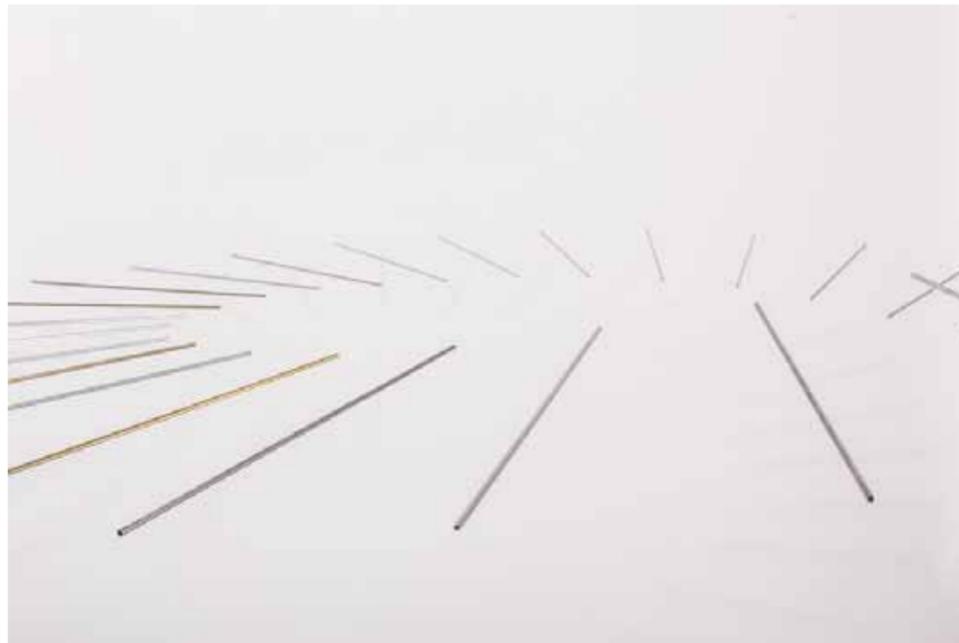
*Bijeli šum / Bruit Blanc, 2013*

Devet pravokutnih modula stvara zvučni oblak koji zauzima prostor izložbe.  
Uzastopnim okretanjem proizvode kontinuirani šum sličan bijelom šumu.

Neuf modules rectangulaires forment un nuage sonore qui envahit l'espace d'exposition.  
Tournant sur eux-mêmes, ils produisent un bruit continu proche du bruit blanc.

U koprodukciji s Carré Amelot, La Rochelle (Francuska).  
En coproduction avec le Carré Amelot, La Rochelle (France).

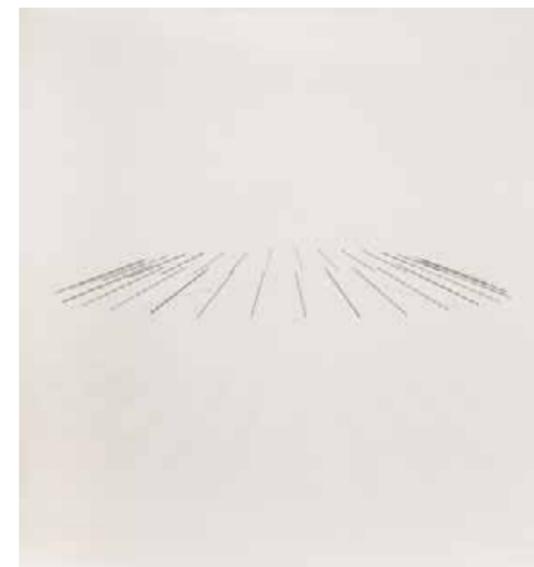
# ELIAS CRESPIN



*Plano Flexionante Circular 5, 2014*

Instalacija u prostoru viseće forme koja se sastoji od 32 tanka metalna štapića. Pokretom ovog kružnog crteža upravlja digitalni mehanizam, slijedeći principe valova, iskrivljenja i raspršivanja.

Fins tubes métalliques disposés en forme circulaire. Le mouvement des tubes est dirigé par un dispositif numérique et mécanique.



Photos Pascal Maillard

# IVANA FRANKE



*In the Faraway Past and In the Future, 2014*

Alumijska konstrukcija, najlonski konac, stativ, LED svjetla, transformatori. Promjer 6 m.

Construction d'aluminium, fils de nylon, tripod, lumière LED, transformateurs. Diamètre 6 m.

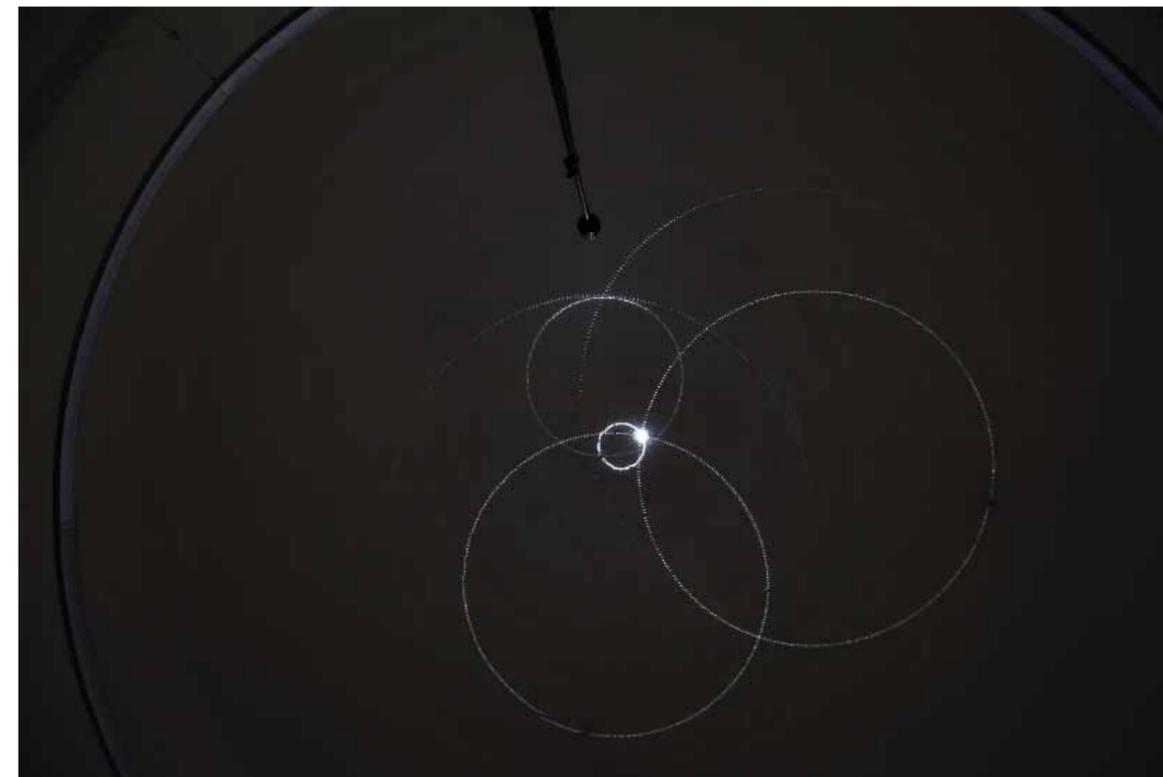
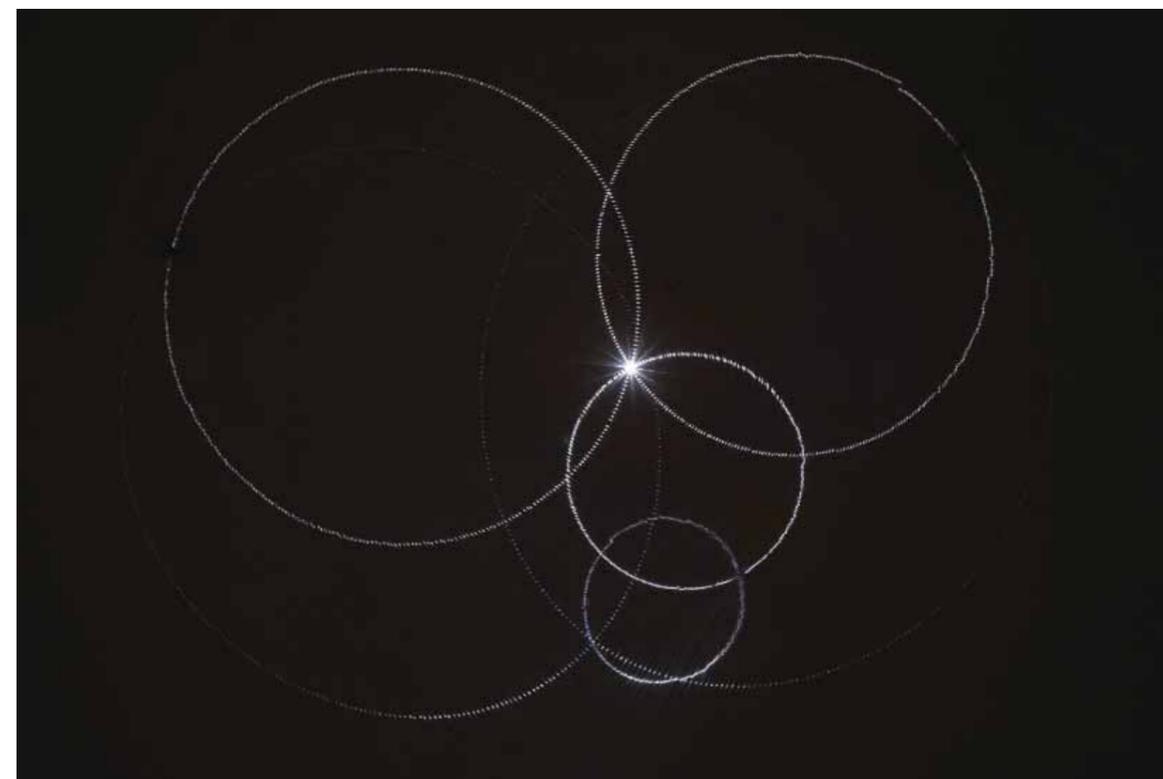
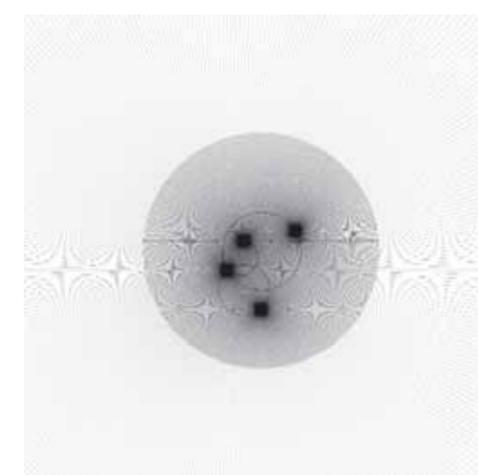
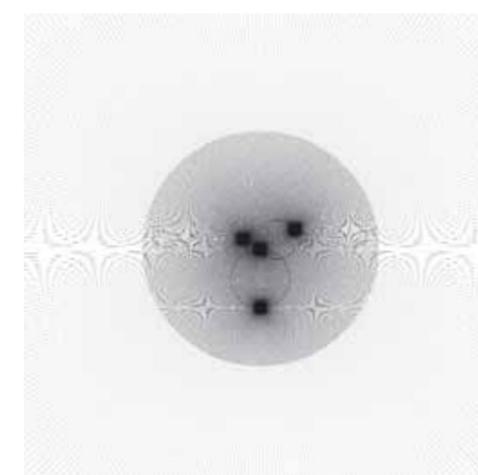
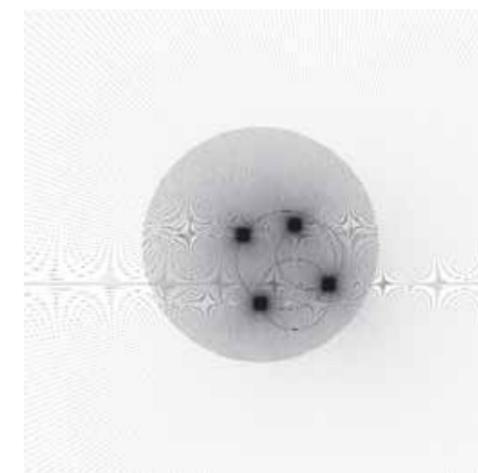
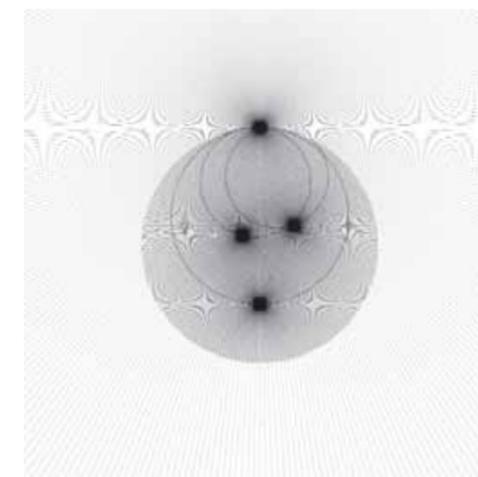
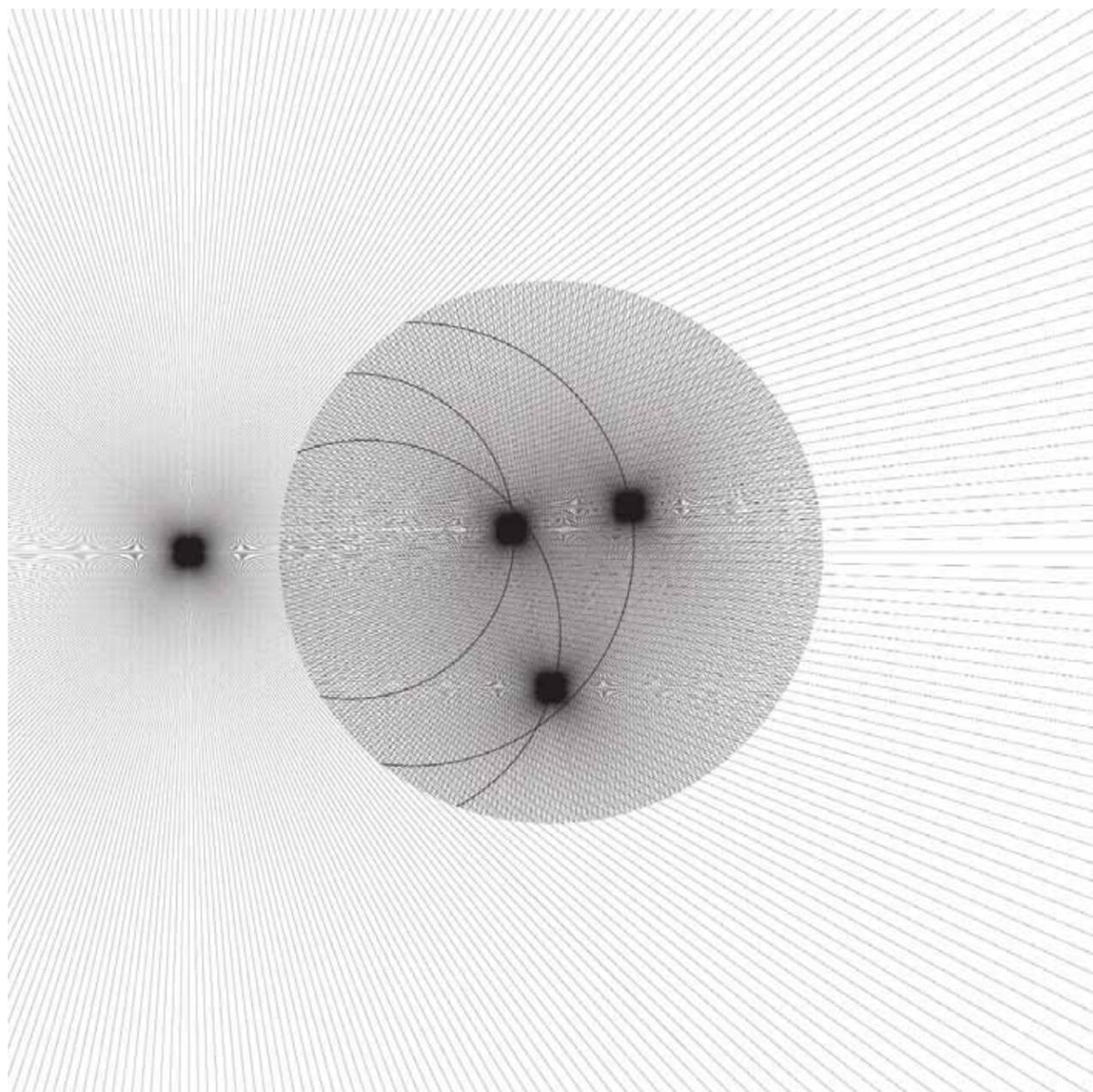
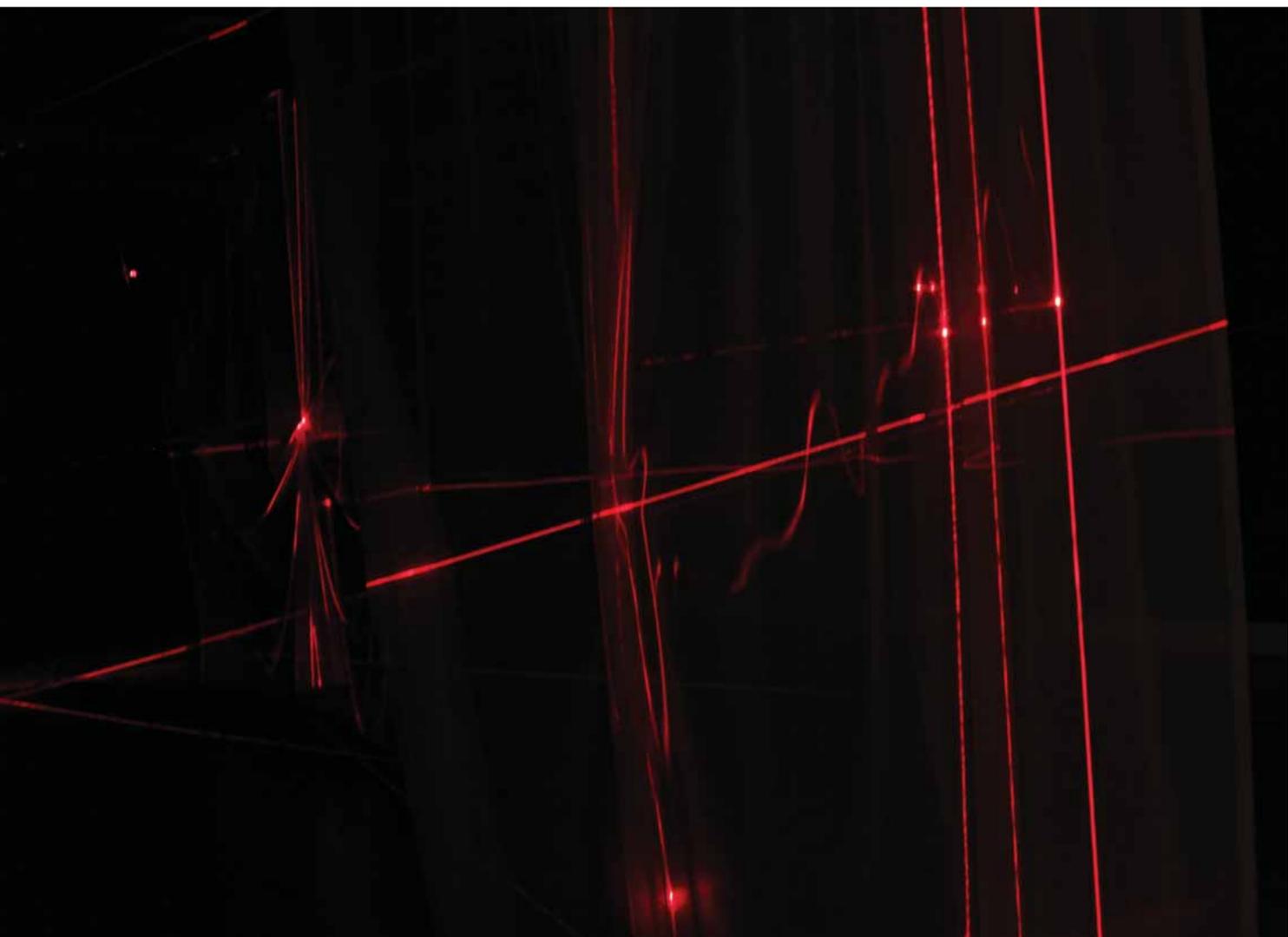


Photo: Umang Bhattacharyya and  
Akshat Jain  
Courtesy INSERT2014



*Dance of the Light Echoes (Step 1,2,3,5,8), 2014*  
Ink jet print na papiru, 100 x 100 cm.  
Impression jet d'encre sur papier, 100 x 100 cm.

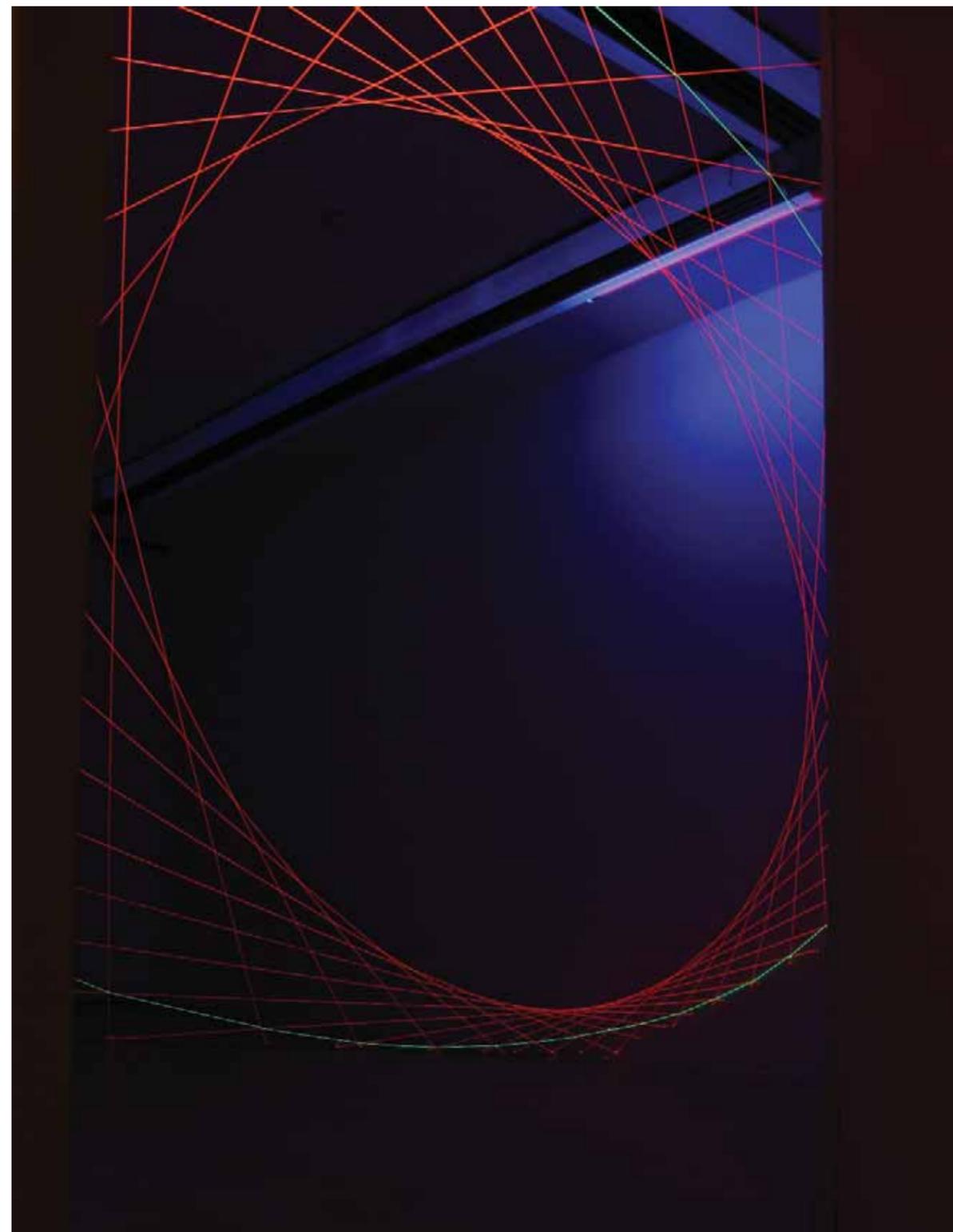
# PIERRE GALLAIS



*Mathérialisation, 2014*

Materijalizacija svjetla u zamračenom prostoru, laserska projekcija.

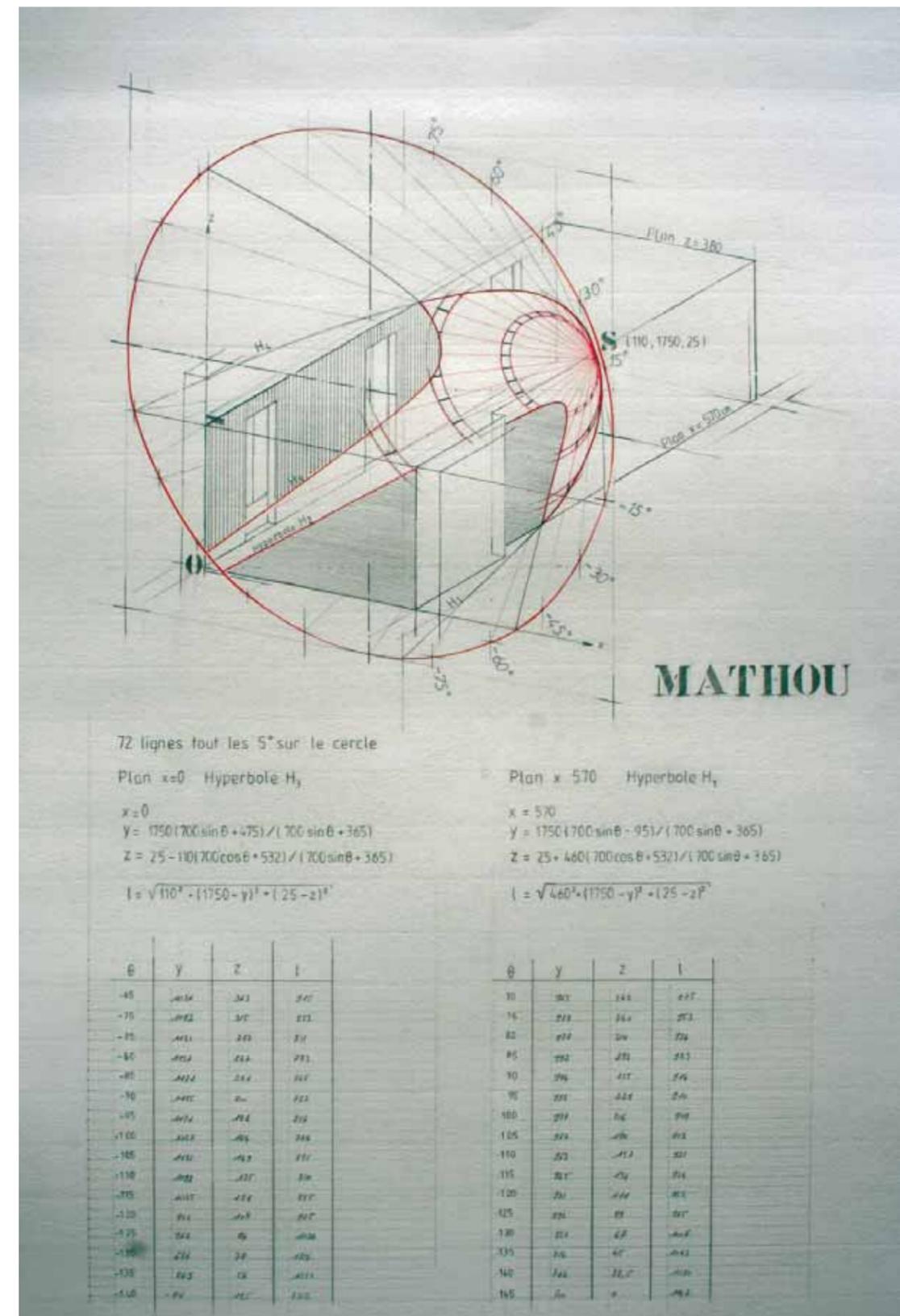
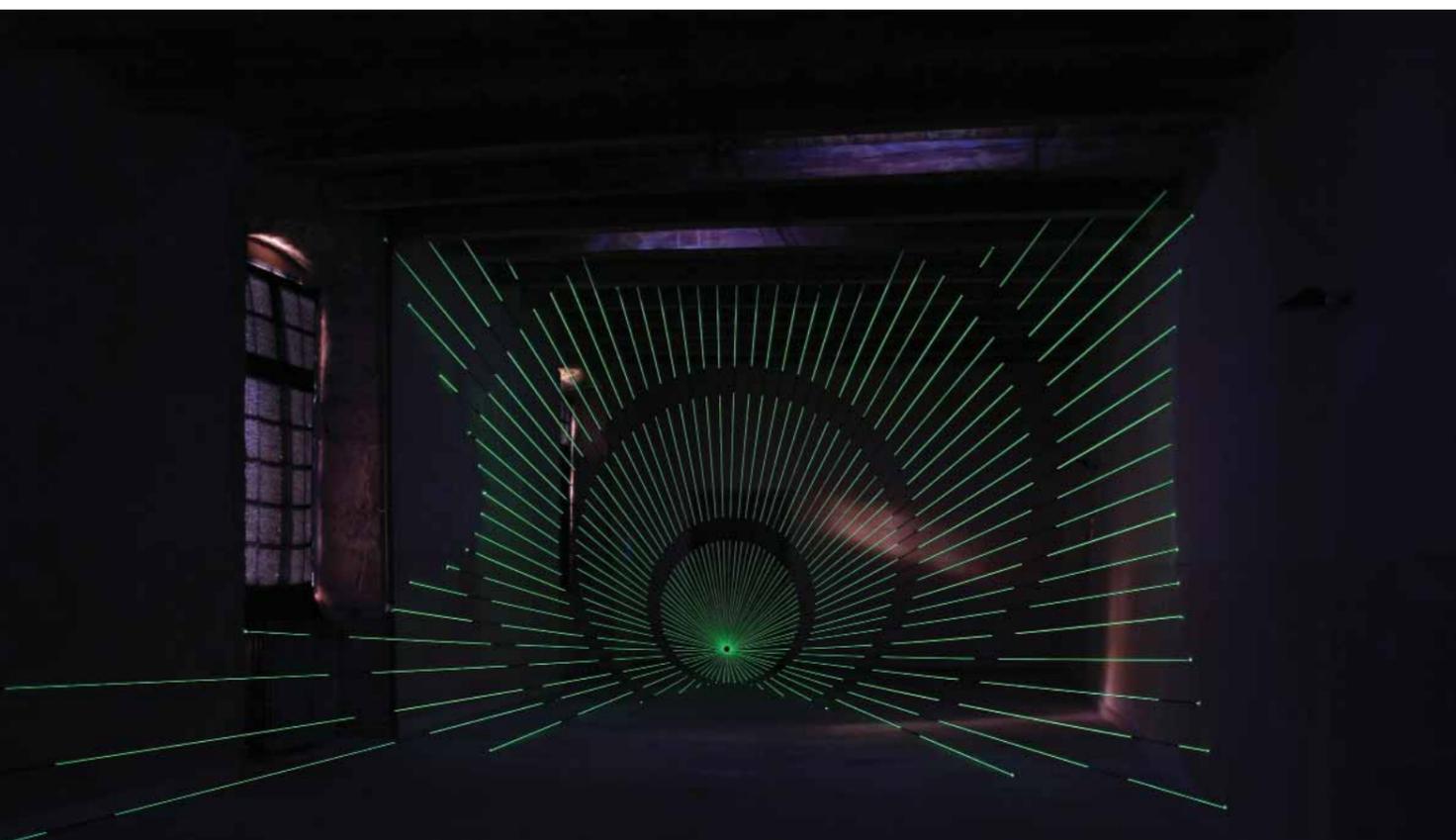
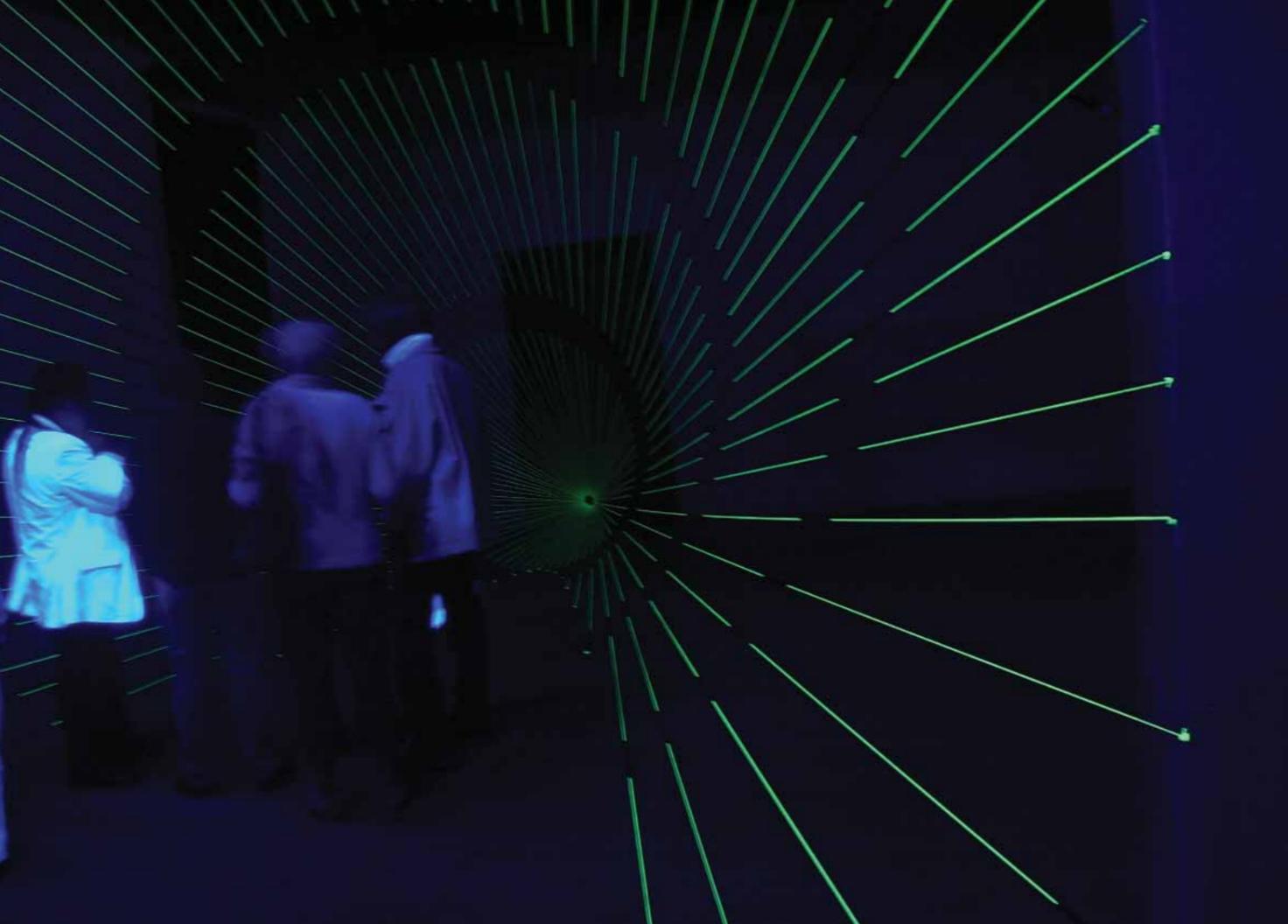
Matérialisation de la lumière dans l'obscurité, projection laser.



*Architexture (Phil... en... tropie), 2014*

Matematički crtež, fluorescentna vuna.

Dessin mathématique, laine fluorescente.

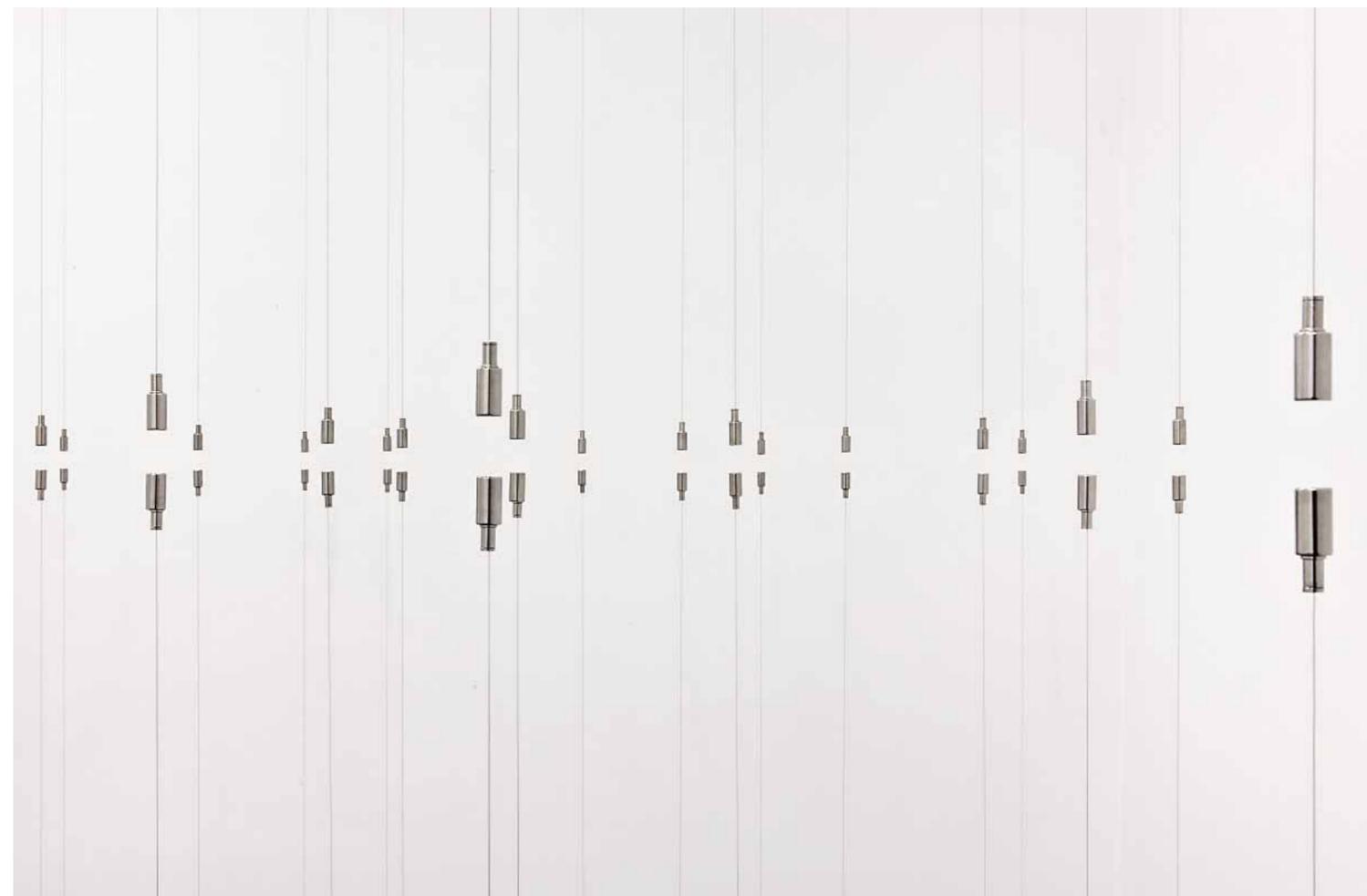
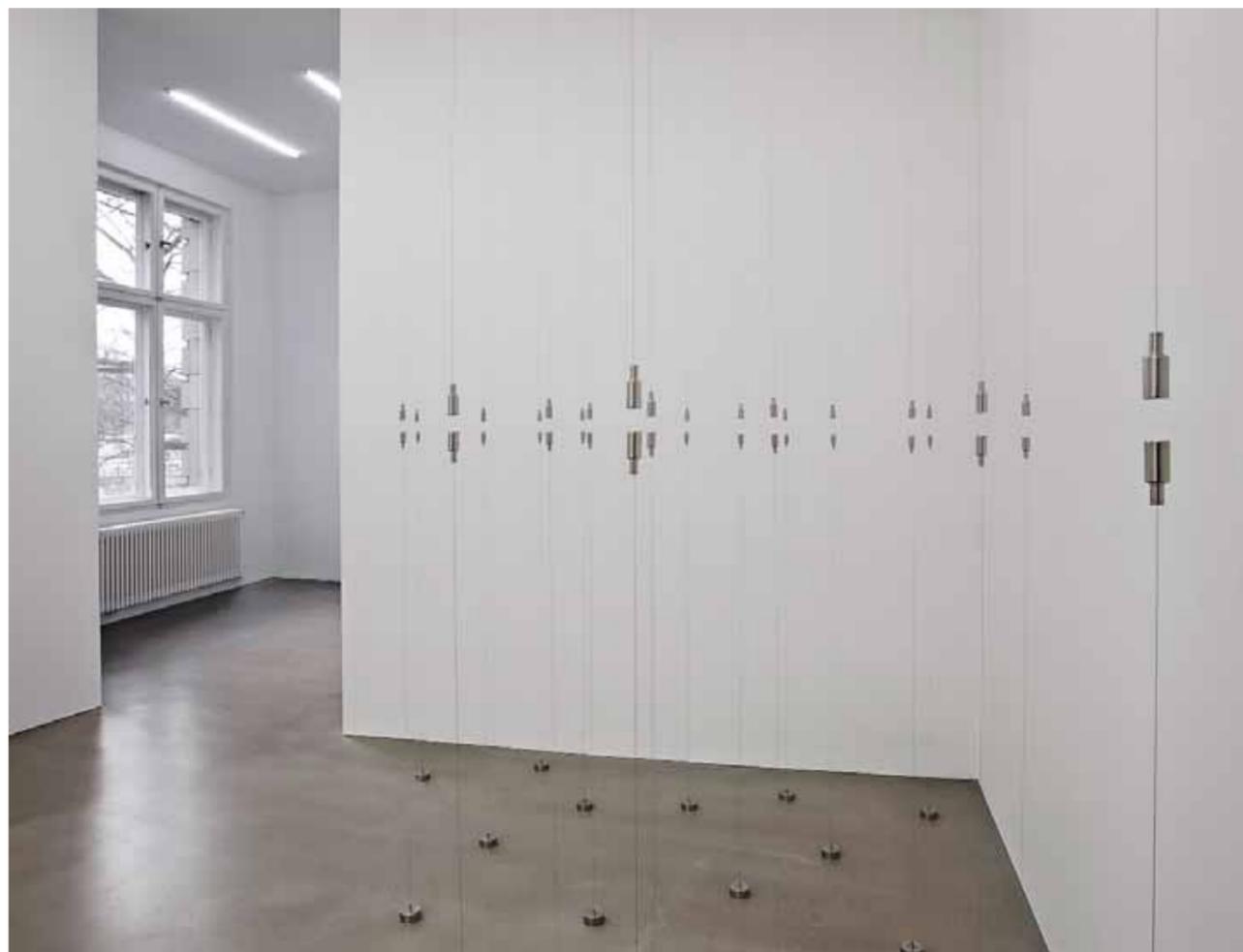


Mathou, 2006

Instalacija u obliku stošca izvedena sa 72 fluorescentnih žica.

Installation en forme de cône, réalisée avec 72 lignes fluorescentes.

# TOMMI GRÖNLUND & PETTERI NISUNEN



*Plane*, 2013

Žice napete sa stropa i poda, koje u okomici drži sila magneta pričvršćenih na čelične valjke.

Fils tendus à partir du sol et du plafond, tenus à la verticale par la force magnétique des aimants sur leurs embouts en acier.

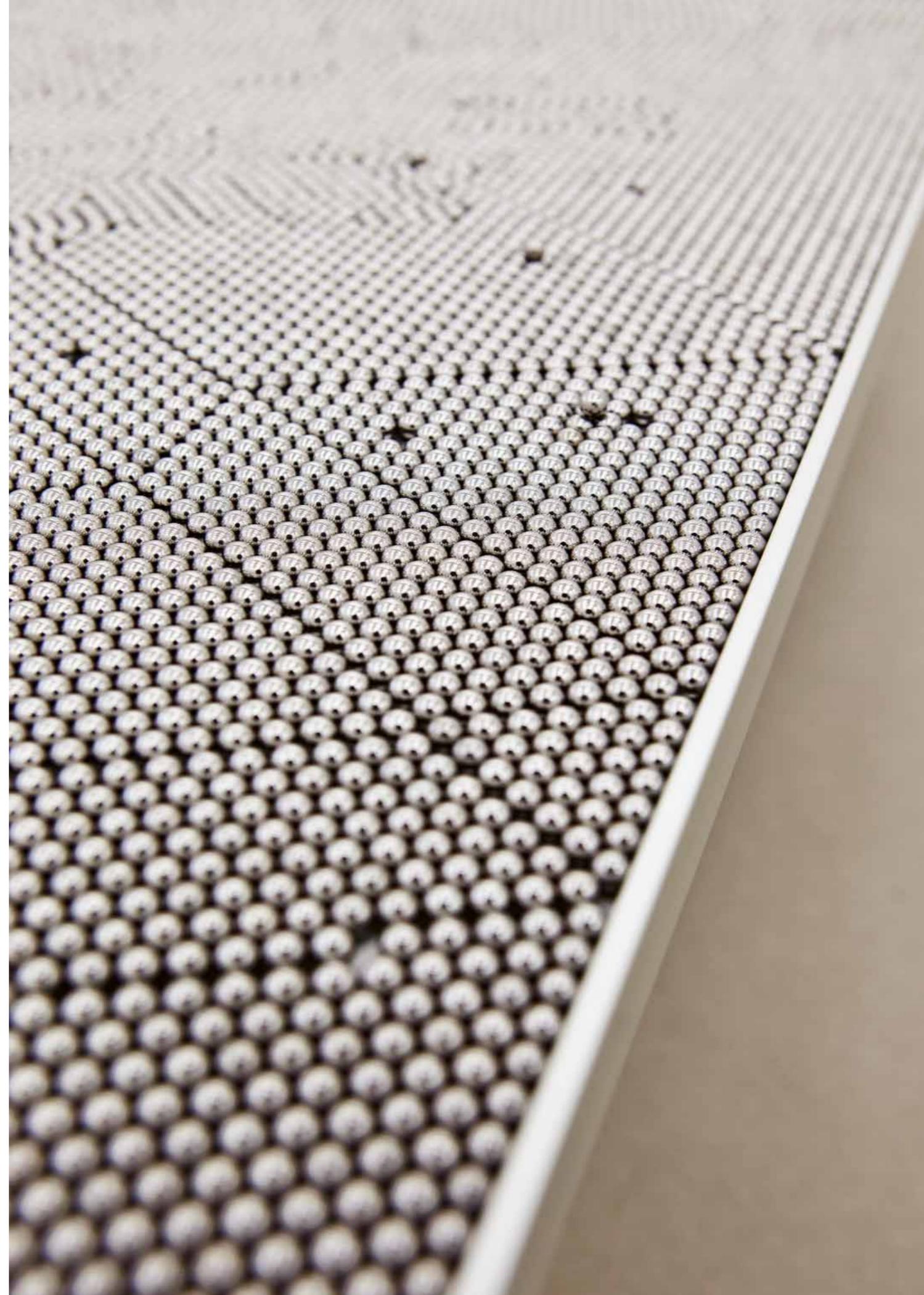


*Unstable Matter*, 2014

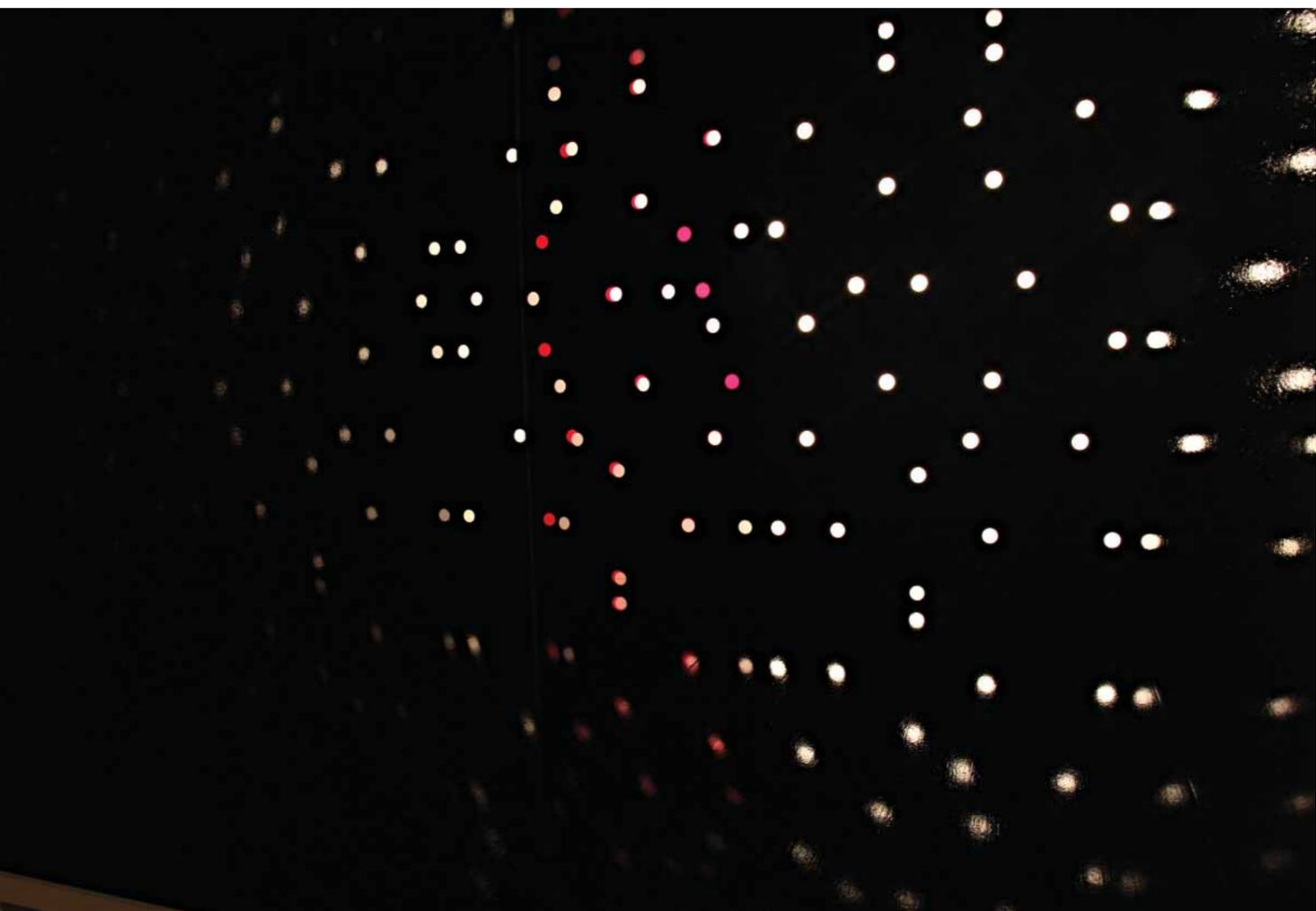
Čelične kuglice na pokretnoj strukturi koja sadrži motor i mehanizam kontrole. Slijedeći blage nagibe ploče, tisuće kuglica klize i proizvode svaki puta drugačiji crtež, popraćen zvukom kotrljanja.

Billes d'acier sur une structure pivotante en aluminium, contenant un moteur et un mécanisme de contrôle. Les mouvements lents du plateau font glisser les milliers de billes qui créent chaque fois un autre dessin, accompagnés d'un roulement sonore.

Photo by Andrea Rossetti



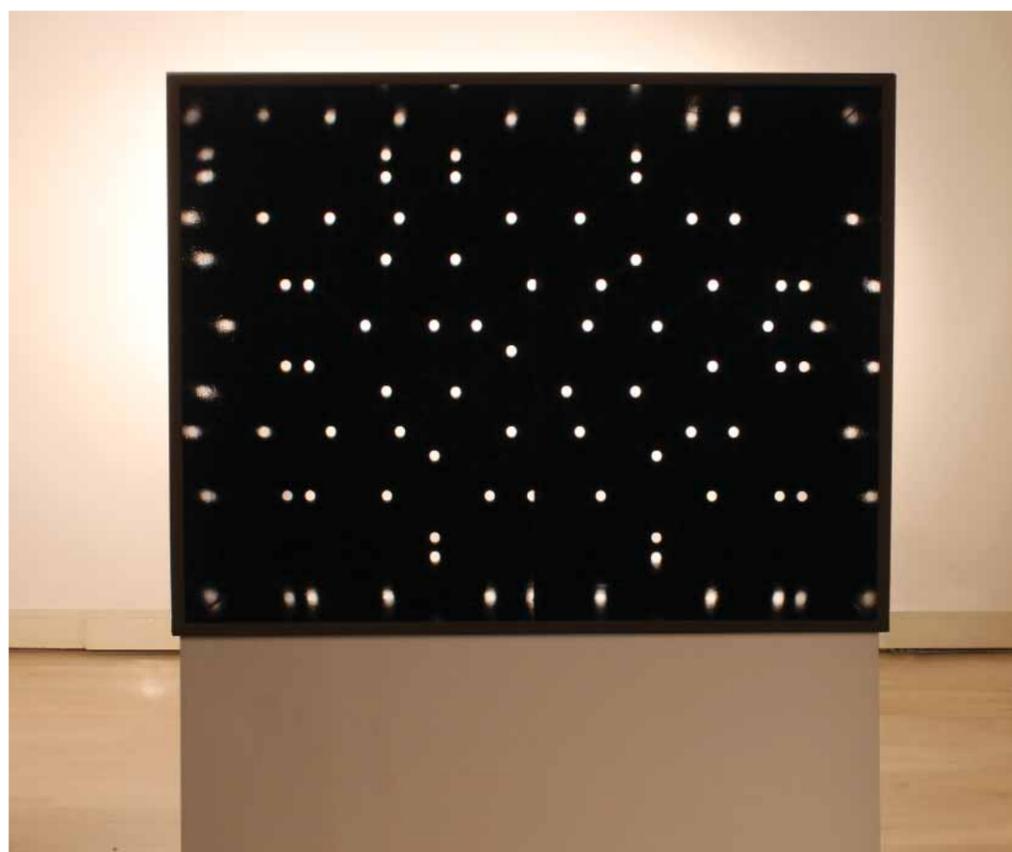
# MARTINA KRAMER

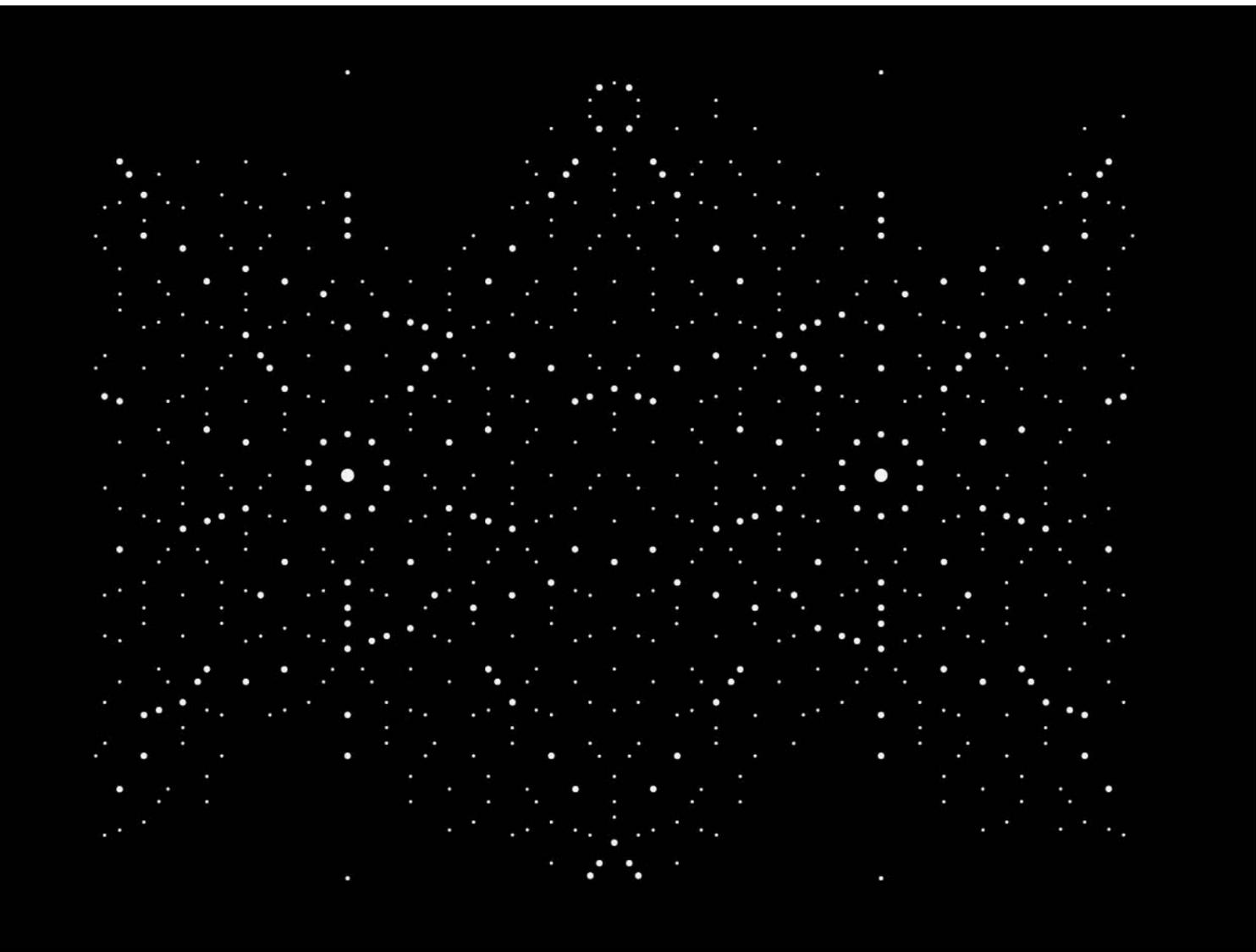


*Penroseove zvijezde 1 / Les étoiles de Penrose 1, 2014*

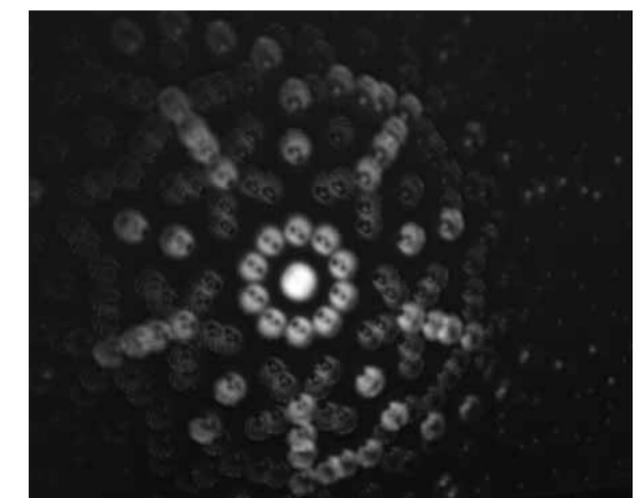
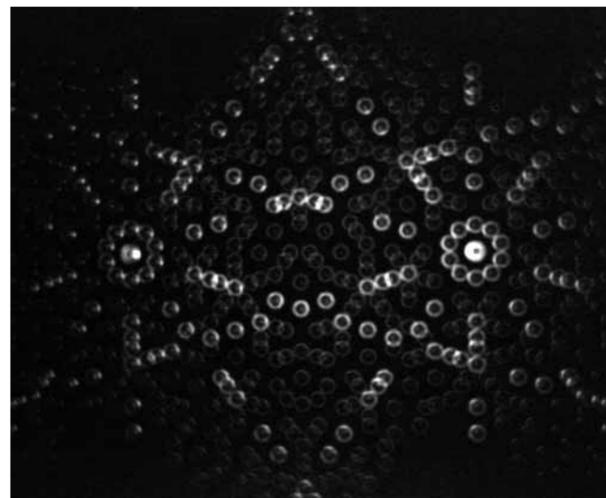
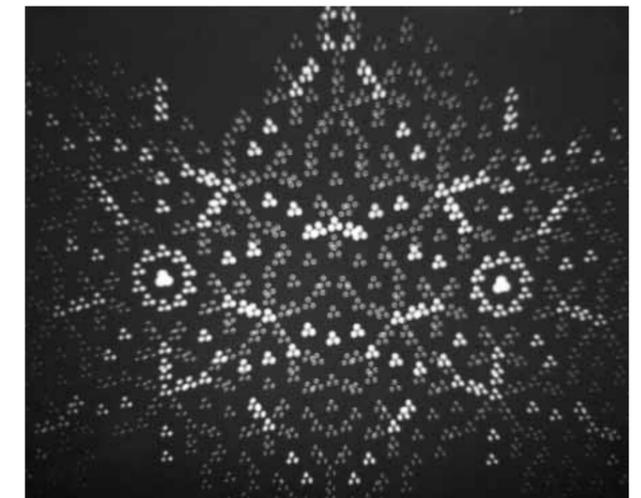
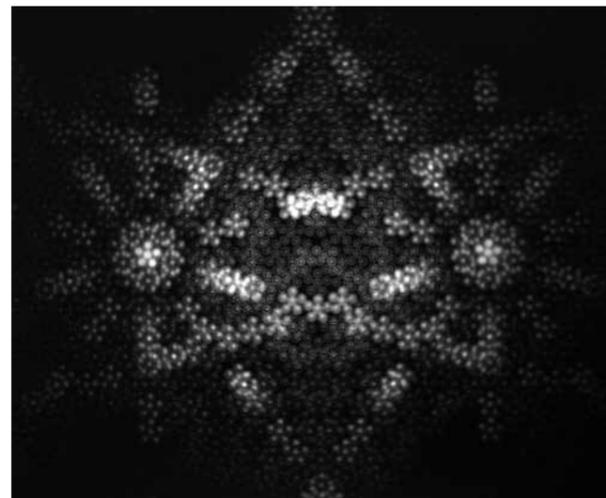
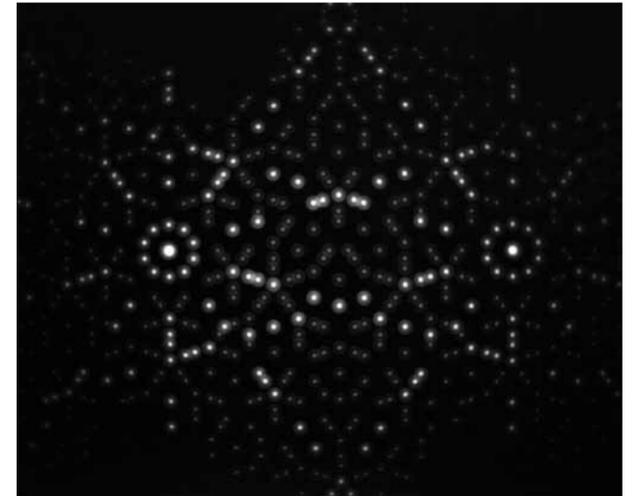
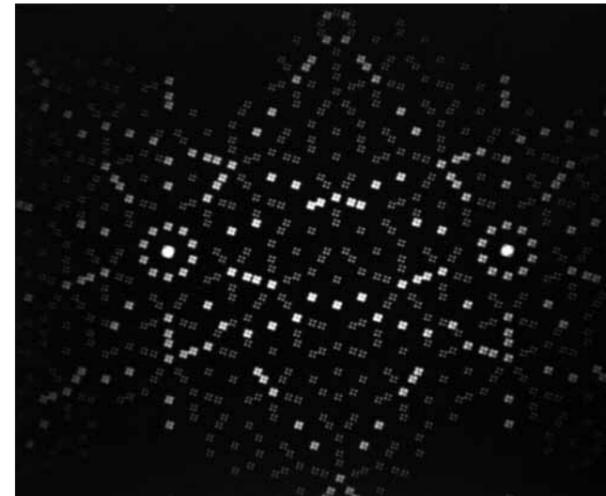
Drveni objekt, pleksiglas, perforacija laserom na aluminijskoj ploči, 100 x 80 x 100 cm.

Objet en bois, plexiglas, perforation laser sur plaque d' aluminium, 100 x 80 x 100 cm.



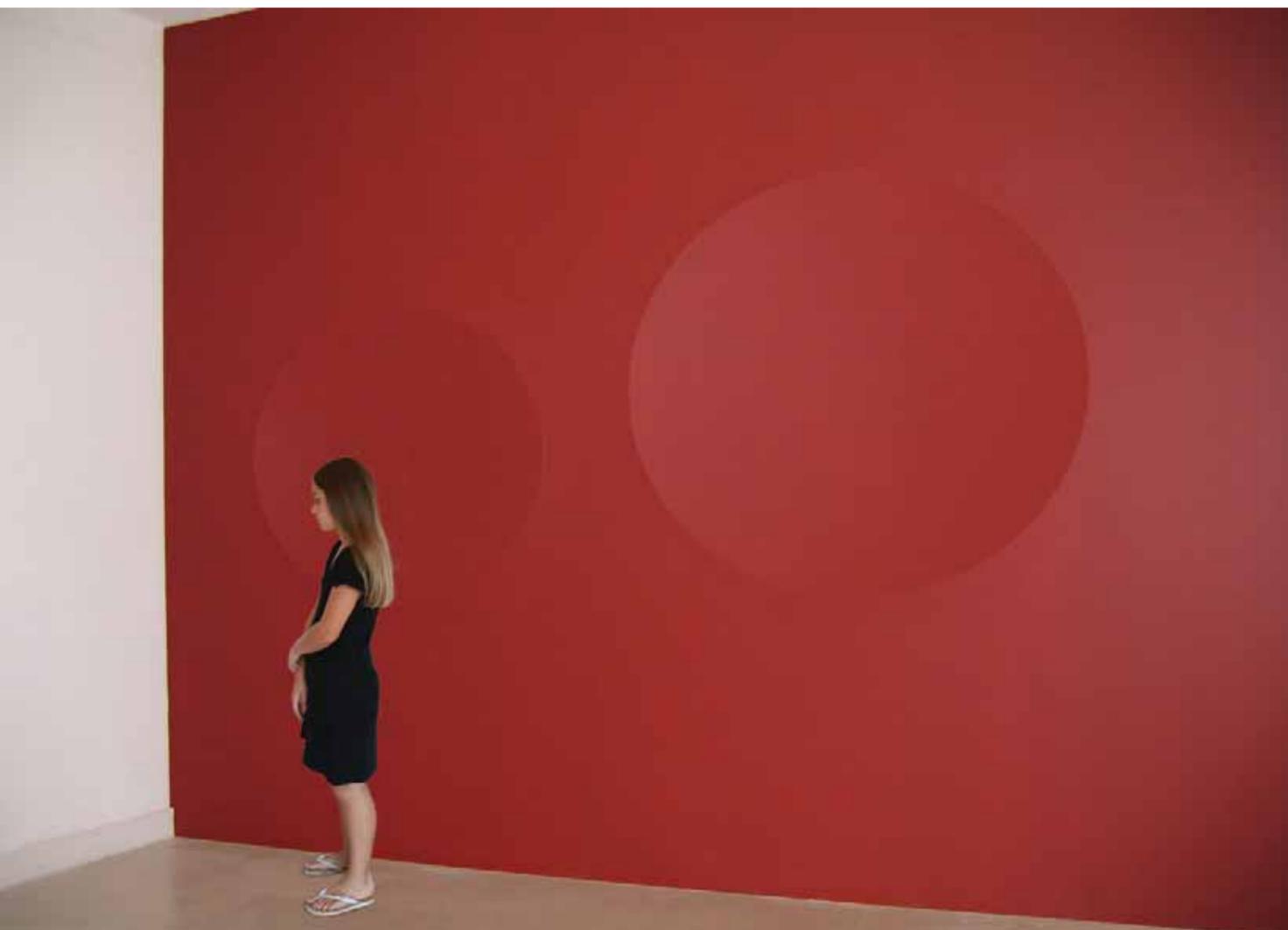


*Penroseove zvijezde 2 / Les étoiles de Penrose 2, 2014*  
Perforacija laserom na aluminijskoj ploči, 100 x 77 cm.  
Perforation laser sur plaque d' aluminium, 100 x 77 cm.



*Penroseove zvijezde 2 / Les étoiles de Penrose 2, 2014*  
Projekcije svjetla kroz aluminijsko sito, varijacije.  
Projections de lumière à travers le cache d'aluminium, variations.

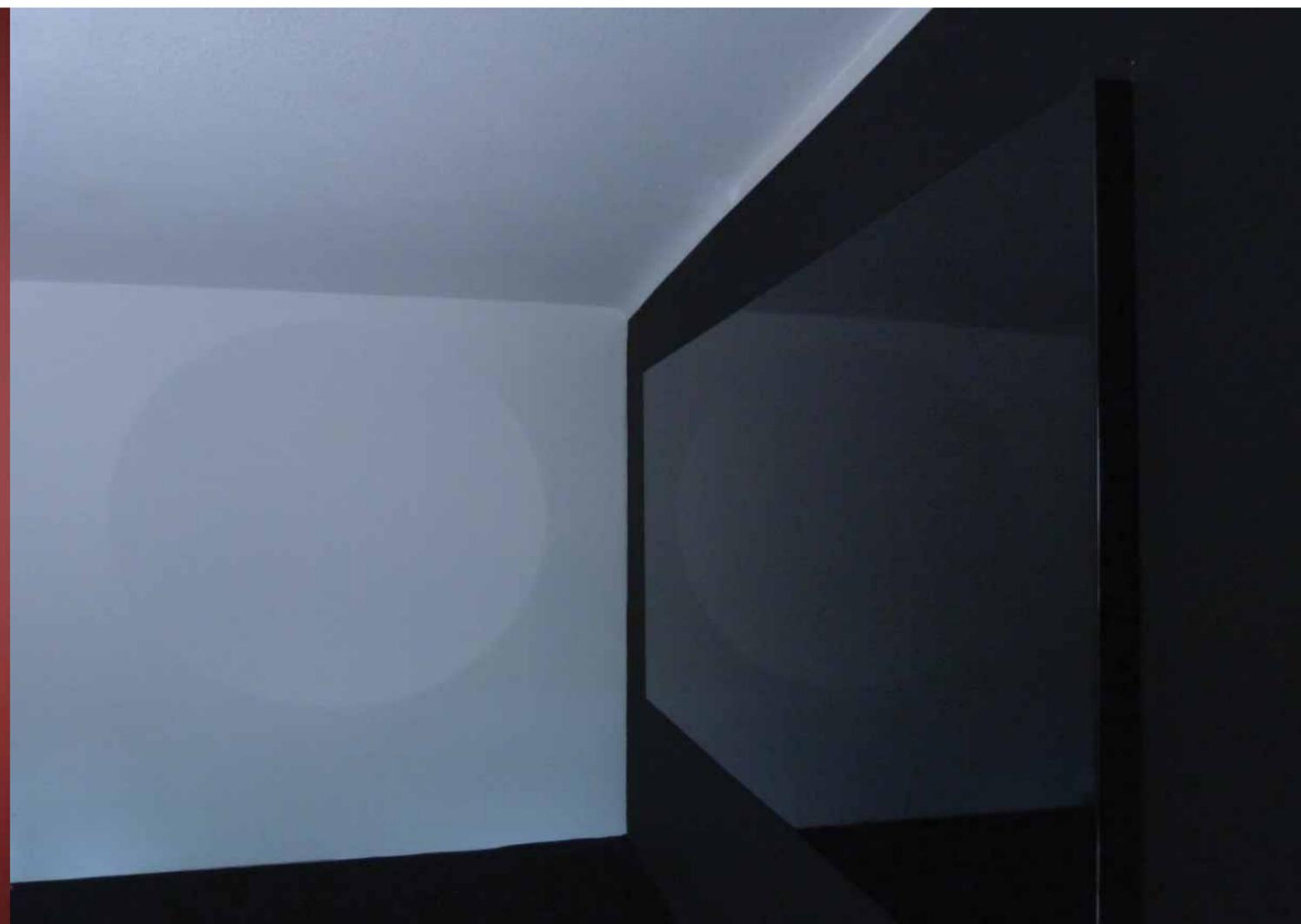
# ISABELLE SORDAGE



*Kutija za crtanje / Boite à dessin, 2010-2011*

Parabole i zid obojani su istom bojom stvarajući baršunastu atmosferu.  
Zvučni valovi odbijaju se od parabola i tvore crtež u prostoru.

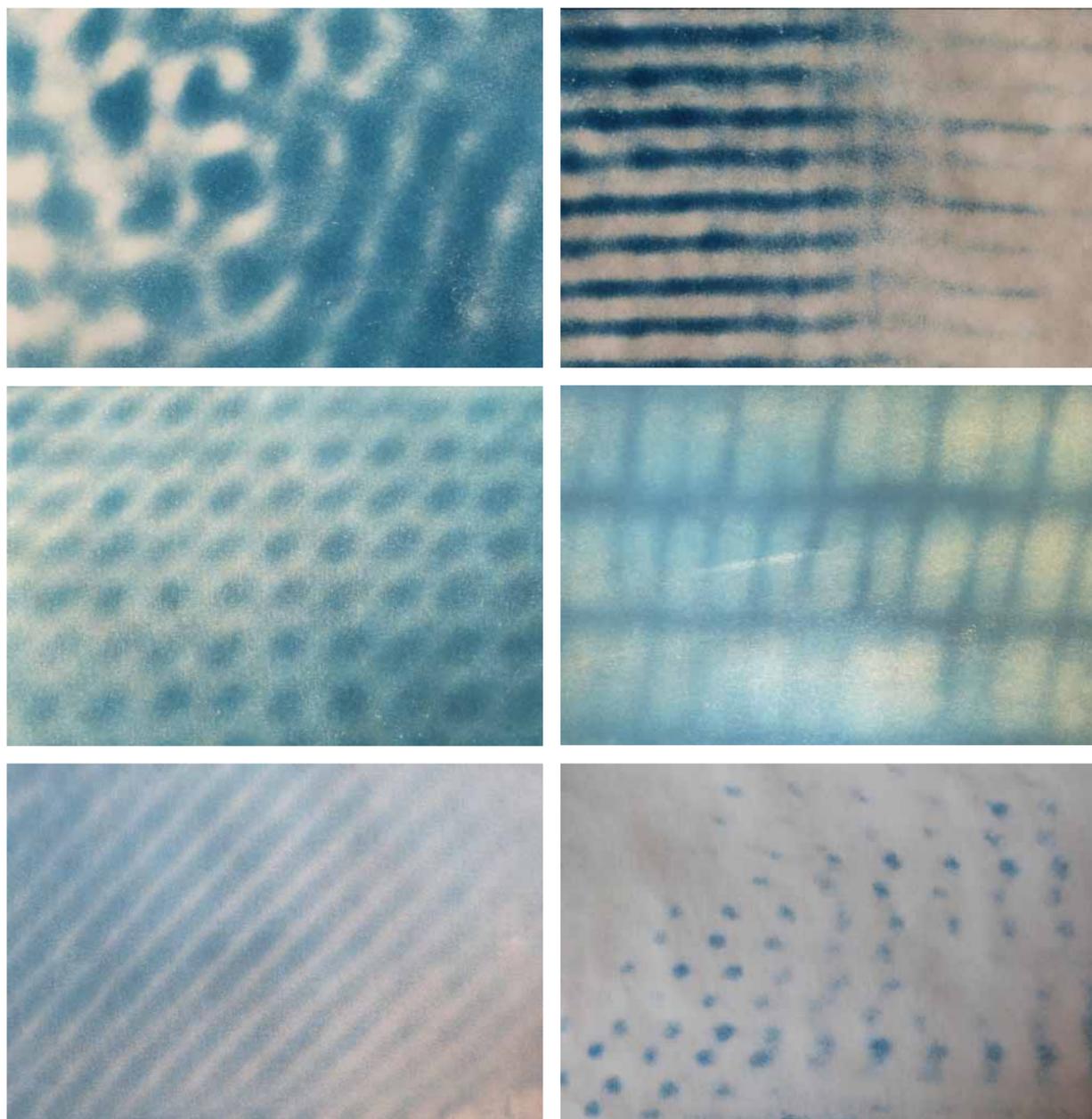
Les paraboles et le mur sont peints de la même couleur créant un environnement feutré.  
Les ondes sonores renvoyées par les paraboles créent un dessin sonore dans l'espace.



*Moduli: priča i parabola / Modules plaque et parabole, 2010-2011*

Probni moduli: parabola i metalna ploča Istraživanje odnosa između boje, vibracije i zvuka.

Modules d'essai: parabole et plaque métallique. Expérimentation des relations entre la couleur, la vibration et le son.



*Pokus 1 / Expérience 1, 2014*

Tragovi zvučnih frekvencija na papiru (otisak).

Traces de fréquences sonores sur le papier (empreinte).

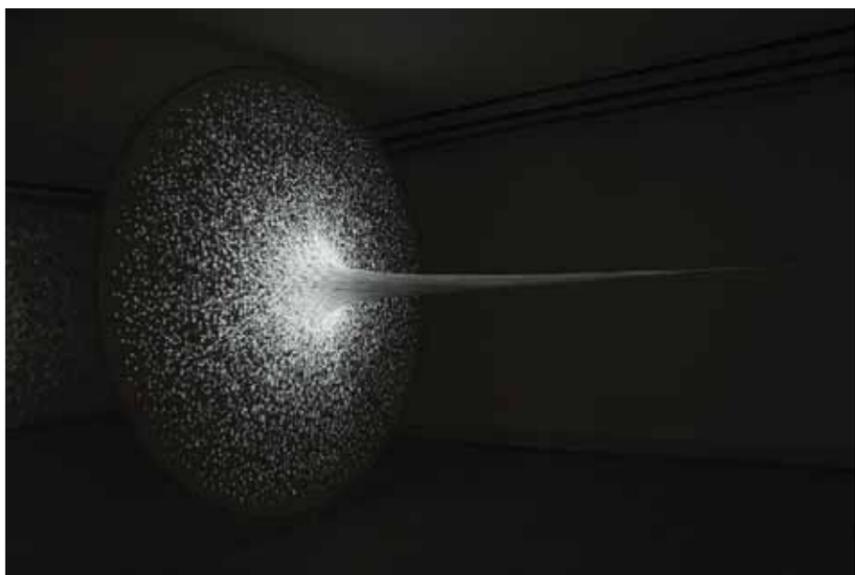
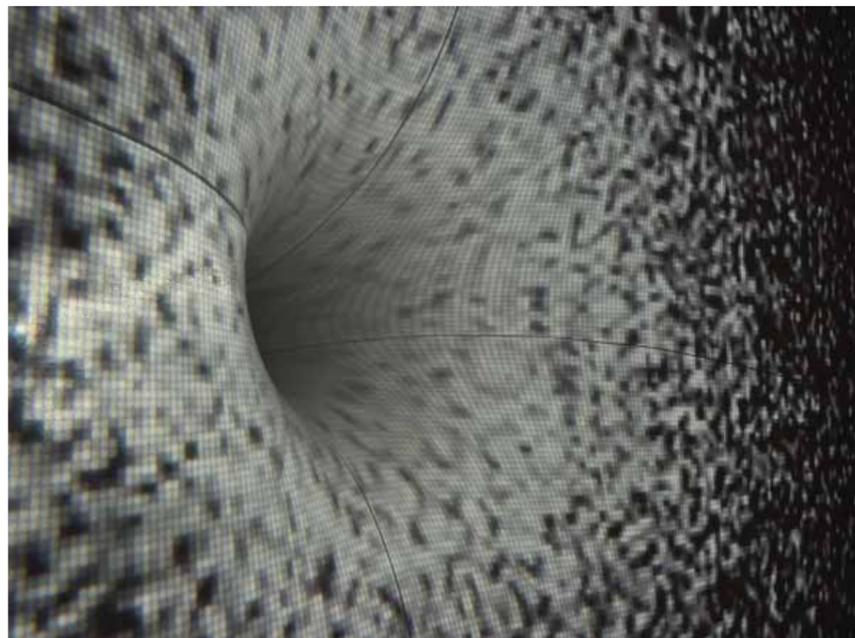


*Pokus 2 / Expérience 2, 2014*

Vibracije ljudskog glasa u tekućini (fotografija).

Vibrations de la voix humaine dans un liquide (photographie).

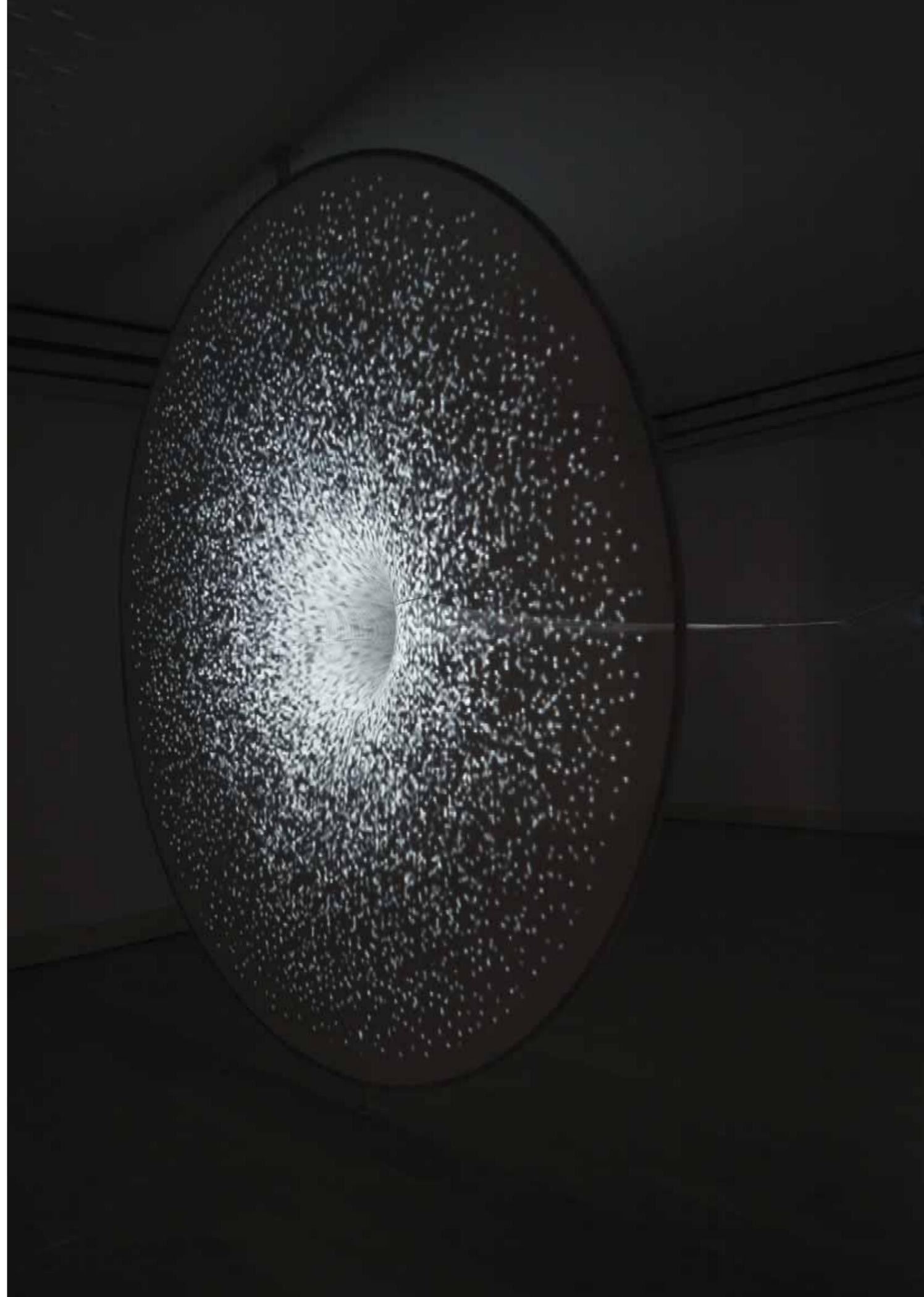
# MIRJANA VODOPIJA

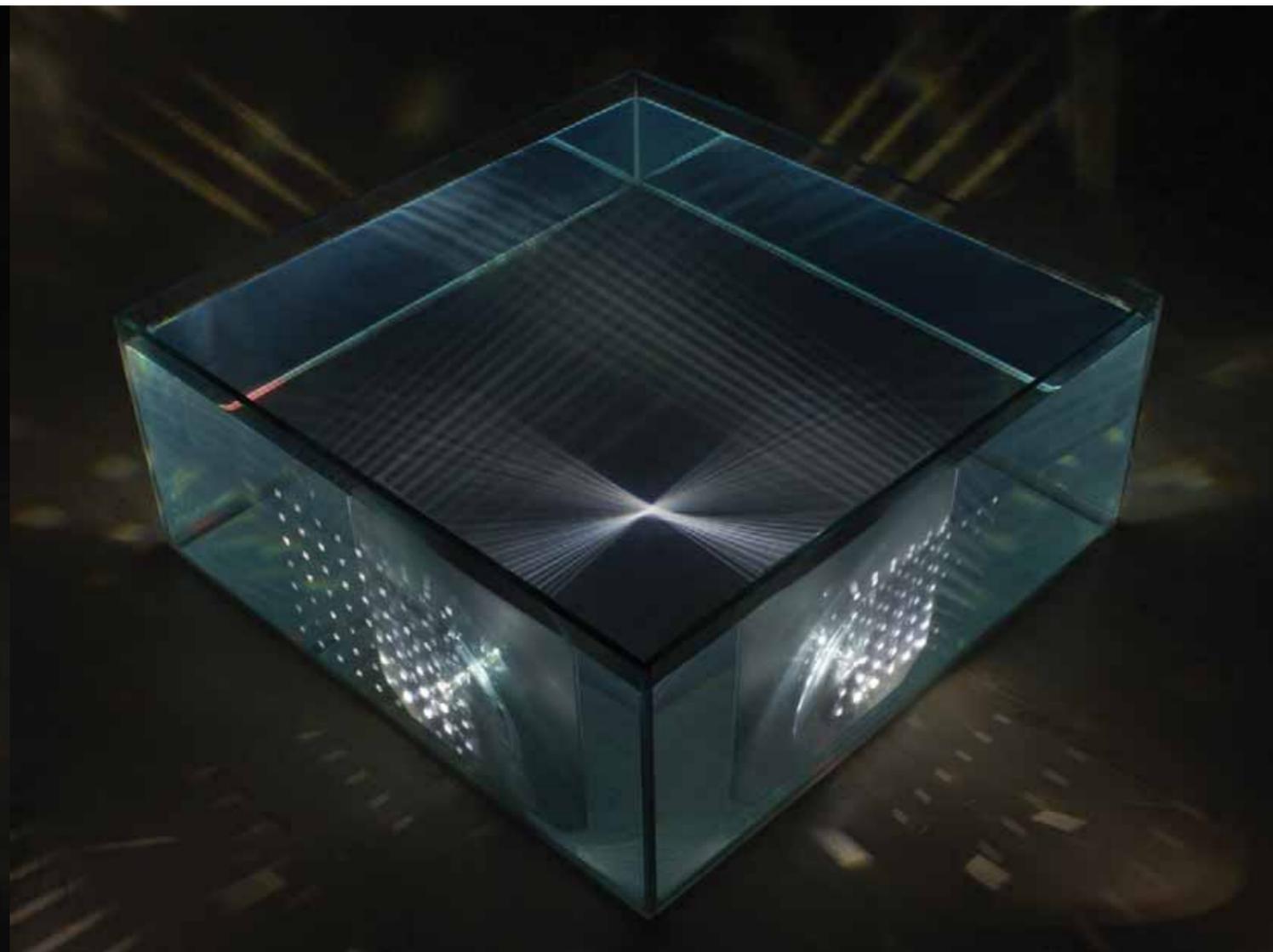
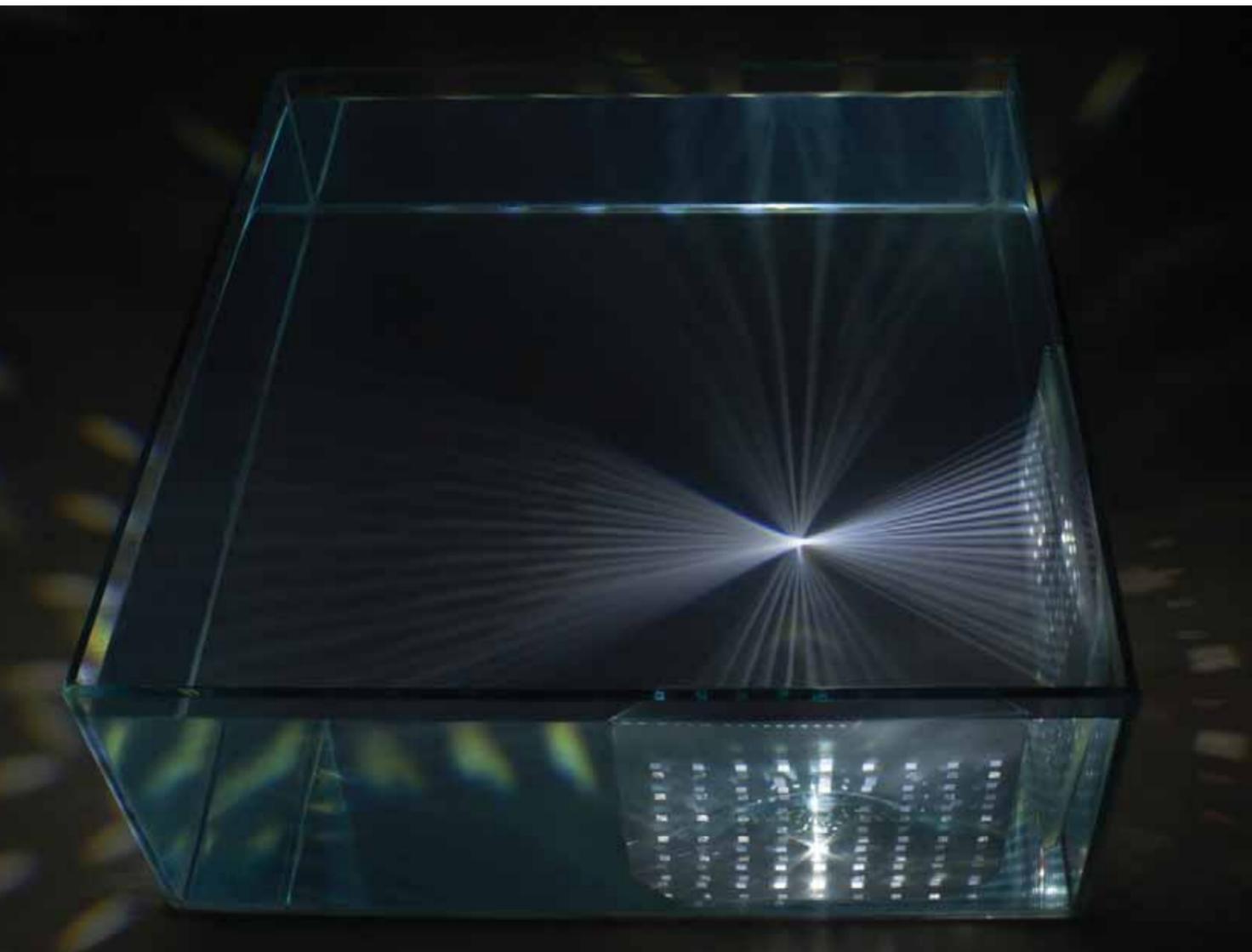


*Vortex*, 2014

Metalna konstrukcija, platno, uže, projekcija, 300 x 300 x 500 cm.  
Projekcijsko platno kružnog oblika kolabira u pravac usmjeren prema projektoru stvarajući vizualnu akceleraciju projicirane simulacije nasumičnog gibanja čestica.  
Video: Davor Horvatić

Construction métallique, toile, corde, projection 300 x 300 x 500 cm.  
Toile de projection en forme circulaire tirée en ligne droite dirigée vers le projecteur, produisant l'accélération visuelle d'une simulation de mouvement aléatoire des particules.  
Video: Davor Horvatić





*Uronjeno svjetlo / Lumière immergée, 2014*

Dvokanalna video projekcija kroz vodu.

Vidéo projection à travers l'eau.

**RAZGOVORI SA ZNANSTVENICIMA**  
**ENTRETIENS AVEC LES SCIENTIFIQUES**

## SUSRETI I RAZGOVORI IZMEĐU UMJETNIKA I ZNANSTVENIKA

Osnova susreta nalazi se u samim radovima prisutnih umjetnika. Ma koliko se način, pristup i estetika razlikovali između ovih osam umjetničkih opusa, svaki je na neki način povezan s pojedinim znanstvenim područjima i principima. Stoga su razgovori počeli tako da su umjetnici uputili znanstvenicima pitanja na koja nailaze u svome radu, bilo direktno ili indirektno, sa željom da prodube i rasvijetle teme koje ih u pripadnom znanstvenom području zanimaju. Postavljena su i općenitija pitanja o vizualnom prikazivanju nevidljivog, te o načinima zamišljanja i izmišljanja matematičkih i fizičkih struktura. Neki umjetnici odmah su usmjerili svoje dijaloge sa znanstvenicima prema eksperimentu. Tako je Isabelle Sordage uslijed razmjene s fizičarem Pierreom Coulletom izvela niz pokusa otiskivanja tragova zvuka na dvodimenzionalnoj podlozi. Mirjana Vodopija isprobavala je s fizičarem Davorom Horvatićem mogućnosti ostvarivanja oblika u dimu pomoću svjetlosnih projekcija. Jedan od njezinih radova na izložbi uključuje i projekciju stanovitog ponašanja čestica, vizualnu obradu kojeg je prema fizičkim zakonima predložio Davor.

Izložba radova u prostoru otvara drugu fazu ovih razgovora; pogled znanstvenika na likovna ostvarenja i materijalizacije, odnosno uzajamnost i mogućnost unakrsnog promatranja.

Sudjelovali su fizičari Jean-Marc Lévy-Leblond, Danko Bosanac, Pierre Couillet i Davor Horvatić, te matematičar Etienne Ghys. Na pojedina pitanja odgovorili su ili predložili razmišljanja i tekstove Jacques Mandelbrojt (fizičar i umjetnik), Erika Kramer (matematičarka), Annie Obadia (neuroznanstvenica) te Allain Glykos (filozof). U ovom katalogu njihovo je sudjelovanje naznačeno tek izabranim citatima, dok su duže razmjene predstavljene kroz nekoliko izabranih isječaka dijaloga. Ti skraćeni oblici upućuju na tematiku i vrstu uspostavljenih odnosa, zapravo otvaraju poglavlja koja će tek biti napisana.

## LES RENCONTRES ET LES CONVERSATIONS ENTRE LES ARTISTES ET LES SCIENTIFIQUES

La base des rencontres se trouve dans les travaux mêmes des artistes présents. Quelle que soit la différence, l'approche et l'esthétique entre ces huit œuvres, chacune est liée à sa manière avec certains territoires et principes scientifiques. C'est pourquoi les conversations commencent avec des questions directes ou indirectes que les artistes posent aux scientifiques, concernant les interrogations qu'ils rencontrent dans leur travail, avec le désir d'approfondir et d'éclairer les thèmes scientifiques qui les intriguent. D'autres questions plus générales portent sur la représentation de l'invisible, puis sur les manières d'imaginer et d'inventer des structures mathématiques et physiques. Certains artistes ont d'emblée préféré orienter leur dialogue vers l'expérimentation. Ainsi Isabelle Sordage réalise une série d'expériences d'empreinte du son dans le papier, grâce à ses échanges avec le physicien Pierre Couillet. Mirjana Vodopija explore avec Davor Horvatic les possibilités de réaliser les formes dans la fumée par des projections lumineuses. Un de ses travaux est construit sur la projection d'un certain comportement des particules, dont la préparation visuelle est réalisée par Davor Horvatić.

L'exposition des travaux dans l'espace ouvre la deuxième phase de ces conversations ; le regard des scientifiques sur les œuvres et matérialisations plastiques, c'est-à-dire la réciprocité et la possibilité d'une observation croisée.

Les physiciens Jean-Marc Lévy-Leblond, Danko Bosanac, Pierre Couillet et Davor Horvatic, ainsi que le mathématicien Etienne Ghys ont participé aux échanges. D'autres invités ont répondu aux questions particulières ou proposé des textes et réflexions ; Jacques Mandelbrojt (physicien et artiste), Erika Kramer (mathématicienne), Annie Obadia (neuroscientifique) et Allain Glykos (philosophe). Dans ce catalogue, leur participation n'est marquée que par des citations choisies, alors que les échanges plus longs sont présentés par des fragments des dialogues. Ces formes courtes annoncent la thématique et l'état des relations établies, et inaugurent les chapitres à venir.

## ZAMISLITI UNUTARNJE ZAKONE

Martina Kramer (umjetnica) - Jean-Marc Lévy-Leblond (fizičar)

Martina Kramer: U povijesti prikazivanja zakona fizike, koji su modeli unutarnje kohezije materije najtrajniji, najpostojaniji?

Jean-Marc Lévy-Leblond: Sve ovisi o tome što podrazumijevamo pod pojmom "materija" jer ovisno o tome na kojoj je razini promatramo, njezina kohezija nema iste korijene.

Naime, to je vjerojatno temeljna pouka protekla dva stoljeća: fizika može dati neki smisao pojmu materije samo u odnosu na sile - sile različite prirode - koje osiguravaju njezinu koheziju; ona ne može govoriti o materiji općenito, nego samo na specifičan način.

U tom smislu, "obična" materija od koje se sastoje predmeti na našoj razini (pa tako i naša tijela!) građena je od atoma čiju koheziju - kako unutarnju (veza elektrona s jezgrama), tako i vanjsku (atomi među sobom) - osiguravaju elektromagnetske sile. No materija od koje se sastoje same jezgre, koja je znatno gušća, drugačije je prirode, čine ju neutroni i protoni, i njezina kohezija proizlazi iz posebnih sila koje upravo i zovemo "nuklearne" sile. Na megaskopskoj, pak, razini sila gravitacije je ta koja osigurava koheziju planeta, zvijezda, galaksija itd.

MK: Kvantna teorija otvara jedan drugi "pogled" na dubinski sadržaj materije; kako biste opisali taj unutarnji "pejzaž"? Može li se govoriti o određenom obliku kvantnog prostora ili je li on poglavito bezobličan? Je li se danas, gotovo sto godina nakon pojave kvantne mehanike, naša predodžba o sadržaju materije znatno promijenila?

JMLL: Teško mi je odgovoriti vam tim rječnikom - "dubinski sadržaj" i "pejzaž". Dopustite mi da se poslužim jednom teatralnijom metaforom, gdje bih govorio o "pozornici" i "glumcima". Rekao bih da se "pozornica" u kvantnoj fizici - pod time mislim na prostor-vrijeme zamišljeno kao spremnik za različite fenomene - ne razlikuje mnogo od onoga što je u klasičnoj fizici; strukturom prostor-vremena (koje, dakle, nije "bezoblično") upravljaju veoma općeniti principi simetrije (poput izotropije i homogenosti prostora, homogenosti vremena itd.)... uz uvjet da ostavimo po strani još uvijek neriješen problem artikulacije između kvantne teorije i opće relativnosti.

Nasuprot tome, "akteri", odnosno fizički entiteti koji se nalaze na toj pozornici (i na njoj igraju različite spomenute predstave: atomsku, nuklearnu itd.) doživjeli su bitnu preobrazbu dolaskom kvantne teorije. Ondje gdje je klasična fizika poznala dva tipa radikalno različitih predmeta - korpuskule i valove (ili polja), kvantna fizika poznavala samo jedan - "kvantone", predmete novog tipa, koji nisu podložni našim općeraširenim intuitivnim predodžbama. Ta nova konceptualizacija materijalnih predmeta, koju je kvantna fizika uvela pred jedno stoljeće, ali koju se shvaćalo tek malo-pomalo, zasad još nije dovedena u pitanje.

MK: Možete li nam reći malo više o tome, ili u glavnim crtama opisati principe simetrije koji upravljaju strukturom prostor-vremena?

JMLL: Ono što je zajedničko glavnim principima "simetrije" ili "invarijantnosti" (fizičari danas ta dva termina upotrebljavaju gotovo kao sinonime, ali rad na povijesti te dvostruke terminologije svakako bi bio zanimljiv) - izuzmemo li lokalne incidente - to je ideja da su prostor i vrijeme "posvuda i uvijek isti".

Najjednostavniji je slučaj invarijantnosti u prostornoj translaciji: zakoni fizike isti su ovdje i drugdje! Drugim riječima, ako se pomaknem za milijardu kilometara, promatrat ću iste fenomene - pod uvjetom da sam u isto vrijeme translahirao sve što uvjetuje te fenomene. Naprimjer, kamenčić pomaknut za milijardu kilometara past će jednakom brzinom, AKO sam istovremeno pomaknuo Zemlju za tu istu udaljenost. Kažemo da je prostor homogen.

On je jednako tako izotropan: ima ista svojstva u svim smjerovima.

Što se vremena tiče, i ono je homogeno (zakoni koji upravljaju fizičkim fenomenima isti su danas kao i jučer i sutra).

Najmanje je očito posljednje svojstvo invarijantnosti. Naslutio ga je već i Galileo Galilei, a

postalo je temeljem teorija relativnosti (prvo newtonovske, potom einsteinovske): zakoni koji upravljaju fizičkim fenomenima ne mijenjaju se uslijed kretanja konstantnom brzinom (tzv. "inercijalno kretanje").

Najznačajnija posljedica tih svojstava jest to što dovode do "zakona očuvanja". Homogenost vremena tako podrazumijeva konstantnost osnovne fizikalne veličine - energije. Taj odnos između principa simetrije i zakona očuvanja, koji je danas jedan od kamena temeljaca konceptualizacije u fizici, formulirala je pred samo jedno stoljeće matematičarka Emmy Noether.

MK: Nije li predodžba "pozornice" događaja, kao homogenog i izotropnog, mirnog i posvuda istog prostora, u kontradikciji sa slikom svemira u ekspanziji? Toj se slici pridružuje ideja o tamnoj energiji koja djeluje u smjeru ekspanzije i o tamnoj tvari koja pridonosi gravitaciji.

Koji odnos možemo uspostaviti između principa simetrije i pokreta ekspanzije i gravitacije? Zar "tamni dio" tvari i energije ne kvira simetriju i pravilnost? Ta tama koja istovremeno ostaje nepoznata i veoma masivna u svemiru? Zar nema nikakvog utjecaja tih nepoznanica na principe koje opisujete?

JMLL: Moji prethodni iskazi vrijede za prostor (i vrijeme) na razinama nižim od kozmološke razine.

Promatramo li Univerzum u njegovoj cjelini, jasno je da nas njegov evolutivan karakter obvezuje da preispitamo ta pitanja. No još smo daleko od njihova razjašnjenja. Recimo to drugačije: ekspanzija Univerzuma i uloga eventualne "tamne tvari" i "tamne energije" (čije je postojanje tek vjerojatno, ali još neizvjesno: možda postoje druga objašnjenja za promatrane fenomene) nemaju nikakav lako uočljiv utjecaj na ono što se događa na našim razinama, kao niti na atomskim i subatomskim razinama.

MK: Kako bismo nastavili razgovor o unutarnjim strukturama materije, možemo li razmotriti pitanje imaginacije u fizici, imaginacije koja karakterizira fizičare. Prije nego što se počne koristiti svojim mikroskopima, teleskopima, pa i digitalnim simulatorima, fizičar mora biti sposoban zamisliti neku pretpostavku, hipotezu o tome što želi vidjeti ili dokučiti, razumjeti u stvarnome svijetu.

Kao uvod u svaku opservaciju, zapažanje, postoji dakle ta fikcionalna etapa i ona mi se čini vrlo bitnom u okviru našeg projekta!

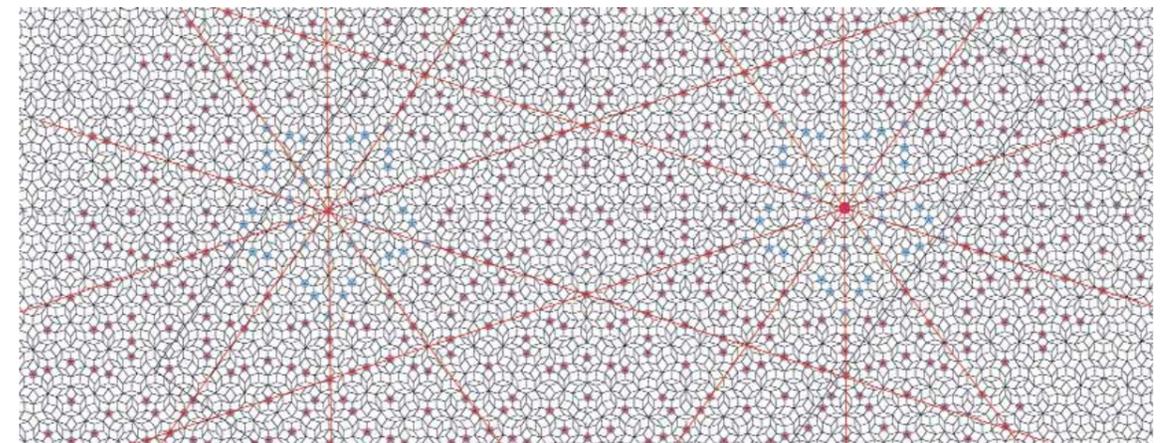
U Vašem tekstu "Hypotheses fingo" i sami to tvrdite:

"U svojoj aktivnosti istraživanja znanost je mnogo više imaginativna nego deduktivna, i fikcija u njoj igra veliku ulogu."

Zadivljujuće je da ljudski duh svoje fiktivne crteže uspijeva potvrditi u samoj materiji.

Fizika piše romane, a kozmička ili subatomska ponašanja s vremena na vrijeme odgovaraju i potvrđuju tu fikciju, ta predviđanja.

Naravno, pisanje "romana" najprije zahtijeva dugotrajno promatranje na različitim razinama



Crtanje po Penroseovom popločenju / Dessin sur le pavage de Penrose (skica / esquisse : Darko Kramer)

supstancije koja se promatra, ali svejedno: fikcija je ponekad vrlo smiona, ide jako daleko, graniči čak s delirijem, te ipak često nailazi na materijalne dokaze.

Jesu li takve projekcije moguće i zbog naše zajedničke atomske prirode? I može li materija koja misli upravo zbog zajedničke atomske prirode proniknuti inertnu materiju i prikazati je crtežom?

U slučaju kvantnog predočavanja, fizičar u svojoj imaginaciji mora ići veoma daleko, puno dalje od rasuđivanja temeljenog na osjetilnoj spoznaji; mora težiti apstrahiranju, a ne figuraciji, zar ne?

JMLL: U Vašem pitanju jedan je izraz vrlo točan i od esencijalne važnosti: "...s vremena na vrijeme...".

Doista, iskustvo opovrgava većinu fikcija koje gradimo ne bismo li objasnili realnost i predvidjeli njezino ponašanje. Kao što je napisao veliki biolog Thomas Huxley (Darwinov prijatelj): "velika tragedija znanosti jest ubojstvo veličanstvenih teorija bijednim činjenicama".

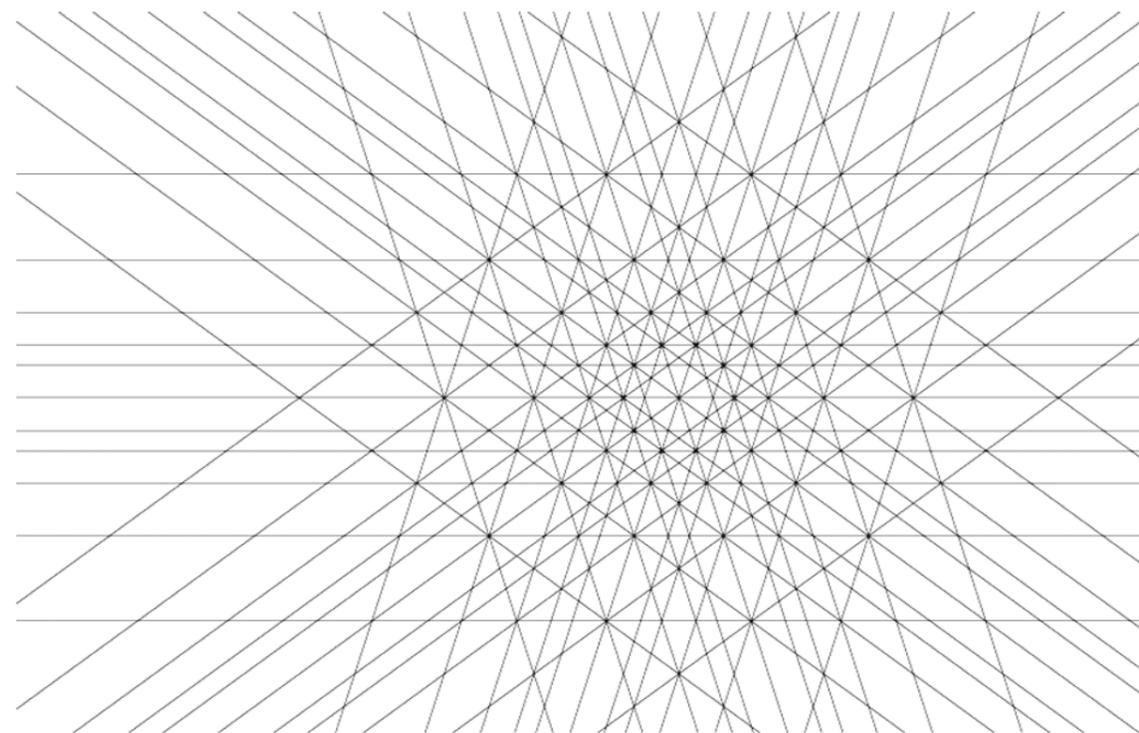
Ne, naša mašta ne nailazi tako "često" na materijalne dokaze. Temeljna značajka znanstvenog rada upravo je u tome da uvijek iznova provjeravamo svoje hipoteze te ih modificiramo sve dok ne pruže određen opis stvarnosti – ili sve dok ne ustanovimo da treba potpuno odustati od njih. Znanstvenog istraživača možemo usporediti s tragačem za zlatom: kroz njegove ruke proći će pozamašne količine nezanimljive, bezvrijedne materije prije nego u njoj pronade grumen zlata.

Što se tiče razloga koji bi objasnio sposobnost ljudskoga duha da (teško i djelomično) dokuči i razumije prirodu materije, vjerujem da je on u velikoj mjeri neovisan o našoj vlastitoj materijalnoj konstituciji, u svakom slučaju kad se radi o fenomenima na infraljudskim ili supraljudskim razinama. Istina, zahvaljujući svojim osjetilima naše tijelo sposobno je za empirijsko poimanje jednog dijela fenomena na našoj razini, mnogo prije nego što bi se moglo govoriti o znanosti u pravom smislu – što objašnjava vrlo rani razvoj inženjerstva. No pravo znanstveno razumijevanje javlja se tek onda kad se koncept odvoji od neposrednog poimanja svijeta; upravo to se događa za znanstvene revolucije s početka 17. stoljeća kad su Galilej i njegovi suvremenici skovali pojmove koji su bili ne samo različiti, nego ponekad i suprotni spontanim intuicijama – kao što je to bio slučaj, npr., s principom inercije.

Da, fizičar mora "u svojoj imaginaciji ići veoma daleko od rasuđivanja temeljenog na osjetilnoj spoznaji" i "težiti apstrahiranju, a ne figuraciji" – osim što može postojati i figuracija drugog stupnja, usudio bih se reći. Ovdje mislim na činjenicu da dovoljno dugo – istovremeno kolektivno i individualno – prakticiranje određenih apstraktnih ideja na kraju dovodi do njihovog konkretiziranja. To vrijedi za ljudski duh općenito, ne samo u znanosti: teorijska poteškoća naših predaka da Zemlju zamisle okruglom (kako to da stanovnici suprotnih polova ne padnu?) danas je itekako prevladana i integrirana u naše opće, banalne predodžbe. Slično – barem djelomice – vrijedi za kvantne koncepte koje fizičari konačno, nakon gotovo jednog stoljeća, počinju interiorizirati, dublje usvajati. No pritom ostaje temeljna poteškoća: je li te predodžbe koje su postale intuitivne za specijaliste moguće podijeliti s neupućenima, nestručnjacima koji nemaju pristup istim praksama kao i specijalisti?

MK: Pokušajmo općim riječima prići nekom specifičnom fenomenu: intrigira me, na primjer, pojam kvantnog sprezanja. Ako sam dobro shvatila, ta se pojava sastoji u tome da dvije čestice mogu biti spregnute, na način da se između njih uspostavlja određena veza, tako da će se interakcija među njima nastaviti čak i ako ih odvojimo za više desetaka kilometara (ili još i više?), te će čestice čak i na daljinu imati tu "povlaštenu" konekciju... Je li to barem približno tako ili se varam? Ako jest, o kojoj se sili radi – elektromagnetskoj? I kako to da sve ono što se događa između odvojenih čestica ne kviri, ne narušava njihovu vezu?

JMLL: Još jednom ću ponoviti: uslijed toga što se fizičari koriste riječima koje pripadaju i običnom jeziku – u ovom slučaju govorim o "sprezanju" – često zna doći do nesporazumâ. Ono što smo prije mode termina "sprezanje" (intrication na fr., entanglement na engl., op. prev.) dugo zvali kvantna "neodvojivost" – jest nemogućnost da bilo koji sustav sastavljen od dvije čestice smatramo "složenim" u uobičajenom smislu riječi, nemogućnost da opisom stanja svake čestice definiramo stanje njihove cjeline. Ne radi se, dakle, o interakciji (elektro-



Crtaje po Penroseovom popločenju / Dessin sur le pavage de Penrose (skica / esquisse : Darko Kramer)

magnetskoj ili nekoj drugoj) koja bi trajala između dvije čestice unatoč njihovoj razdvojenosti, nego o intrinzičnoj korelaciji ili "konekciji" (taj mi termin odgovara) za koju u klasičnoj fizici ne postoji ekvivalentan pa ni analogan pojam.

Naravno, mogli bismo upotrijebiti metafore – na primjer prijenos misli ili naprosto ljubav, koja dvije odvojene osobe pretvara u jedno jedino biće – ali to su tek poetske slike koje ništa ne objašnjavaju i ne otkrivaju apsolutno ništa o konceptualnim specifičnostima kvantnog sprezanja. Naime, ta je konekcija krhka i u većini situacija doista je kvare svi fenomeni koji se javljaju paralelno tome kako se čestice udaljuju (u prostoru). Evo zašto se to specifično kvantno svojstvo materije ne manifestira u velikim razmjerima, što ujedno objašnjava činjenicu da je klasična fizika tu (aproksimativno) valjana. Potrebni su, dakle, vrlo pomno kontrolirani uvjeti, koji će omogućiti strogo izoliranje kvantnog sustava, kako bismo vidjeli manifestiranje tog sprezanja.

Jedan od dosega posljednjih desetljeća bio je ostvarenje takvih uvjeta na sve većim udaljenostima, otvarajući time vrata tehnološkim primjenama kvantne telekomunikacije, koje su trenutno u punome razvoju.

## IMAGINER LES LOIS INTÉRIEURES

Martina Kramer (artiste) - Jean-Marc Lévy-Leblond (physicien)

Martina Kramer : Dans l'histoire des représentations des lois physiques, quels seraient les modèles les plus tenaces et durables pour décrire une cohésion intérieure de la matière?

Jean-Marc Lévy-Leblond : Tout dépend de ce qu'on entend par "la matière", car suivant l'échelle à laquelle on la considère, sa cohésion n'a pas la même origine.

Car telle est sans doute la leçon la plus fondamentale des deux derniers siècles : la physique ne peut donner sens à la notion de matière que par rapport aux forces, de diverses natures, qui en assurent la cohésion ; elle ne peut parler de matière en général, mais seulement de façon spécifique.

Ainsi, la matière "ordinaire" qui constitue les objets à notre échelle (et nos corps !) est-elle faite d'atomes dont la cohésion interne (la liaison des électrons avec les noyaux) et externe (les atomes entre eux) est assurée par les forces électromagnétiques. Mais la matière constitutive des noyaux eux-mêmes, considérablement plus dense, est d'une autre nature, faite de neutrons et protons, et sa cohésion est due à des forces particulières, dites justement "nucléaires". Du côté mégascopique, c'est la force de gravitation qui assure la cohésion des planètes, étoiles, galaxies, etc.

MK : La théorie quantique ouvre une autre "vue" sur le fond profond de la matière : comment décririez-vous ce "paysage" intérieur ? Peut-on parler d'une forme de l'étendue quantique ou est-elle essentiellement informe ? Aujourd'hui, presque cent ans après l'avènement de la mécanique quantique, la représentation du fond de la matière a-t-elle significativement changé?

JMLL : J'ai du mal à vous répondre en termes de "fond" et de "paysage". Permettez-moi d'utiliser une métaphore plus théâtrale, en parlant de "scène" et d'"acteurs". Je dirais alors que la "scène" en physique quantique - j'entends par là l'espace-temps conçu comme le contenant des phénomènes - n'est guère différente de ce qu'elle est en physique classique : sa structure (il n'est certes pas "informe") est régie par des principes de symétrie très généraux (isotropie et homogénéité de l'espace, homogénéité du temps, etc.) ... à condition de laisser de côté le problème encore irrésolu de l'articulation entre théorie quantique et relativité générale.

En revanche, les "acteurs", à savoir les entités physiques qui occupent cette scène (et y jouent les différents spectacles évoqués : atomique, nucléaire, etc.), ont fait l'objet de la transformation essentielle apportée par la théorie quantique. Là où la physique classique connaissait deux types radicalement différents d'objets, les corpuscules et les ondes (ou champs), la physique quantique n'en connaît qu'un, les "quants", objets d'un type nouveau, qui ne se plient pas à nos représentations intuitives communes. Cette nouvelle conceptualisation des objets matériels, introduite par la physique quantique il y a un siècle, mais qui ne fut comprise que peu à peu, n'a pas pour l'instant subi de bouleversement.

MK : Pouvez-vous nous en dire plus, ou décrire dans les grandes lignes, ces principes de symétrie qui régissent la structure de l'espace-temps ?

JMLL : Les grands principes de "symétrie" ou d'"invariance" (les physiciens utilisent aujourd'hui les deux termes de façon quasiment synonymique, mais un travail sur l'histoire de cette double terminologie serait intéressant) ont en commun l'idée que, abstraction faite d'accidents locaux, l'espace et le temps sont "partout et toujours pareils".

Le cas le plus simple est celui de l'invariance par translation spatiale : les lois physiques sont les mêmes ici et ailleurs ! Autrement dit, si je me déplace d'un milliard de kilomètres, j'observerai les mêmes phénomènes — à la condition de translater en même temps tout ce qui conditionne ces phénomènes. Par exemple, un caillou déplacé d'un milliard de kilomètres tombera avec la même vitesse, Si j'ai déplacé en même temps la Terre de la même distance. On dit que l'espace est homogène.

Il est également isotrope : il a les mêmes propriétés dans toutes les directions.

Quant au temps, il est homogène aussi (les lois gouvernant les phénomènes physiques sont les mêmes aujourd'hui qu'hier et que demain).

C'est la dernière propriété d'invariance qui est la moins évidente et qui, entrevue par Galilée, constitue le fondement des théories de la relativité (newtonienne puis einsteinienne) : les lois gouvernant les phénomènes physiques ne sont pas modifiées par un déplacement à vitesse constante (dit "mouvement inertiel").

La conséquence la plus remarquable de ces propriétés est qu'elles entraînent des "lois de conservation". Ainsi l'homogénéité du temps implique la constance d'une grandeur physique essentielle, l'énergie. Cette relation entre principes de symétrie et lois de conservation, aujourd'hui l'une des pierres angulaires de la conceptualisation physicienne, n'a été formulée qu'il y a environ un siècle par la mathématicienne Emmy Noether.

MK : Imaginant l'espace, la "scène" des événements, comme quelque chose d'homogène et d'isotrope, calme et égal partout, je trouve contradictoire l'image d'un espace en expansion. A cette image s'associe l'idée d'une énergie noire qui agit dans le sens de l'expansion et d'une

matière noire qui contribue à la gravitation.

Quelle relation peut-on établir entre les principes de symétrie et les mouvements d'expansion et de gravitation ? Le "noir" de la matière et de l'énergie ne brouille-t-il pas la symétrie et la régularité ? Ce noir qui reste à la fois inconnu et très massif dans l'espace ? N'y-a-t-il aucune influence de ces inconnus sur les principes que vous décrivez ?

JMLL : Mes énoncés précédents valent pour l'espace (et le temps) aux échelles inférieures à l'échelle cosmologique.

Si l'on considère l'Univers dans son ensemble, il semble bien que son caractère évolutif oblige à reconsidérer ces ques-

tions. Mais elles sont loin d'être élucidées. Pour le dire autrement, l'expansion de l'Univers et le rôle des éventuelles "matière sombre" et "énergie sombre" (dont l'existence même est plausible mais pas certaine - il y a peut-être d'autres explications pour les phénomènes observés) n'ont aucune influence détectable sur ce qui se passe à nos échelles, ni aux échelles atomiques et subatomiques.

MK : Pour continuer notre conversation sur des structures internes de la matière, je voudrais aborder la question de l'imaginaire de la physique, des physiciens. Avant même d'utiliser ses microscopes, ses télescopes ou même ses simulateurs numériques, le physicien doit faire preuve d'une capacité de concevoir une présupposition, une hypothèse sur ce qu'il souhaite voir ou saisir dans le monde réel. Comme préambule de toute observation, cette étape fictionnelle m'a l'air essentielle, y compris dans le cadre de notre projet !

Dans votre texte « Hypothèses fingo », vous l'affirmez aussi : « La science, dans son activité de recherche, est bien plus imaginative que déductive, et la fiction y joue un rôle majeur. »

Ce qui est remarquable, c'est que l'esprit humain arrive à faire éprouver ses dessins fictifs par la matière.

La physique se fait un roman, et voilà que les comportements cosmiques ou subatomiques



X-zrake kroz kvazi kristal / les rayons x à travers les quasi cristaux

répondent et confirment de temps en temps cette fiction, ces prévisions. Bien sûr, l'écriture du « roman » demande au préalable une longue observation à différentes échelles de la substance observée, mais tout de même : quelquefois la fiction est très osée, même délirante, et pourtant elle rencontre souvent les preuves matérielles. Est-ce à cause de notre commune nature atomique que de telles projections sont possibles ? Et que la matière qui pense puisse dessiner et pénétrer la matière inerte ? Dans le cas de la représentation quantique, le physicien doit pousser son imaginaire très loin de l'entendement sensible ; il doit s'efforcer d'abstraire plutôt que de figurer, n'est-ce pas ?

JMLL : Il y a dans votre question une expression très juste et essentielle : « ...de temps en temps... ».

En effet, la plupart des fictions que nous construisons pour rendre compte du réel et prévoir son comportement sont démenties par l'expérience. Comme l'a écrit le grand biologiste Thomas Huxley (ami de Darwin) : « la grande tragédie de la science, c'est l'assassinat d'une splendide théorie par un misérable fait. »

Non, notre imagination ne rencontre pas si "souvent" des "preuves matérielles". C'est même l'essentiel du travail scientifique que de reprendre encore et encore ses hypothèses et de les modifier jusqu'à ce qu'elles rendent compte du réel — ou qu'il faille complètement les abandonner. Comme le chercheur d'or, le chercheur de science doit manipuler des masses considérables de matière sans intérêt avant d'y trouver une gemme.

Quant à la raison de la capacité de l'esprit humain à saisir (difficilement et partiellement) la nature de la matière, je la crois largement indépendante de notre propre constitution matérielle, en tout cas lorsqu'il s'agit de phénomènes à des échelles infra- ou supra-humaines. Certes notre corps et ses sens lui permettent une intellection empirique d'une partie des phénomènes à notre échelle, bien avant qu'il s'agisse de science proprement dite, d'où le développement d'un génie technique très ancien. Mais il n'y a de compréhension scientifique proprement dite que lorsque le concept échappe à cette appréhension immédiate du monde : c'est exactement ce qui se passe avec la Révolution scientifique du début du XVII<sup>e</sup> siècle lorsque Galilée et ses contemporains forgent des notions non seulement différentes, mais parfois opposées aux intuitions spontanées — comme le principe d'inertie par exemple.

Oui, le physicien doit « pousser son imaginaire très loin de l'entendement sensible » et « abstraire plutôt que figurer » — sauf qu'il peut y avoir de la figuration de deuxième degré, si j'ose dire. Je veux dire par là qu'une pratique à la fois collective et individuelle assez longue de certaines idées abstraites finit par les rendre concrètes. Cela est vrai de l'esprit humain en général, bien au-delà de la science : la difficulté théorique qu'avaient nos ancêtres à imaginer la Terre ronde (comment font les habitants des antipodes pour ne pas tomber ?) est aujourd'hui largement dépassée et intégrée dans nos représentations banales. Il en va, partiellement au moins, de même pour les concepts quantiques qui, après bientôt un siècle, commencent à être intériorisés par les physiciens. Reste la difficulté essentielle : est-il possible de partager ces représentations devenues intuitives pour les spécialistes avec les profanes qui n'ont pas accès aux mêmes pratiques ?

MK : Essayons alors de partager une représentation d'un phénomène spécifique ; pourriez-vous nous éclairer par exemple la notion de l'intrication ? Ce que j'ai cru comprendre, c'est que deux particules pouvaient être intriquées, de sorte qu'un lien s'établit entre elles, et même si on les sépare de plusieurs dizaines de km (ou plus?) elles continueront à interagir et avoir même à distance cette connexion "privilégiée"... Est-ce quelque chose comme ça ou est-ce que je me trompe? Si oui, de quelle force s'agit-il - électromagnétique? Et comment tout ce qui se passe entre les particules séparées ne brouille-t-il pas leur liaison?

JMLL : Une fois de plus, l'usage par les physiciens de mots appartenant à la langue ordinaire, en l'occurrence "intrication", est porteur de malentendus.

Ce dont il est question ici, et qu'avant la vogue du terme "intrication" on a longtemps appelé "non-séparabilité" quantique, est l'impossibilité de considérer en général un système constitué

de deux particules, comme "composé" au sens habituel du terme, où l'on pourrait décrire séparément l'état de chaque particule pour caractériser celui de leur ensemble. Il ne s'agit donc pas d'une interaction (électromagnétique ou autre) qui persisterait entre les deux particules malgré leur séparation, mais d'une corrélation, ou "connexion" (le terme me convient), intrinsèque, sans équivalent ni même analogue dans le domaine de la physique classique.

On pourrait évidemment invoquer des métaphores telles que la transmission de pensée ou tout simplement l'amour qui fait de deux personnes séparées un être unique — mais ce ne sont là que des images poétiques qui n'expliquent rien et ne rendent nullement compte des spécificités conceptuelles de l'intrication quantique.

Cette connexion, de fait, est fragile et, dans la plupart des situations, est effectivement brouillée par tous les phénomènes intervenants au fur et à mesure que les particules s'éloignent (spatialement). C'est bien pourquoi cette propriété spécifiquement quantique de la matière ne se manifeste guère à grande échelle, ce qui explique que la physique classique y soit (approximativement) valide. Il faut donc des conditions contrôlées très soigneusement, permettant l'isolation rigoureuse du système quantique, pour voir se manifester cette intrication.

C'est un des acquis de ces dernières décennies que d'avoir réussi à réaliser de telles conditions sur des distances de plus en plus grandes, ouvrant la porte à des applications technologiques de télécommunication quantique actuellement en plein développement.

## GEOMETRIJA ZVUKA

Isabelle Sordage (umjetnica) - Pierre Couillet (fizičar)

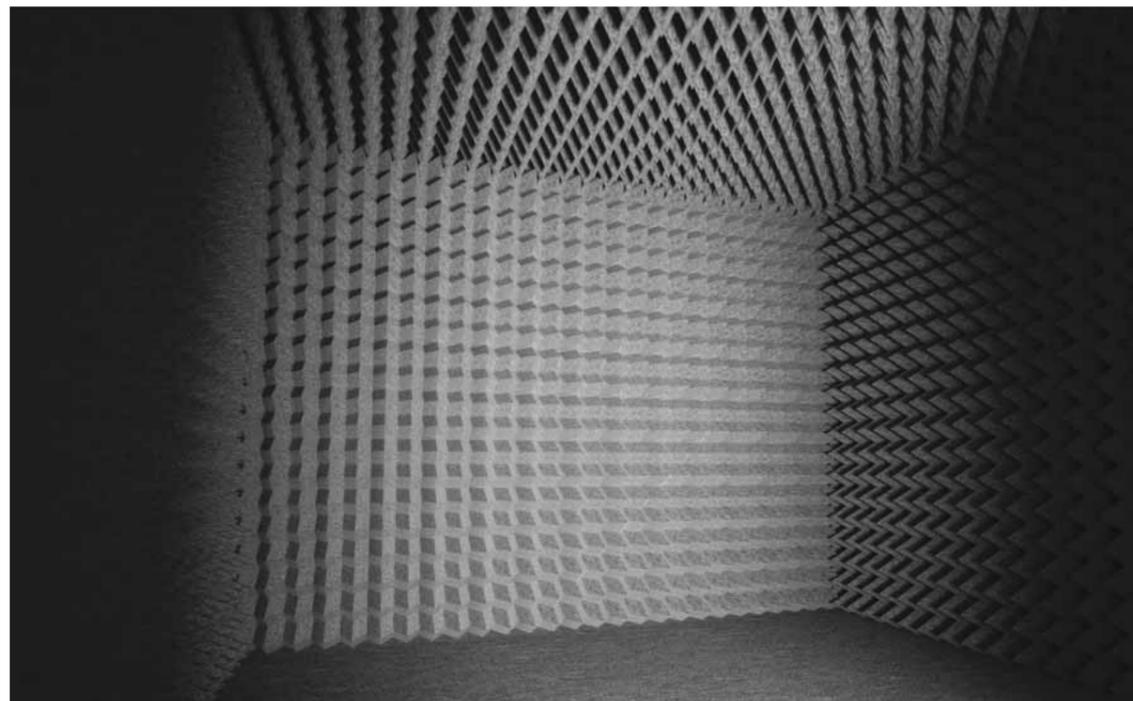
Isabelle Sordage: Znatiželja me navela da počnem zamišljati kako bi mogao izgledati rad ostvaren u suradnji s nekim znanstvenikom, kako bi bilo osmisliti i ostvariti s njime neko djelo. Nekoliko mi pitanja pada na pamet: Što je prostor? Možemo li čuti oblik? Možemo li čuti kružnicu? Naprimjer, kad slušam magnetosfere, ili tibetansku pjevajuću zdjelu, intuitivno te zvukove uspoređujem s kružnim oblicima. De facto, ti zvukovi odgovaraju kružnim gibanjima. Za mene je to zvučna geometrija. Isto tako neke druge zvukove možemo usporediti s drugim specifičnim oblicima. Zvučni jezik ispunjen je začudo raznim oblicima. Željela bih razumjeti te zvučne geometrijske pejzaže i raditi na njima. Može li se govoriti o geometriji zvuka?

Pierre Couillet: Što je to prostor? Što je geometrija? Što je svijet bez zvuka ili svijet bez slike? Geometrija, to je jezik koji mi omogućuje da opišem prostor. Ovdje, naravno, govorim o jednom području koje ne odgovara u potpunosti domeni mojih kompetencija: ja sam fizičar, vrlo blizak matematičar, ali nisam matematičar. Neki matematičari misle da je taj jezik oduvijek bio tu, kao urođen, unaprijed usađen u ljudskom mozgu: kružnica, pravac, Euklidovi postulati itd. To su platonisti. Zatim su tu ostali, oni bliži realnome svijetu, koji nude jednostavniju interpretaciju: u prirodi postoje elementi, postoji prostor, vidim mnoga prostranstva i imam potrebu opisati ih. A da bismo to učinili, postoje dva načina postupanja: moguće je crtati ih ili, pak, koristiti se nekim univerzalnim jezikom da bismo ih opisali. To je jezik matematike. Postoji, dakle, jedna zajednička stvarnost: zvuk, svjetlost, gibanje itd., opisani tim univerzalnim jezikom, i svi govore tim istim jezikom.

Kako je to počelo? Ne znam, možda s geometrijom ravnine.

Općenito, čovjek primarno istražuje plosnatost (ravnost). Vjerojatno je jednom postojalo razdoblje u kojem je arhitektura omogućila istraživanje treće dimenzije, i danas šaljemo strojeve u svemir, silazimo ispod Zemlje itd. Više se ne govori samo o površini, nego o volumenu, tako da mi je potreban jedan jezik kojim bih opisao sve te stvari: geometrija je taj jezik.

Uzmimo prostor, on je tu, postoji način na koji ga vidim, ali da bih ga shvatio, treba ga početi čistiti od svega. Praznimo ga. (...) za početak zamislimo dva vertikalna i jedan kosi zid. Taj okvir već razbija simetriju. Zidovi me sprečavaju da se krećem izvan njih. Dakle, razbijam osnovnu ideju o invarijantnosti.



Monokromni prostor / Espace monochrome, I. Sordage, 1994

Zvuk dovodi do loma simetrije koji se širi, dvije simetrije su razbijene, simetrija vremena i simetrija prostora. Ako vremenska simetrija nije razbijena, zvuka nema. Kad govorim, luđački razbijam vremensku simetriju. U suštini, elementarno kidanje simetrije je harmonijski val, harmonijska oscilacija određene frekvencije.

IS: Može li se uspostaviti veza između zvuka i geometrije, je li moguće zamisliti vizualiziranje zvuka? Znalo mi se dogoditi da imam vrlo precizan doživljaj, da na primjer vizualiziram prostore posve premrežene kvadratima, ili da pratim zvučne linije. Kad slušam, čini mi se da naslućujem oblike. Voljela bih se vratiti na tu ideju o geometriji zvuka, zato što postoje veoma precizne predodžbe tih proživljenih prostora. Naravno, tu su znanstvena objašnjenja koja mi daješ, no mogu li nam ona pomoći da razumijemo ono što osjećamo, ono što vidimo?

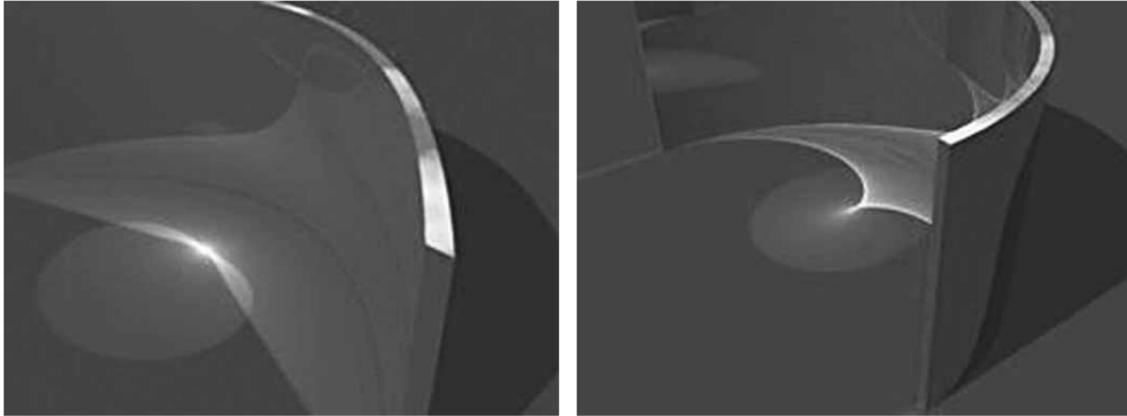
PC: Pokušaj zamisliti prazan prostor bez zidova, bez poda, i da ondje slušaš zvuk...

IS: Mogu ti reći da mi se jednom to gotovo i dogodilo, u gluhoj komori koju sam izradila 1994. godine. U tu svrhu poslužila sam se reciklažom, iskoristila sam stare komore koje su bile korištene za mjerenja. Dakle, u toj komori imala sam pod i zidove koji su, zahvaljujući svojim apsorpcijskim moćima, mogli biti odsutni. Valovi se nisu odbijali, bili su u potpunosti apsorbirani. Nisam imala povrata kao sa zidovima koje inače poznajemo. Mogla sam okom pratiti sve zvukove koji su ondje kolali. Zabavljalo me, na primjer, udarati o jednu obješenu činelu te promatrati kako se zvuk giba s pokretima činele. Ispod cimbalu ocrtavalo se veoma precizno njihanje, zvuk je imao doista veoma precizne, veoma definirane smjerove.

PC: Osjetljivi smo na sve refleksije, koje su pomiješane. Slično vrijedi i za svjetlost. Naprimjer, u ovoj prostoriji sve je obilježeno višestrukim refleksijama, zbog toga sam razvio tu opsesiju izvorima jedinstvenog snopa svjetlosti. Taj oblik nije urođen u našem mozgu, budući da svjetlost vidimo sa svih strana, kao što i čujemo sa svih strana. Teško je, dakle, stvoriti si neku intuiciju o tome kakva je zapravo svjetlost. Dok je s izvorima snopa svjetlosti drugačije – s njima imamo čiste fenomene, baš poput te gluhe komore čija je važnost upravo u tome što i ona izolira čisti fenomen.

IS: Ta ideja o urođenosti nešto je što me naročito zanima. Bila sam u prilici testirati u kojoj smo mjeri uvjetovani određenim navikama percipiranja. Čim se nađemo u malo drukčijem kontekstu – kao što je ova gluha komora – događaju se čudne stvari. Jednog dana htjela sam u njoj slušati glazbu s CD-a i nisam bila u stanju upravljati jačinom zvuka. Nisam imala nikakvog povrata, zvuk mi je dolazio izravno u uši. Kad sam izašla iz komore, ustanovila sam da sam oglušila.

PC: To što mi govoriš izuzetno je zanimljivo, i opet me vraća na zrnastu svjetlost. Dakle, koja je razlika između geometrije svjetlosti i geometrije zvuka? Fenomeni vezani za svjetlost bili su shvaćeni mnogo prije nego zvuk. Zvuk je nešto veoma uznemirujuće. Ako npr., otidem iza ove prepreke i ti mi nastaviš govoriti, i dalje te čujem. Zbog difrakcije. Naprotiv, ako stavim svjetiljku s jedinstvenim snopom, ti ju nećeš vidjeti. Kad je Euklid pisao svojih trinaest poglavlja o geometriji, pisao je ujedno i raspravu o optici, djelo u kojem objašnjava velik broj stvari o perspektivi. Euklidov postulat br. 1 kaže nam da između predmeta koji promatram i mojeg oka postoji ravna linija. To je dovoljno da se objasni što je to savršena leća, zašto je parabolično zrcalo savršeno zrcalo. U osnovi, pomoću te ideje možemo vrlo dobro geometrizirati svjetlost. Stavim li prepreku između tebe i mene, više te neću vidjeti. A ako stavim zrcalo, linija se prekida. Tako geometriziramo. Svjetlost, pak, možemo geometrizirati zato što ona ima veoma malu valnu duljinu, i ako svjetlost zaobilazi prepreke, to će biti veoma male prepreke, veličine njezine valne duljine, što proizvodi fenomene interferencije difrakcije. Sve to manje je očito kad se radi o zvuku. Geometrizacija zvuka javlja se u 17. stoljeću; imamo zrake, zvukove također, i okomito na te zrake površine koje ću zvati površine valova. Kod izoliranog snopa svjetlosti, to su površine kružnih valova. Točka koja odašilje zvuk dovest će do kružnog kretanja molekula. Imamo dobru intuiciju o geometriji pravaca, ali geometrija valova i površina mnogo je složenija. To je intuicija koju moramo naučiti, a da bismo to učinili, moramo se postaviti u izvanredne i neobične situacije, kao što je tvoja gluha komora.



Kaustika / Caustique

(Pierre proizvodi zvuk prolazeći prstom po rubu svoje čaše.)

Ovdje imamo rotirajući zvuk. U njemu je više mogućnosti. Prvo, nalazimo se blizu izvora i razlikujemo događaj koji se udaljava i koji se približava. Prst na čaši, u ovome konkretnom slučaju. Izgleda banalno. Mislim da je stvar sofisticiranija od toga, jer radi se o pitanju faze i valova. Drugim riječima, kad slušamo tibetansku zdjelu ili kad prstom opisujem krug, sigurno proizvodimo jedan zvuk čija je valna fronta spirala. Volio bih to vizualizirati. I to je geometrija.

IS: Kako bismo mogli to vizualizirati?

PC: Ako imaš taj zvuk i kažeš da se zvuk okreće, tada imaš predodžbu, zar ne? Zvučni val se geometrizira, ali zato što je valna duljina velika, geometrija je kompliciranija i jednažba koja to opisuje nije jednostavno jednažba zrake jer se upliću prostor i vrijeme. Sa zrakom svjetlosti mnogo je jednostavnije. Sa zvučnim valom imamo prostor i vrijeme. Možemo reći da oči vide prostor, a uši vrijeme.

IS: Mislim da su uši također u stanju identificirati prostor. Uostalom, mislim na tvoje crteže, one koje si proizveo polazeći od pet zvučnih izvora, ili dva, ili tri. Doista, imamo jedan prostor.

PC: Da se vratimo zvuku, od trenutka kad se dogodi fenomen loma prostora i vremena, to stvara zvučne valove. Titranja isključivo u prostoru možemo zamisliti kao pješćane dine, ili titranja isključivo u vremenu kao membranu koja bi vibrirala bez vala.

IS: U slučaju pomicanja tih dina, čuli bismo ih, zar ne?

PC: Da, postale bi zvučne na veoma niskoj frekvenciji. Kako uhvatiti širinu prostora? Zamislimo zvučni izvor koji emitira valove. To su fronte. Ali čujemo tek posve mali dio njih. Možda bismo si u tom trenu trebali postaviti pitanje o mogućoj vizualizaciji, jer hvatamo tek neznatan dio geometrije tog vala. Istina je da će, ako je val spirala, valna fronta prolaziti periodički, u pravilnim vremenskim razmacima, poput onoga što si mi govorila o magnetosferi, poput svjetionika koji se rotira i šalje ti valove.

IS: Čak i ako hvatamo jednu posve malu zonu te geometrije, imamo vrlo precizan doživljaj o tome što je desno, lijevo, gore i dolje, ispred i iza, te mnogo drugih mogućih interpretacija.

PC: U početku bih pokušao to napraviti u dvije dimenzije, sveo bih to na euklidski problem. Razmišljam, naprimjer, o tome što se može dogoditi unutar prave parabole, to je vrlo složeno. Možemo početi eksperimentirati s komadima metala koje, primjerice, možemo izrezati u pe-

terokutni oblik. Mogli bismo napraviti nekoliko crteža s različitim oblicima - to je geometrija. IS: To me podsjeća na slavni Chladnijev eksperiment. Ali i na moje pokuse koje sam radila sa zdjelicom punom obojene tekućine. Postavljala bih tu zdjelicu na jedan zvučnik i promatrala motive koji odgovaraju svakoj frekvenciji. Prošlog proljeća želja mi je bila napraviti otisak tih vibracija. Pokušala sam koristeći se tehnikom cijanotipije. Radi se o kemijskom procesu koji reagira na svjetlosti tako što postaje plav. Jednostavno zato što je osjetljiv na fotone. Htjela sam snimiti sjene tih valova, ali nisam uspjela jer je sve bilo premobilno. Stavila sam ovaj papir ispod jedne prozirne ploče. Nadala sam se da ću moći zadržati otisak tih sjena. Ali previše su se micale.

PC: Ako još uvijek imaš tu ploču, ponovit ćemo eksperiment s jednim zrcalom i projekcijom.

IS: Ali to ne rješava problem mobilnosti valova i motiva.

PC: Ovisi. Faradayevi modeli, ako su blizu graničnih vrijednosti, mogu biti veoma stacionarni.

IS: Moji pokusi vjerojatno nisu bili dovoljno precizni.

PC: Prednost kaustika u tome je što je moguće fokusiranje i uvećavanje. Predlažem ti da ponoviš taj eksperiment.

## LA GÉOMÉTRIE DU SON

Isabelle Sordage (artiste) - Pierre Couillet (physicien)

Isabelle Sordage : La curiosité m'amène à imaginer ce que pourrait être un travail réalisé en collaboration avec un scientifique, à concevoir et à réaliser une œuvre avec lui.

Quelques questions me viennent à l'esprit : Qu'est-ce que l'espace ? Pouvons-nous entendre une forme ? Pouvons-nous entendre un cercle ? Par exemple lorsque j'écoute les magnétosphères, ou le bol tibétain chantant, j'assimile intuitivement ces sons à des formes circulaires. De fait, ces sons correspondent à des mouvements circulaires. Il s'agirait pour moi de géométrie sonore. De même on peut assimiler d'autres sons à des formes particulières. Le langage sonore est bizarrement truffé de formes. J'aimerais comprendre et travailler ces paysages sonores géométriques.

Peut-on parler de géométrie en son ?

Pierre Couillet : C'est quoi l'espace ? C'est quoi la géométrie ? C'est quoi un monde sans son ou un monde sans image ?

La géométrie c'est le langage qui me permet de décrire l'espace. Je parle là d'un domaine qui n'est pas tout à fait celui de mes compétences ; je suis physicien, très proche des mathématiques mais je ne suis pas mathématicien. Certains mathématiciens pensent que ce langage a toujours été là, pré câblé dans le cerveau humain ; nous avons le cercle, les droites, les axiomes d'Euclide etc. Il s'agit des platoniciens. Puis il y a les autres, plus proche du monde réel, qui proposent une interprétation plus simple : il existe des éléments dans la nature, l'espace existe, je vois bien des étendues et j'ai besoin de les décrire. Pour cela il y a deux façons de faire, on peut les dessiner ou bien employer un langage universel pour les décrire. Le langage des mathématiques.

Il y a donc une réalité commune ; le son, la lumière, le mouvement etc, décrits par ce langage universel et tout le monde parle le même langage.

Comment ça a commencé ? je ne sais pas, peut être par la géométrie du plan.

D'une façon générale l'homme explore essentiellement la platitude. Il y a probablement eu



Monokromni prostor / Espace monochrome, I. Sordage, 1994

une époque où l'architecture a permis d'explorer la troisième dimension, et aujourd'hui on envoie des engins dans l'espace, on descend sous terre etc. On ne parle plus uniquement de surface mais de volume et j'ai besoin d'un langage pour décrire toutes ces choses-là : ce langage c'est la géométrie.

L'espace est là, il y a la manière dont je le vois, mais pour le comprendre il faut commencer par le débarrasser de tout. On le vide. (...) je peux commencer par dire j'ai deux murs verticaux, un autre incliné. J'ai le cadre qui déjà brise la symétrie. J'ai des murs qui m'empêchent de me déplacer au-delà. Je brise cette idée fondamentale de l'invariance.

Avec le son j'ai une brisure de symétrie qui se propage, deux symétries sont brisées, celles du temps et de l'espace. Si la symétrie temporelle n'est pas brisée, et bien je n'ai pas de son. Lorsque je parle, je brise la symétrie temporelle de manière folle. A la base la brisure de symétrie élémentaire est l'onde harmonique, l'oscillation harmonique d'une fréquence donnée.

IS : Peut-on faire le lien entre son et géométrie, peut-on imaginer visualiser le son ? Il m'est arrivé d'avoir des sensations très précises et de visualiser par exemple des espaces totalement quadrillés, ou de suivre des lignes sonores. Lorsque j'écoute, il me semble pressentir des formes. J'aimerais revenir sur cette idée de géométrie du son, parce qu'il existe des représentations très précises de ces espaces vécus. Bien sûr il y a les explications scientifiques que tu me donnes mais peuvent-elles nous aider à comprendre ce que nous ressentons, ce que nous voyons ?

PC : Essaie d'imaginer un espace vide sans mur, sans sol et là tu écoutes un son...

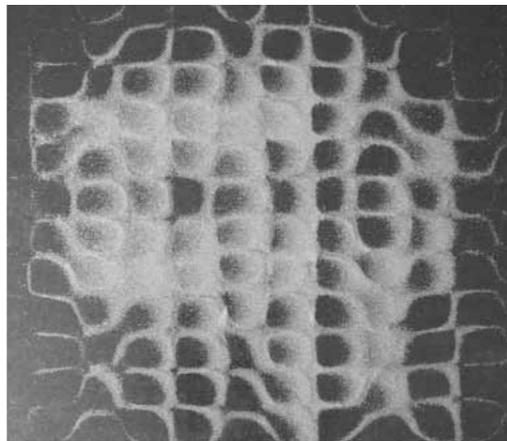
IS : Et bien ça m'est presque arrivé, dans une salle anéchoïde que j'avais fabriquée en 1994. J'avais récupéré des anéchoïdes qui avaient été utilisés pour des mesures. Donc il y avait dans cette salle un sol et des murs susceptibles de s'absorber grâce à leurs pouvoirs absorbants. Les ondes ne rebondissaient pas, elles étaient totalement absorbées. Je n'avais pas de retour comme avec les murs que nous connaissons. Là je pouvais suivre des yeux tous les sons qui circulaient. Je m'amusais par exemple à taper sur une cymbale que j'avais suspendue et j'observais le son bouger avec les mouvements de la cymbale. Un balancement très précis se dessinait au dessous de la cloche, le son avait des directions vraiment très précises. Très dessinées.

PC : Nous sommes sensibles à toutes les réflexions, où tout se mélange. C'est pareil pour la lumière. Par exemple dans cette pièce tout est en réflexions multiples, c'est pour ça que j'ai cette obsession sur les sources de lumière ponctuelle. C'est quelque chose qu'on n'a pas du tout câblé dans notre cerveau puisque nous voyons la lumière de tous les côtés, comme on entend des choses de tous les côtés. Il est donc difficile de se faire une intuition de comment est la lumière. Alors qu'avec les sources de lumière ponctuelle, nous avons des phénomènes purs, comme cette chambre anéchoïde qui a l'intérêt d'isoler elle aussi le phénomène pur.

IS : Cette idée de câblage m'intéresse particulièrement. J'ai pu expérimenter à quel point nous sommes conditionnés par des habitudes de perception. Dès que nous sommes projetés dans un contexte un peu différent comme cette salle anéchoïde, des choses étranges se produisent. Un jour j'ai voulu y écouter un CD et j'ai été incapable de gérer l'intensité du son. Je n'avais aucun retour, le son arrivait directement dans mes oreilles. Lorsque je suis sortie de la salle, je me suis aperçue que je m'étais assourdie.

PC : C'est extrêmement intéressant ce que tu dis là, ça me renvoie aux lumières ponctuelles. Alors quelle est la différence entre la géométrie de la lumière et la géométrie du son ? Les phénomènes liés à la lumière ont été compris bien avant le son. C'est très troublant le son. Si je vais derrière cet obstacle et que tu me parles, je t'entends. A cause de la diffraction. Alors que si je mets une lampe ponctuelle tu ne la verras pas. Lorsque Euclide écrit ses treize volumes sur la géométrie il écrit aussi un traité d'optique dans lequel il explique énormément

de choses sur la perspective. L'axiome n°1 d'Euclide nous dit qu'entre l'objet que je regarde et mon œil, il y a une ligne droite. Cela suffit à expliquer ce qu'est une lentille parfaite, pourquoi un miroir parabolique est le miroir parfait. Fondamentalement on géométrise très bien la lumière par cette idée. Si je mets un obstacle entre toi et moi, je ne te verrai plus. Et si je mets un miroir la ligne se casse. Ainsi on géométrise. On peut géométriser la lumière parce qu'elle a une longueur d'onde très petite, et si elle contourne des obstacles ce sera de très petits obstacles, de la taille de sa longueur d'onde, ce qui donne lieu aux phénomènes d'interférence de diffraction. Tout ça est moins évident pour le son. La géométrisation du son apparaît au 17ème siècle ; nous avons des rayons, de sons aussi, et perpendiculaires à ces rayons il y a des surfaces que je vais appeler les surfaces d'ondes. Si la source est ponctuelle, j'ai une surface d'ondes sphériques. Si j'ai un point qui émet du son, il va agiter les molécules de manière sphérique. Nous avons une bonne intuition de la géométrie des lignes droites, mais celle des ondes et des surfaces est beaucoup plus compliquée. C'est une intuition à travailler, et pour cela il faut se mettre dans des situations exceptionnelles et singulières comme ta chambre anéchoïde.



Chladnijev pokus / expérience de Chladni

( Pierre fait sonner son verre en tournant le doigt sur le bord.)

Il y a ici un son tournant. Il y plusieurs possibilités à ce son. Premièrement, nous sommes près de la source et nous faisons la différence entre un évènement qui s'éloigne et se rapproche. Le doigt sur le verre en occurrence. Ce serait banal. Je pense que c'est plus subtil que ça. Je pense que c'est plutôt une question de phase et d'ondes. Autrement dit lorsqu'on écoute le bol tibétain ou lorsqu'on fait tourner son doigt, on doit émettre un son dont le front d'onde est une spirale. J'aimerais le visualiser. C'est ça la géométrie.

IS: Comment visualiser ceci ?

PC: Tu as ce son-là et tu dis ce son tourne. Tu as une représentation n'est-ce pas ? L'onde sonore se géométrise, mais parce que la longueur d'onde est grande, la géométrie est plus compliquée et l'équation qui décrit ça n'est pas simplement une équation de rayon puisque interviennent l'espace et le temps. Avec le rayon lumineux c'est beaucoup plus simple. Avec l'onde sonore il y a l'espace et le temps. On peut dire que les yeux voient l'espace et l'oreille le temps.

IS : Je pense que les oreilles sont aussi en mesure d'identifier un espace. D'ailleurs je pense à tes dessins, ceux que tu as réalisés en partant de 5 sources sonores, ou deux ou trois.. Nous avons bien un espace.

PC : Pour revenir au son, dès l'instant où nous avons un phénomène d'espace et de temps brisés, ça produit des ondes sonores. On peut imaginer des oscillations uniquement dans l'espace comme les dunes, ou des oscillations uniquement dans le temps, comme une membrane qui vibrerait sans onde.

IS: Dans le cas de déplacement de ces dunes, nous les entendrions n'est-ce pas ?

PC : Oui, elles deviendraient sonores à une fréquence très basse. Comment capter une étendue ? Nous avons une source sonore, elle émet des ondes. C'est des fronts. Mais nous n'en entendons qu'une toute petite partie. C'est peut-être là qu'il faudrait s'interroger sur une visualisation possible, car nous ne captions de l'onde qu'une partie infime de la géométrie. C'est vrai que si l'onde est spirale, le front d'ondes va passer périodiquement comme ce que tu me

dis de la magnétosphère, comme un phare qui tourne et qui t'envoie les ondes.

IS : Même si on capte une toute petite zone de cette géométrie, on a des sensations très précises de la droite, de la gauche, du haut et du bas, de devant et de derrière et beaucoup d'autres interprétations possibles.

PC : J'essaierais de faire ça sur deux dimensions au départ, je ramènerais ça à un problème euclidien. Je pense, par exemple, à ce qu'il peut se passer dans une vraie parabole, c'est très compliqué. On peut commencer à expérimenter avec des pièces en métal que l'on peut tailler en forme pentagonale par exemple. On pourrait faire quelques dessins avec différentes formes, c'est de la géométrie.

IS : Ça me fait penser à cette fameuse expérience de Chladni. Et puis à des essais que j'avais faits avec un ramequin rempli d'un liquide teinté. J'ai posé ce ramequin sur un haut parleur et j'ai observé les motifs correspondant à chaque fréquence. Au printemps dernier j'ai voulu faire une empreinte de ces vibrations. J'ai essayé en utilisant la technique du cyanotype. Il s'agit d'un procédé chimique qui réagit à la lumière en devenant bleu. Sensible aux photons tout simplement. Je voulais enregistrer l'ombre de ces ondes, je ne suis pas arrivée car c'était trop mobile. J'avais mis cette feuille sous un plateau transparent. J'espérais pouvoir garder l'empreinte de ces ombres. Mais elles bougeaient trop.

PC : Si tu as toujours ce plateau on va refaire l'expérience avec un miroir et une projection.

IS : Mais ça ne résout pas le problème de la mobilité des ondes et des motifs.

PC : Ça dépend. Les patterns de Faraday, près des seuils, peuvent être très stationnaires.

IS : Mes essais manquaient probablement de précision.

PC : L'avantage des caustiques c'est qu'il est possible de focaliser et d'agrandir. Je te propose de refaire cette expérience.

## LJUDSKA AVANTURA... APSTRAKTNA I(LI) KONKRETNA?

Pierre Gallais (umjetnik-matematičar) - Étienne Ghys (matematičar)

Pierre Gallais: Za mene, matematika je ljudska kreacija i avantura.

Étienne Ghys: U vrijeme velikog razdoblja grčke matematike, matematika se ticala samo posve uske, hiperspecijalizirane intelektualne elite koja se veoma malo bavila ljudskim razmatranjima. Oni su se isključivo zanimali za apstraktnu logiku, izgradnju koherentnog korpusa. Poslije je bilo određenih oscilacija u povijesti. Svima nam je poznat Arhimed, kojeg uvijek navodimo kao tvorca primijenjene matematike, zato što se on nije bojao upotrijebiti matematiku za rat - Sirakuza - i još neke primjene. Cijelo jedno razdoblje matematika je bila apstraktna, potpuno apstraktna, po uzoru na druge apstraktne discipline, poput filozofije. Za pravu primijenjenu matematiku trebat će pričekati sve do 19. stoljeća.

PG: Da, ali krivo smo se razumjeli oko termina 'ljudski'. Ja pod terminom 'ljudski' nisam mislio na humanizam, čovječanstvo... nego na glavno svojstvo našeg percipiranja.

ÉG: Aha, u redu!

PG: Za mene matematika nije tuš s neba, nego Čovjekova konstrukcija i avantura. Kad bi ptica mogla matematički razmišljati, pretpostavljam da bi njezina matematika bila drukčija od naše.

ÉG: Poincaré je razmatrao kakvu bi koncepciju prostora imala stabla, stabla koja bi bila inteligentna. Pokušavao je diskutirati, dokučiti bi li stabla bila u stanju koncipirati prostor kao mi - homogen i izotropan. Naravno da ne. Naša koncepcija prostora može postojati samo zato što smo mobilni.

U videu koji smo spominjali, a koji još nisam vidio, riječ je o ribi s dva para očiju; dva oka nalaze se na vrhu glave i zahvaljujući njima riba može vidjeti u smjeru površine vode. Uslijed potpune refleksije o površinu vode (dvije sredine s različitim indeksima refrakcije karakterizira svojstvo da, kad se prekorači određen kut, svjetlosne se zrake reflektiraju), u jednom dijelu svog vidnog polja - koji zovemo konus ili piramida - riba će kroz površinu vode vidjeti čitav prostor (deformiran, uslijed efekta povećala), ribara koji je pokušava upečati itd., a u drugom konusu, uslijed igre refleksije, vidjet će dno rijeke. Kakvu percepciju i kakvo razumijevanje prostora može imati ta riba sa svoja četiri oka? (smijeh)

Ako je naša vizija prostora dvodimenzionalna (i spada u sferu projektivne geometrije, iako više stereoskopske nego euklidske), kakvu onda viziju može imati ta riba?

Dakle, što se ljudske percepcije tiče, slažemo se, ali uz jednu sitnu razliku. Naime, uistinu mislim da apstraktni matematičari velikog grčkog razdoblja nisu za to marili, niti ih je zanimalo prostor. Njih je zanimala isključivo struktura - koherentna, logična, interna struktura. No, naravno, sve to dobro se promijenilo poslije.

PG: Misliš li da je - kao kod Euklida - pristup matematici svakog matematičara koji je po samom svom temperamentu upućen na matematiku, ili ono što ga vodi k matematici, prije svega nešto potpuno apstraktno, čemu je nemoguće pridružiti bilo što konkretno?

ÉG: To je individualno, ovisit će o pojedincu, o matematičaru. Ja ti mogu govoriti o svom osobnom iskustvu. Naprimjer, pogledam li kakav je bio moj pristup tim pitanjima tijekom moje karijere ili mog matematičkog života, vjerujem da mogu reći da sam na samom početku taj prostor doživljavao vrlo apstraktno. Naprimjer, jako se dobro sjećam kad smo za vrijeme studija učili što je to Hilbertov prostor - prostor beskonačne dimenzije. Ja sam usvojio definiciju, koja nije tako teška. Usvojio sam to kao definiciju niti ne nastojeći dokučiti postoji li neka fizička intuicija, postoji li odnos s konkretnim. A taj odnos je postojao. Mene je zabavljalo igrati

se s definicijom, kao što se volimo igrati s teorijama. Počnimo sa... dokazujemo iks... hipoteza, zaključak, dokazivanje. To mi se jako sviđalo. I, iskreno, tek sam si kasnije, mnogo kasnije, zapravo, počeo postavljati pitanja o doista konkretnoj prirodi tih Hilbertovih prostora. Hilbertovi prostori zapravo su posvuda oko nas. Primjerice, ovaj iPhone koji snima naš glas; glas se prenosi pomoću signala. A taj signal je Hilbertov prostor frekvencija. Dakle, danas je za mene Hilbertov prostor jako, jako konkretan, što nije bio slučaj prije recimo dvadeset i pet godina.

Zvučni prostor je jedan prostor beskonačne dimenzije budući da se svaki zvuk rastavlja na razne harmonike i postoji po jedan harmonik za svaku valnu duljinu; dakle, u suštini postoji beskonačno mnogo elemenata, a isto vrijedi i za svjetlost. (vidjeti rastavljanje signala putem Fourierove transformacije)

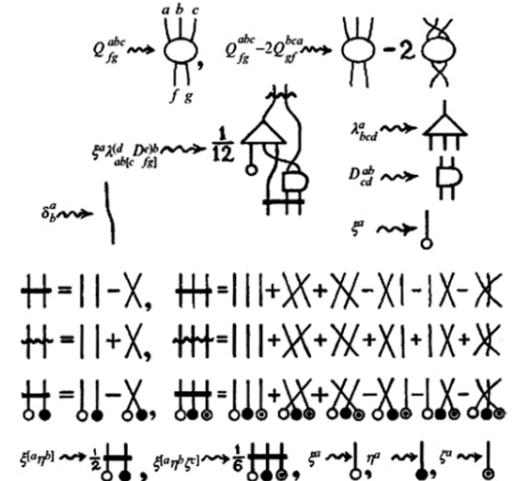


Fig. 12.17 Diagrammatic tensor notation.

Matematički piktogrami / Pictogrammes mathématiques

Nećemo nastaviti raspredati o pojmu Hilbertova prostora, to bi bilo komplicirano i nerazumljivo, no bit će korisno dati nekoliko malih pojašnjenja. Da bismo opisali položaj jedne točke u ravnini, dovoljna su dva broja, apscisa i ordinata,  $x$  i  $y$ , i iz tog se razloga kaže da je ravnina dimenzije 2. S druge strane, kako bismo opisali neke druge, mnogo bogatije predmete, treba nam beskonačno mnogo brojeva. Naprimjer, zvuk se sastoji od beskonačne količine harmonika i njegov opis ne može se ograničiti na konačan broj brojeva. Iz tog razloga kaže se da zvukovi čine (Hilbertov) prostor beskonačne dimenzije. Čudesna je stvar da to ide dalje od same definicije: ispostavlja se da se možemo "baviti" geometrijom u tom Hilbertovu prostoru na točno isti način kao u ravnini; možemo, naprimjer, upotrijebiti Pitagorin poučak za trokut čiji su vrhovi... zvukovi! Geometrija u službi drugih, bogatijih situacija beskonačne dimenzije. Zvukovi, svjetlosne zrake, ali i mnogo drugih stvari!

### ORIJENTIRATI SE U PROSTORU

Geometrija i algebra (ili brojevi) razlikuju se po samoj svojoj prirodi. A priori ništa ne navodi na pretpostavku da bi se između njih mogao uspostaviti dijalog. Postoji određen korpus geometrije. Naprimjer, geometrija pravca i kružnice (u ravnini) razvija sve propozicije i figure koje možemo dobiti koristeći se isključivo (negraduiranim) ravnalom i šestarom. Stručnjak za geometriju barata predmetima, pomalo poput likovnjaka. Algebričar - recimo to u dvije riječi - barata brojevima i numeričkim (algebarskim) izrazima. Zbog našeg svakodnevnog druženja s digitalnim slikama i virtualnim predmetima pred ekranom, bili bismo skloni vjerovati da predmet i broj čine jedno. Na ekranu, da, ali to je zadnja karika nevidljivog lanca. Stroj obrađuje digitalne i algebarske izračune u koje naša osjetila nemaju pristupa. To uostalom može biti zamka virtualne realnosti, ako ne budemo oprezni.

Kako bi se uspostavila ta veza, trebalo je čekati sve do 17. stoljeća i, posebice, Descartesa koji je definirao okvir analitičke geometrije (Étienne napominje da taj termin gotovo više i nije u upotrebi).

PG: Uzmimo ovaj stol. Predmet dimenzije dva. Taj predmet postoji...

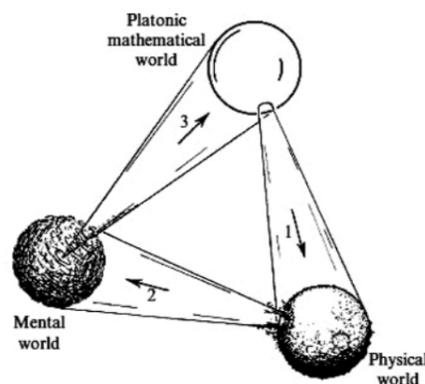
ÉG: Možda.

PG: Nemoj se onda naslanjati na njega... Nikad se ne zna! Uzmimo da taj stol postoji i da je

dovoljno čvrst. Da pokušam analizirati... Ako ti kažem: "Ovdje sam", neću ti reći bogzna što. Tim više što u ovim konkretnim okolnostima nema slike: nitko neće ništa vidjeti. Predmet dviju dimenzija; dajmo mu koordinate na osi X i Y. Ako ti kažem da sam na osi X na 50 cm i na osi Y na 70 cm, imat ćeš (a i oni koji nas čitaju) određenu mentalnu predodžbu o položaju u kojem se nalazim.

ÉG: Ta mentalna predodžba je efikasna.

PG: Vrlo efikasna.



Penroseovo razmišljanje o tri svijeta / La reflexion de Penrose sur les trois mondes

ÉG: Iako možda nije čovjeku urođena.

PG: Dokaz nam je to što je trebalo čekati, ako ne Descartesa, onda svakako 17. stoljeće.

ÉG: Još jedan dokaz, to je da u velikom broju zemalja ljudi ne misle tako. Naprimjer, izgubiš se na ulicama Bombaya i pitaš za smjer ili slično. Ljudi ondje ne razmišljaju na taj način. Neće ti reći: idite lijevo pa desno, nakon toga lijevo. Reći će ti: prvo idite prema onom ondje velikom supermarketu, onda krenite prema mostu...To je način na koji označuju ulice i adrese. Možda znaš da u Tokiju nema imena ulica, i nema brojeva. Ali ljudi imaju svojevrstu metodu, uključujući i poštare! Naprimjer, svaki put kad sretnes nekoga, pokazat ćeš mu svoju vizitku na kojoj mali plan pokazuje kako stići

do cilja, i to stvarno pomoću uzastopnih aproksimacija. Naprimjer, umjesto da kažeš gdje se nešto nalazi, ti kažeš 50 cm i 70 cm. Mogli bismo reći: stol je razdijeljen na desnu i lijevu stranu, pa je to više nadesno, a onda u tom desnom dijelu nešto je bliže kistu, zapravo nalazi se između kista i naočala. I u par rečenica rekao sam ti gdje se nešto nalazi s gotovo istom preciznosti. Možda čak s više preciznosti.

PG: OK. Krenuli smo od predmeta-stola i orijentiramo se. Apstraktiziramo stvar. Tako prelazimo u jednu drugu domenu, domenu algebre. Ali ako zauzmemo obrnut stav i počnemo od dva prostora s jednom dimenzijom koji stvarno postoje: pravac X i pravac Y; korak po korak konstruiram parove (X, Y). Pitam se: koja je realnost tog predmeta koji tako konstruiram?

ÉG: Ja bih rekao nikakva, nema realnosti!

PG: Eto!

ÉG: Nikakva. Uostalom, to se pridružuje opisu položaja jedne točke pomoću X i Y koji si upravo tako energično nahvalio. Priznajmo očit: ipak je to mutež. Jer ako ti kažem: imam točku s koordinatama 50 i 70 cm, i zarotirajmo je za 50 stupnjeva. Dobivamo nove koordinate, treba napisati formule, kosinuse i sinuse. Nijedno normalno građeno biće ne može naći nove koordinate nakon promjene orijentira. Naprotiv, ako kažem da smo došli na pola puta između para naočala i kista, tada ću uspjeti. Prilično je jasno da algebrizacija geometrije, kako ti kažeš, ima svoje granice. Ima svoje granice u smislu da koordinate na koje smo naviknuti od Descartesa naovamo doista nisu prirodni koncepti.

PG: Algebrizacija ili analitička geometrija, to je alat.

ÉG: Tako je.

PG: To je alat koji nam omogućuje da radimo na realnome, ali sâm nije predmet.

ÉG: Znaš da današnji geometrijski algebričari imaju posve drukčiju viziju prostora. Dopusti da pokušam objasniti. Znaš li što o stvarima à la Grothendieck ili nemaš blagog pojma?

PG: Ne baš.

ÉG: Recimo onda ovako. Imaš prostor s koordinatama X, Y. Svi naivno – i ti i ja također – imamo tendenciju zamišljati male točke, male (X, Y) koje su ondje kao natiskane jedna do druge, i koje stvaraju...

PG: Skup.

ÉG: Skup, tako je. Geometrijski algebričar ne zamišlja stvari na taj način. On ih zamišlja dualno. Što to znači? Njemu nije do točaka. Ono što ga zanima, to su funkcije o prostoru. On će tako reći, primjerice: Promatram polinomske funkcije u X, Y. Te polinomske funkcije, ako ih imam dvije, mogu ih dodavati i množiti. To čini jedan prsten. A za geometrijskog algebričara prostor nije drugo doli prsten. U suštini, velika Grothendieckova ideja, to je reći: Prostor... to je prsten!

Nakon toga slijedi razvoj ideje koji iziskuje posjedovanje ili poznavanje rječnika algebre: prsten, komutativni prsten, relativni cijeli brojevi, cijeli brojevi modulo prim-broj... Da nemamo bar minimum saznanja, mogli bismo se izgubiti u svemu tome. Ali ipak ću probati malo! Kad fizičar promatra neki predmet, koristi se uređajem koji, npr., može biti najjednostavniji metar kako bi definirao položaj jedne točke. "Postoji" li ta točka ili ne, to nije važno. Ono što je važno, to je rezultat mjerenja, što je pokazao metar. Jasno je, dakle, da su ponekad mjerenja važnija od onoga što se mjeri! To je geometrijske algebričare dovelo do toga da su zaboravili na točke, ili čak do toga da su ih se otarasili! Ono što je važno, to je skup svih mogućih mjerenja. Upravo to je ono što kodira algebarska struktura koju nazivamo "prstenom": nešto oblikovano od stvari koje se mogu dodavati i množiti, poput mjerenja. Eto zašto prsten, to je poput prostora!

Naprimjer, kao što znaš, torus nastaje polazeći od kopija ravnine koje se onda lijepe zajedno... E pa, Grothendieck je izmislio koncept u kojem se lijepe prstenovi, a tako lijepljen predmet zove se shema. A koncept sheme danas je doista glavni koncept u algebarskoj geometriji... Pritom, i prstenovi i ravnine pripadaju tom svijetu shema. Dakle, istovremeno se bavimo i geometrijom i aritmetikom. To je sjajno, osim što ja slabo to razumijem jer više nemamo onu intuiciju o prostoru koji bi se sastojao od nizanjanja točke do točke. No, kad bolje promislimo: je li prostor baš to – točke jedna do druge? Već smo na razini diskretizacije, što li! Naša intuicija koju imamo o prostoru, jesu li to točke natiskane poput sardina u konzervi? ... Ne nužno!

Na toj razini dolazi digresija o "modernoj matematici" i apstraktna definicija pravca bez ikakvog referiranja na intuitivne slike koje možda imamo o njemu. U očima običnih smrtnika to je krajnja apstraktizacija, ali ona se može pokazati nužnom želimo li se početi baviti nepoznatim domenama i pokušati iz njih izvući svojstva koja bi imala reperkusije u našem konkretnom svijetu. Za ilustraciju, ovdje mislim na kvantnu mehaniku ili relativnost. To su alati zahvaljujući kojima možemo shvatiti funkcioniranje elemenata (ostajući u apstraktnoj domeni, gdje naše intuitivne slike više nemaju mnogo smisla) i nakon toga dobiti rezultate primjenjive u našoj okolini. Međutim ti alati su nijemi ili bespomoćni kad se radi o opisu osjetilne stvarnosti... Mi ih, ipak, ne možemo odbaciti ili negirati jer naš se senzibilitet obogaćuje njihovim plodovima.

PG: Matematika je za mene alat. Rodila se iz jedne ljudske avanture, ali ju nadilazi, i ako želimo proširiti svoje vidno polje, moramo se koristiti tim alatom kako bismo pokušali gledati... nepoznato.

ÉG: Naravno.

PG: Onda će nam možda taj alat omogućiti da dešifriramo nepoznato.

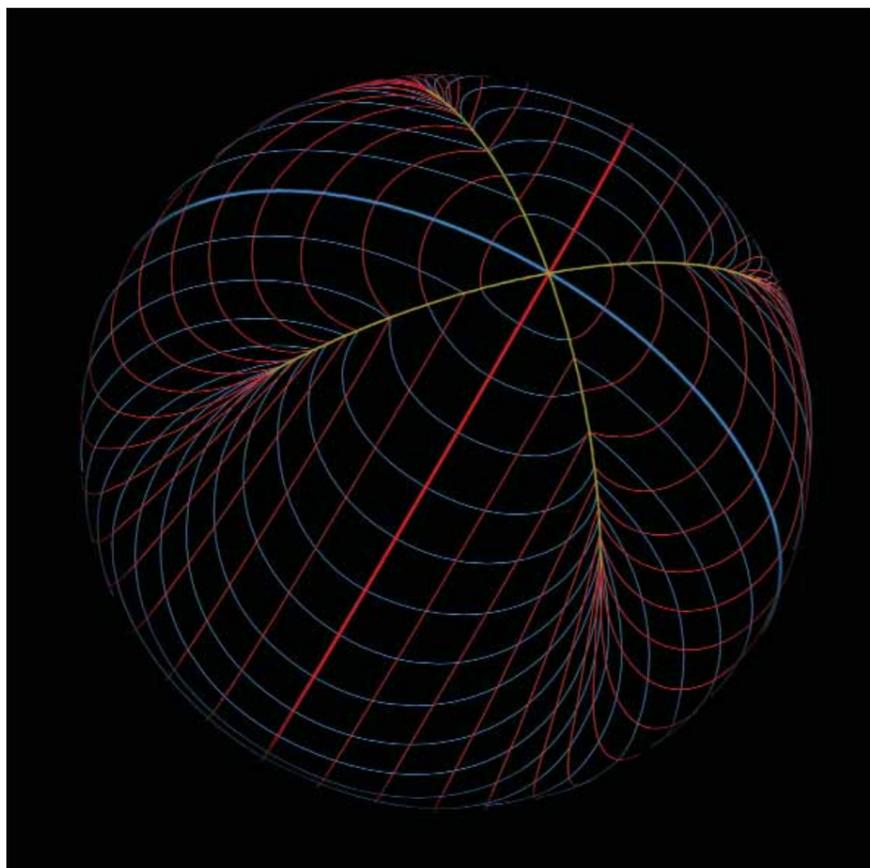
ÉG: Tako je.

PG: Jer ako bih krenuo metrom mjeriti valnu duljinu...

ÉG: Bilo bi uzaludno.

PG: Uzaludno.

ÉG: Da rezimiram, mislim da su X i Y vrlo efikasni, vrlo praktični alati. No, nisam uvjeren da imaju bilo kakvu vezu s našom intuicijom o prostoru, čak sam uvjeren u suprotno. Poincaré je pisao i o tim stvarima: "Postoje ljudi koji kažu da je jedna točka prostora trojka brojeva, no varaju se." Nešto u tom stilu. Dakle, vjerujem da se slažemo oko toga. Htio bih samo istaknuti da uopće nije očito da putem intuicije vidimo prostor kao pregršt zbijenih točkica, te da postoji i druga, modernija ideja. Ona se sastoji u tome da kažemo kako je prostor definiran funkcijama o tom prostoru, i mjerenjem kojem ga možemo podvrgnuti. Tada dobivamo jedan prostor koji je poput svojevrsne pećine. Ne znam što je taj prostor, ali izvodim projekcije i otuda primam stanovit broj informacija, i upravo te informacije na određen mi način definiraju prostor, a da si pritom ne moram postavljati previše pitanja o tome postoji li on ili ne.



Izometrički omot kugle prema Etienneu Ghysu (crtež: Pierre Gallais).

Habillage isométrique de la sphère selon Etienne Ghys (dessin: Pierre Gallais).

## UNE AVENTURE HUMAINE... ABSTRAITE ET/OU CONCRÈTE ?

Pierre Gallais (plasticien-mathématicien) - Étienne Ghys (mathématicien)

Pierre Gallais : Pour moi les mathématiques sont une création et une aventure humaine.

Étienne Ghys : Du temps de la grande époque des mathématiques grecques, les mathématiques ne concernaient qu'une toute petite élite intellectuelle, hyper pointue, qui n'avait que très peu de considérations humaines. Ils étaient purement dans la logique abstraite, la construction d'un corpus cohérent. Après il y a eu des oscillations dans l'histoire. Il y a eu Archimède qu'on cite toujours comme le créateur des mathématiques appliquées, parce que lui n'avait pas peur d'utiliser les mathématiques pour la guerre - Syracuse - et autres applications. Il y a toute une période où les maths étaient abstraites, totalement abstraites, à l'image d'autres disciplines abstraites, comme la philosophie. De mathématiques applicables, sérieusement, il faut attendre le 19<sup>ème</sup> siècle.

PG : Oui, mais on s'est mal compris sur le terme humain. Ce que je mettais dans le terme humain, ce n'est pas l'humanisme, l'humanité... c'est le propre de notre perception.

ÉG : D'accord, ah ! d'accord.

PG : Pour moi, les mathématiques ce n'est pas une douche qui tombe du ciel, c'est une construction et une aventure de l'Homme. Si un oiseau avait la capacité de penser mathématique, je pense, j'imagine, qu'il aurait une autre mathématique que nous.

ÉG : Poincaré, envisage quelle conception de l'espace auraient les arbres, des arbres qui seraient intelligents. Il essaie de discuter, de savoir s'ils seraient capables de concevoir un espace comme nous. C'est à dire homogène et isotrope. Bien sûr que non. Notre conception de l'espace ne peut exister que parce que nous sommes mobiles.

Ici, il faut rompre avec le fil linéaire de la discussion et rattacher ce qui viendra bien plus loin dans notre échange mais se rapporte à ce propos.

ÉG : Dans cette vidéo dont on a parlé et que je n'ai pas encore vue, on parle d'un poisson muni d'une double paire d'yeux ; deux sont sur le sommet de la tête qui permettent au poisson de voir en direction de la surface de l'eau. A cause de la réflexion totale de la surface de l'eau (deux milieux d'indices de réfraction différents présentent la propriété qu'au delà d'un certain angle les rayons lumineux se trouvent réfléchis) dans une partie de son cône de vision le poisson verra à travers la surface tout l'espace (déformé, effet de loupe), le pêcheur qui tente de l'attraper, etc, et dans l'autre, par le jeu de la réflexion, il verra le fond de la rivière. Quelle perception et compréhension de l'espace peut avoir ce poisson avec ses quatre yeux ? ... rires :-)

Si notre vision de l'espace est bidimensionnelle (relevant de la géométrie projective, même si stéréoscopique, plutôt qu'Euclidienne) que peut-il en être pour ce poisson?

Reprise.

ÉG : On est d'accord, à une nuance près. Je pense que pour des gens comme Euclide, ou même aujourd'hui d'autres mathématiciens ; je ne suis pas sûr que le mot humain s'applique vraiment à eux. Je pense vraiment que tous ces mathématiciens abstraits de la grande époque grecque n'avaient que faire, même de l'espace ! Ce qui les intéressait c'était uniquement la structure cohérente, logique, interne. Mais tout ça a changé bien après, bien sûr.

PG : Pour un mathématicien, quelqu'un dont le tempérament l'oriente vers les mathématiques, penses-tu que son abord, son approche des mathématiques, ou bien ce qui le conduit aux

mathématiques, est, comme Euclide, quelque chose de complètement abstrait pour lequel on serait incapable de rattacher le concret ?

ÉG : Ça dépend des gens, ça dépend des matheux. Je peux te parler de mon expérience personnelle. Par exemple, si je regarde un peu comment j'ai abordé toutes ces questions au cours de ma carrière, de ma vie mathématique. Je crois pouvoir dire que, au tout début, je vivais cet espace de manière très abstraite. Par exemple, je me souviens très bien quand, étudiant, on apprenait ce qu'est un espace de Hilbert - un espace de dimension infinie - moi, j'englobais la définition qui n'est pas si difficile. J'englobais comme une définition sans chercher à comprendre si il y avait une intuition physique, si il y avait un rapport avec le concret et pourtant il y en avait. Je m'amusais à jouer avec la définition, comme on aime à jouer avec des théorèmes. On commence par... on démontre machin... hypothèse, conclusion, démonstration. Ça me plaisait bien et, franchement, ce n'est que plus tard, mais beaucoup plus tard en fait, que j'ai commencé à me poser les questions sur la nature vraiment concrète de ces espaces de Hilbert. Un espace de Hilbert, en fait, il y en a partout autour de nous. Par exemple, là, cet iPhone est en train d'enregistrer une voix ; la voix s'est transmise par un signal. Ce signal, c'est un espace de Hilbert des fréquences. Donc l'espace de Hilbert est très, très concret pour moi aujourd'hui, mais il ne l'était pas il y a, disons, vingt cinq ans.

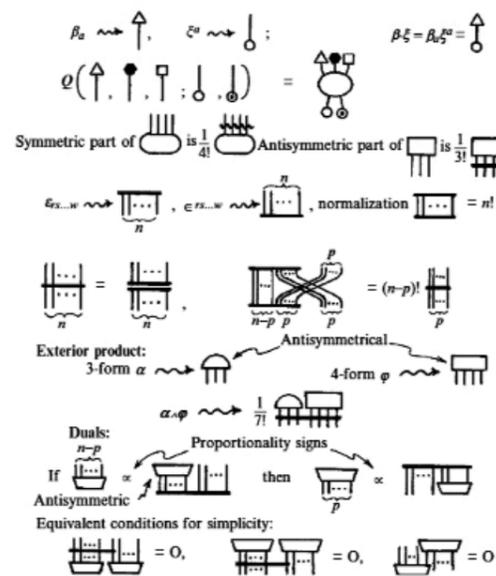


Fig. 12.18 More diagrammatic tensor notation.

Matematički piktogrami / Pictogrammes mathématiques

limiter à un nombre fini de nombres. Pour cette raison, on dit que les sons constituent un espace (de Hilbert) de dimension infinie. La chose merveilleuse est que ceci va au delà de la définition : il se trouve qu'on peut « faire » de la géométrie dans cet espace de Hilbert exactement de la même manière que dans le plan ; on peut par exemple utiliser le théorème de Pythagore pour un triangle dont les sommets sont... des sons ! La géométrie au service d'autres situations, plus riches, de dimension infinie. Des sons, des rayons lumineux, mais plein d'autres choses !

### SE REPÉRER DANS L'ESPACE

Il y a une différence de nature entre géométrie et algèbre (ou les nombres). Rien, à priori, ne laisse supposer qu'ils puissent entrer en dialogue. Il existe un corpus de la géométrie. Par exemple, la géométrie de la droite et du cercle (dans le plan) développe toutes les propositions

L'espace sonore est un espace de dimension infinie puisqu'il y a... Tout son se décompose en diverses harmoniques et les harmoniques il y en a une pour chaque longueur d'onde ; donc il y a une infinité d'éléments à la base et la même chose pour la lumière. (voir la décomposition en série de Fourier d'un signal)

On ne peut pas s'étendre sur la notion d'espace de Hilbert, ce serait compliqué et abscons... déjà que des espaces de dimension finie supérieure à trois... alors infinie !!! Mais quelques petits éclairages sont utiles. Pour décrire la position d'un point dans le plan, il suffit de deux nombres, abscisse et ordonnée, x et y, et c'est pour cette raison qu'on dit que le plan est de dimension 2. Par contre, pour décrire d'autres objets, beaucoup plus riches, il faut une infinité de nombres. Par exemple, un son est constitué d'une infinité d'harmoniques et sa description ne peut se

et figures que l'on peut produire en n'utilisant que la règle (non graduée) et le compas. Le géomètre manipule des objets, un peu comme le plasticien. L'algébriste, pour dire vite, manipule des nombres et des expressions numériques (algébriques). Notre fréquentation quotidienne des images numériques et des objets virtuels nous laisserait croire, devant l'écran, qu'objet et nombre ne font qu'un. A l'écran, oui, mais c'est là le dernier maillon d'une chaîne invisible. La machine traite des calculs numériques et algébriques auxquels nos sens n'ont pas accès. Cela peut d'ailleurs être un piège de la réalité virtuelle, si nous n'y prenons garde.

Il a fallu attendre le 17ème siècle et particulièrement Descartes pour que le lien s'établisse, définissant le cadre de la géométrie analytique (terme plus guère employé selon Etienne).

PG : Dans l'espace... bon ! Considérons cette table. Objet de dimension deux. L'objet existe...

ÉG : Peut-être.

PG : Faut pas que tu t'appuies dessus... des fois que :-) Considérons que cette table existe et qu'elle est assez solide. Si je m'en vais essayer d'analyser... Si je te dis : "je suis ici". Je ne te dirai pas grand-chose. D'autant plus qu'en la circonstance il n'y a pas d'image ; personne n'y verra rien. Objet de dimensions deux, donnons lui des coordonnées en X et en Y. Si je te dis que je suis en X à 50 cm et en Y à 70 cm, tu auras (et ceux qui nous écoutent) une représentation mentale de la position où je suis.

ÉG : Une représentation mentale qui est efficace.

PG : Qui est efficace.

ÉG : Qui n'est peut-être pas la représentation mentale native chez l'homme.

PG : La preuve, il a fallu quand même attendre, sinon Descartes, le 17ème siècle.

ÉG : Une autre preuve c'est que dans beaucoup de pays les gens ne pensent pas comme ça. Tu vas, par exemple, dans la rue à Bombay demander ton chemin, ou je ne sais quoi. Les gens ne vont pas, ... ils ne pensent pas comme ça. Ils ne vont pas te dire : vous allez à gauche puis à droite puis à gauche. Ils vont te dire : vous allez d'abord vers le grand super marché, là, puis vous vous dirigez... La façon dont les rues, les adresses sont signalées... Peut-être sais-tu qu'à Tokyo il y a pas de nom de rue et il n'y a pas de numéros. Mais les gens ont une espèce de méthode, y compris les facteurs d'ailleurs. Par exemple, chaque fois que tu rencontres quelqu'un, tu vas montrer ta carte de visite où il y a un petit plan comment accéder, etc. Et c'est vraiment par approximations successives. Par exemple, au lieu de dire ... toi tu dis 50 cm et 70 cm. On va peut-être dire : la table, elle est décomposée entre droite et gauche, donc c'est plutôt à droite, et puis dans cette partie droite c'est plutôt proche du pinceau et puis, en fait, c'est entre, plutôt, le pinceau et les lunettes. Et en quelques phrases je te dis où ça se trouve avec presque la même précision. Peut-être même avec plus de précision.

PG : OK. On est parti d'un objet table et on se repère. On abstraitise la chose. On passe ainsi dans un autre domaine, celui de l'algèbre. Mais lorsqu'on prend l'attitude inverse. Soient deux espaces à une dimension qui existent bien : la droite X et la droite Y ; je construis pas à pas des couples (X,Y). Pour moi la question est : quelle est la réalité de cet objet que je construis comme ça ?

ÉG : Moi, je dirais, aucune !

PG : Voilà !

ÉG : Aucune. D'ailleurs ça rejoint la description de la position d'un point par un X et un Y que tu viens de vanter avec beaucoup d'énergie. Il faut bien se rendre compte ; c'est un peu du

pipeau quand même. Parce que si je te dis : je prends le point de coordonnées 50 et 70 cm et faisons le tourner de 50 degrés. Alors les nouvelles coordonnées... il faut écrire les formules, les cosinus et les sinus. Aucun être normalement constitué ne peut trouver les nouvelles coordonnées après un changement de repère. Par contre, si je dis c'est à mi chemin entre la paire de lunettes et le pinceau, là j'arriverai à le faire. C'est assez clair que l'algébrisation, comme tu dis, de la géométrie a ses limites. Elle a ses limites dans le sens où les coordonnées auxquelles nous sommes habitués depuis Descartes sont vraiment... ne sont pas des concepts naturels. Ce sont des concepts importés qu'on nous a greffé sur...

PG : L'algébrisation ou la géométrie analytique est un outil.

ÉG : Voilà.

PG : C'est un outil qui nous permet de travailler sur le réel mais ce n'est pas l'objet lui-même. Et quand on prend l'inverse, c'est-à-dire qu'on part de l'outil, l'outil va nous permettre, je dirais ... Il faut qu'il travaille sur quelque chose.

ÉG : Tu sais que les géomètres algébristes d'aujourd'hui ont une vision tout autre de l'espace... Alors j'essaie d'expliquer cela. Pour un géomètre... Euh... Tu as des idées un peu sur des choses à la Grothendieck ou pas du tout ?

PG : Pas vraiment.

ÉG : Voilà, on va dire comme ça. Tu prends l'espace avec les coordonnées X,Y. Nous, naïvement, toi et moi aussi, nous avons tendance à imaginer des petits points, des petits (X,Y) qui sont un peu collés les uns contre les autres, là, et qui fabriquent ...

PG : L'ensemble.

ÉG : L'ensemble. Un géomètre algébriste n'envisage pas les choses comme ceci. Il envisage de manière duale. Qu'est ce que ça veut dire ? Lui n'a que faire des points. Ce qui l'intéresse ce sont les fonctions sur l'espace. Donc, par exemple, il va dire : je regarde les fonctions polynomiales en X,Y. Ces fonctions polynomiales, si j'en ai deux je peux les ajouter et je peux les multiplier. Ça fait un anneau. Et pour le géomètre algébriste l'espace n'est qu'un anneau. La grande idée de Grothendieck, essentiellement, c'est de dire l'espace... c'est un anneau !

Suit un développement qui demande de posséder ou connaître le vocabulaire de l'algèbre : anneau, anneau commutatif, entiers relatifs, entiers modulo un nombre premier... On risquerait de se perdre sans un minimum de connaissances. Mais j'essaie quand même un peu ! Lorsqu'un physicien observe un objet, il utilise un appareil, qui peut par exemple être un mètre ruban pour situer un point. Que ce point « existe » ou pas, ce n'est pas important. Ce qui importe c'est la mesure qu'en donne le mètre ruban. En clair, parfois, les mesures sont plus importantes que ce qu'on mesure ! Ceci a mené les géomètres algébristes à oublier les points, et même à s'en débarrasser ! Ce qui compte c'est l'ensemble de toutes les mesures possibles. C'est précisément cela qui est encodé par une structure algébrique qu'on appelle un « anneau » : un truc formé de choses qu'on peut ajouter et multiplier, comme des mesures. Voilà pourquoi un anneau, c'est comme un espace !

Par exemple, comme tu sais, le tore est fabriqué à partir de copies du plan que l'on recolle... Eh bien, Grothendieck a inventé un concept où on recolle des anneaux et l'objet recollé s'appelle un schéma. Et le concept de schéma, c'est vraiment le concept d'aujourd'hui en géométrie algébrique....

Eh bien, les anneaux comme les plans, ils appartiennent tous les deux à ce monde des schémas. Et donc on fait en même temps de la géométrie et de l'arithmétique. C'est merveilleux, sauf que pour moi, j'y comprends pas grand chose parce qu'on a perdu cette intuition de l'espace formé de points côte à côte. Mais, quand on y réfléchit bien. Est-ce qu'un espace c'est

des points côte à côte ? On est déjà au point de la discrétisation, j'en sais rien ? Ets-ce que l'intuition qu'on a de l'espace c'est des points collés comme des sardines dans une boîte ? ... Pas forcément !

C'est à ce niveau que vient la digression sur les "maths modernes" et la définition abstraite de la droite sans aucune référence aux images intuitives que nous pouvons en avoir. Abstraction extrême aux yeux du commun des mortels, mais cette abstraction peut s'avérer nécessaire si on veut aborder des domaines inconnus et tenter d'en extraire des propriétés qui verront des retombées dans notre monde concret. Pour illustrer, je songe ici à la mécanique quantique ou bien à la relativité. Ce sont des outils qui nous permettent de comprendre le fonctionnement des éléments (en demeurant dans un domaine abstrait où nos images intuitives n'ont plus guère de sens) et ensuite d'obtenir des résultats applicables dans notre environnement. Toutefois ces outils demeurent muets ou impuissants quant à nous dire ce qu'est la réalité... sensible. Impossible de les rejeter ou les nier cependant, puisque notre sensibilité profite de leurs fruits.

PG : Les mathématiques sont pour moi un outil. Elles sont nées d'une aventure humaine, mais elles débordent cette aventure humaine et si on veut élargir notre champ de vision il faut utiliser cet outil là pour essayer de regarder... l'inconnu.

ÉG : Bien sûr.

PG : Puis cet outil là nous permettra peut-être de décrypter l'inconnu.

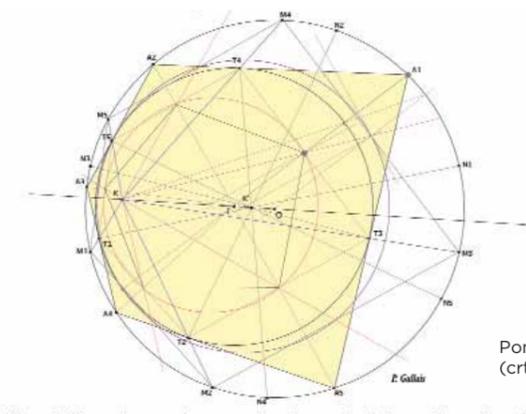
ÉG : Voilà.

PG : Alors que si je viens avec mon mètre à ruban pour mesurer une longueur d'onde...

ÉG : C'est pas la peine.

PG : C'est pas la peine.

ÉG : Je trouvais que c'était intéressant. Pour résumer notre conversation, je pense que les X et les Y sont des outils très efficaces, très pratiques, etc. Je ne suis pas persuadé, - je suis même persuadé du contraire - qu'ils aient un quelconque lien avec notre intuition de l'espace. Poincaré a encore écrit des choses là-dessus. "Il y a des gens qui disent qu'un point de l'espace est un triplet de nombre, ils se trompent". Quelque chose comme ça. Donc, bon, alors. Je crois qu'on est d'accord là-dessus. Je veux juste insister sur le fait qu'il n'est pas clair que notre intuition nous dise que l'espace c'est des petits points tassés comme dans une boîte de conserve et que, effectivement, il y a cette autre idée qui est pour le coup moderne. C'est de dire qu'un espace, c'est défini par les fonctions sur cet espace, par la mesure qu'on peut en faire. Tu as un espace qui est un peu comme une espèce de caverne, là. Je ne sais pas ce qu'il est mais je projette et j'en reçois un certain nombre d'informations, et ce sont ces informations qui me définissent en quelque sorte l'espace sans que j'ai trop à me poser de questions pour savoir si il existe.



Ponceletovi pentagoni / Pentagones de Poncelet  
(crtež / dessin: Pierre Gallais)

## ENIGMATIČNE ČESTICE

Martina Kramer (umjetnica) - Danko Bosanac (fizičar)

Martina Kramer: U okviru ove izložbe, moj rad "Penroseove zvijezde" predlaže ambivalentan prostor u kojemu se točke udvostručuju i umnožavaju putem refleksije. Ta struktura odraza izgrađena je prije svega likovnim eksperimentiranjem, tražeći načine brisanja granica i rubova, razmišljajući o potencijalnim prostorima koji latentno postoje unutar zadane fizičke građe. Jedan je prostor znači neka čvrsta arhitektura, a onaj koji će se vizualno preko njega preklapati tek je od odjeka, odraza, svjetlosnih tragova, neopipljivog. U igri postojanog i nepostojanog tako dolazi do podvostručavanja i širenja vidljivog polja.

To bi mogao biti model pojedinih principa tvari, u raznim mjerilima.

Da li bi udvostručavanje čestica moglo biti jedan od principa tajne mehanike tvari? Poznati su parovi čestica-antičestica - koji su učestali i vrlo kratkovjekni prije nego se ponište. No govori se i o parovima u supersimetriji; čestica-superčestica - zasad hipotetično predviđanje koje upućuje na tamnu (nepoznatu i nevidljivu) tvar i sugerira da svaka čestica poznate tvari ima i svoju repliku u tom "supersvijetu". Postoje li i drugi parovi koji se formiraju zrcalno - bilo simetrično ili asimetrično?

Danko Bosanac: Stvaranje čestica je zagonetka na svima razinama. Negdje je ona jednostavnija, a negdje još nedokučena. Recimo balon od sapunice. On je uvijek savršena kugla, iz jednostavnog fizikalnog zakona. To znači da ako ga malo stegnemo oko promjera i pustimo opet će se vratiti u kuglu. Međutim, ako ga stegnemo malo jače, više se ne vraća u prvotnu kuglu nego sam od sebe stvori par balona. Objašnjenje je relativno jednostavno, radi se o odnosu površine i volumena balona.

Drugi složeniji primjer je množenje stanica, recimo bakterija.

Ili primjer molekule DNA: iz jedne nastaju dvije, njenim dijeljenjem po sredini. Mehanizam je poznati, cijepa se vodikova veza koja drži zajedno dvije strune molekule. Tajna je kako se novi nukleotidi, blokovi od kojih je sagrađena, nadomještaju, tu sigurno simetrija igra ulogu. Simetrija čestica nije ništa drugo nego manifestacija temeljnih zakona prirode. Simetrije, same po sebi, ne postoje, već su zgodne za klasifikaciju čestica. Za molekule znamo odakle njihova svojstva simetrije, one su posljedica kvantnih zakona. Dakle, bez simetrija se može opisivati molekule, ali su zgodne jer olakšavaju njihovu klasifikaciju. Simetrija se može mijenjati, i to je poznato kako, recimo elektromagnetskim valovima.

Druga je stvar s elementarnim česticama. Mi o njima imamo jedino spoznaju na temelju opažanja, bez boljeg uvida u njihovu strukturu. Kvarkovi su samo empirijske veličine koje nam pomažu za klasifikaciju čestica, nešto poput simetrije za molekule. Ono što je kod tih nepoznato jest kako nastaju nove čestice. Za prijašnje primjere imamo odgovor jer znamo njihovu strukturu, i njihovo međudjelovanje s okolišem. Za elementarne čestice mi jednostavno ne znamo kako iz dvije u sudaru nastaju više njih. Ili kako raspadom jedne čestice nastaju druge potpuno drugih svojstava. Uobičajeni odgovor za stvaranje čestica je pretvaranje energije (što god to značilo) u materiju (opet, što god to značilo). Međutim problem je da je to prije svega matematički odnos, jer zašto nastaju potpuno određene čestice a ne njih beskonačno vrsta.

Analogni primjer je bubanj. Udarimo li membranu bubnja, dobije se mješavina potpuno određenih frekvencija, a ne bilo kojih. Razlog je taj što membrana može titrati samo tim frekvencijama.

MK: Možete li malo šire opisati simetriju molekula te na koji način se ona mijenja elektromagnetskim valovima?

Zatim elementarne čestice; prema zakonu očuvanja energije, ništa se zapravo novo ne stvara, već se samo radi o neprestanim transformacijama, zar ne? A te pretvorbe, između materije

i energije (što god to značilo!) i između različitih vrsta čestica, kao da su neko trajno unutarnje vrenje. Kad gledamo neki predmet u mirovanju, da li su i njegove čestice na neki način u stanju mirovanja, ili ispod nepomične površine uvijek vlada nemir elektrona?

DB: Objašnjenje simetrije, barem kod molekula, a zatim materijala (recimo simetrija kristala kuhinjske soli), relativno je jednostavno. Odmah bih napomenuo da se to jednostavno objašnjenje mora shvatiti kao analogija, ali ne kao opis stvarne prirode fizikalnih zakona koji utječu na stvaranje takove simetrije. Elektroni u atomu ponašaju se analogno kao stojni valovi, recimo na membrani bubnja. Udarcem na membranu moguće je na njoj zatirati pojedini stojni val (rezultat je samo jedna frekvencija zvuka koji se proizvede), koji ima uvijek simetrični oblik (može se vidjeti, recimo, laserom ili posipati membranu finim pijeskom). Recimo da je taj oblik trokraka zvijezda, gdje njeni krakovi predstavljaju dio membrane koji vibrira gore-dolje, a između njih membrana ne vibrira. Zamislimo sada da slažemo bubnjeve identičnog oblika i svaki s takovim stojnim valom, ali da zahtijevamo da ih se spaja samo duž linije krakova. Kao rezultat dobivamo raspored bubnjeva koji oslikava simetriju stojnog vala pojedinog bubnja. To se događa s atomima, elektroni u njima stvaraju oblike analogno tim stojnim valovima i kada se spajaju s drugim atomima tvore molekule čija simetrija odražava njihovu simetriju. Mogući oblici tih simetrija računaju se kvantnom mehanikom. Ponavljam, primjer s valovima kao objašnjenje ponašanja elektrona mora se uzeti samo kao analogija koja je dovoljno uvjerljiva da objašnjava korijen simetrije atoma i molekula.

Potpuno je druga stvar s elementarnim česticama, čija se svojstva opisuju raznim simetrijama. Odgovor na njihove korijene, objašnjenje kao za slučaj atoma, ne postoji. Te su simetrije prije svega upoznate empirijski, kao na primjer opisivanje simetrije kristala bez poznavanja kvantne mehanike.

Usporedba stojnih valova membrane bubnja i stojnih valova elektrona u atomu mora se uzeti s velikom rezervom, jer je fizikalni smisao potpuno različit. Navodi upravo na razmišljanja poput: „... ili ispod nepomične površine vlada nemir elektrona?“. Stojni val elektrona ne vibrira, stabilan jer ne proizvodi elektromagnetsko zračenje. Možda bi ga se moglo lakše opisati kao "smrznuti stojni val". "Nemir elektrona" o kojem pričate dolazi jedino ako se dva stojna vala raznih simetrija, recimo trokrake i četverokrake zvijezde, pomiješaju. Tada taj "nemir" zrači elektromagnetsku energiju i neminovno se zaustavi s čistom simetrijom, jer elektron tom simetrijom ne zrači. Naravno to je ideal, i radi malih perturbacija sa strane sve simetrije elektrona eventualno postaju "nemirne" da bi prešle u drugu simetriju, ali ima jedna koja zauvijek ostaje stabilna, kuglastog oblika (nije baš tako, ali izuzetke je teže objasniti).

MK: Koju ulogu igraju elektroni u stvaranju molekula?

DB: Svaki atom ima stanoviti broj elektrona, i da jako pojednostavim, reći ću da su atomi "neaktivni" ako imaju paran broj elektrona, a "aktivni" kada imaju neparan broj. Razlog je tome što elektroni teže biti u parovima, jedan od temeljnih zakona u kvantnom svijetu. "Aktivni" atomi teže "neaktivnosti" ne ispuštanjem jednog elektrona već da s drugim "aktivnim" atomom podijele elektrone tako da ta dva atoma čine "neaktivnu" zajednicu s parnim brojem elektrona. Ta se zajednica naziva molekula.

MK: Ako simetrija odražava pojedine temeljne zakone prirode, možemo li reći da je svaka transformacija posljedica loma simetrije?

DB: Elektroni u atomu koji ne zrači elektromagnetske valove, nalaze se u stanjima simetrije. Ta simetrična stanja nisu stanja vibracije (možemo ih u nekom općem obliku tako nazvati ali samo figurativno) jer svako stanje vibracije elektrona neminovno emitira valove i time gube energiju. Dakle stanja simetrije nisu dinamična, ona su nepromjenjiva u vremenu. Tek kad dolazi do miješanja dva ili više stanja simetrije dolazi do vibracija elektrona i tada emitiraju zračenje, to je njihova oznaka da "vibriraju". Dakle preobrazba je usko povezana s lomom simetrije.

## L'ÉNIGME DES PARTICULES

Martina Kramer (artiste) - Danko Bosanac (physicien)

Martina Kramer: Dans le cadre de cette exposition, mon travail " Etoiles de Penrose " propose un espace ambivalent dans lequel les points se dédoublent et se multiplient par réflexion. Cette structure des réflexions est construite avant tout selon l'expérimentation plastique, cherchant les moyens visuels d'effacement des limites et des bords, réfléchissant sur les espaces potentiels qui existent de manière latente au sein d'une construction physique donnée.

Un espace est donc une architecture solide, et celui qui viendra s'y superposer visuellement n'est fait que de reflets, d'échos, de traces lumineuses, d'impalpable...

Dans le jeu entre le solide et l'éphémère il se passe le dédoublement et l'élargissement du champ visuel.

Cet objet pourrait être le modèle de différents principes de la matière, à différentes échelles.

La formation des paires des particules pourrait-elle être un des principes de la mécanique secrète de la matière ?

Je pense par exemple aux paires particule-antiparticule, mais aussi aux paires dans la supersymétrie - l'hypothèse qui concerne la matière noire et suggère que chaque particule de la matière connue possède une sorte de réplique dans ce super-monde.

Pouvez-vous citer d'autres paires qui se forment comme par effet de miroir - soit symétriquement soit asymétriquement ?

Danko Bosanac : La formation des particules est énigmatique à tous les niveaux. Par certains exemples elle est plus simple, et par d'autres encore inexpliquée. Par exemple la bulle de savon. Elle constitue toujours la boule parfaite, à cause d'une loi physique simple. Si nous la pressons un peu autour de son diamètre puis lâchons, elle redeviendra boule. Mais si nous la pressons un peu plus, elle ne revient plus à sa forme initiale mais produit plusieurs bulles. L'explication est relativement simple, il s'agit de la relation entre la surface et le volume de la bulle.

Un autre exemple plus complexe est la multiplication des cellules, par exemple des bactéries. Ou bien l'exemple d'une molécule DNA : à partir d'elle, se forment deux molécules, suite à une séparation au milieu. Le mécanisme est connu, le lien d'hydrogène qui tient les deux fibres de molécules est rompu. Ce qui reste secret, c'est la question de comment les nucléotides, les blocs qui la constituent, sont remplacés, la symétrie y joue certainement un rôle.

La symétrie des particules n'est autre chose que la manifestation même des lois fondamentales de la nature. Les symétries en tant que telles n'existent pas, mais elles sont pratiques pour la classification des particules. Nous savons que les propriétés de symétries de particules sont la conséquence des lois quantiques. Nous pouvons donc décrire les molécules également sans les symétries, mais elles rendent plus facile leur classification. La symétrie peut être changée, par exemple par des ondes électromagnétiques.

La question des particules élémentaires c'est autre chose. Nous les connaissons uniquement grâce à l'observation, sans meilleur accès à leur structure. Les quarks ne sont que grandeurs empiriques qui nous aident à distinguer les particules, comme les symétries pour les molécules. Ce qui reste inconnu, c'est comment de nouvelles particules apparaissent. Pour les exemples précédents nous avons la réponse car nous connaissons leur structure et leur interaction avec leur environnement. Pour les particules élémentaires nous ne savons tout simplement pas comment dans la collision des deux apparaissent plusieurs particules. Ou encore comment une particule se décompose en plusieurs avec des propriétés différentes. La formation des particules est souvent expliquée comme la transformation de l'énergie (quelle que soit sa définition) en matière (aussi, quelle que soit sa définition). Mais le problème c'est que c'est avant tout une relation mathématique car reste la question de pourquoi apparaissent des particules précises et non un nombre infini de particules de toute sorte.

Comme c'est le cas avec le tambour. Si nous frappons sa membrane nous aurons un mélange de fréquences entièrement déterminées, et non n'importe lesquelles. La raison en est que cette membrane peut vibrer uniquement avec ces fréquences.

MK : Peut-on revenir sur la symétrie des molécules et comment peut-on la changer avec les ondes électromagnétiques ?

Ensuite les particules élémentaires ; selon la loi de la conservation d'énergie, rien de neuf ne se crée, mais il s'agit uniquement d'éternelles transformations, n'est-ce pas ? Et ces transformations entre l'énergie et la matière (quelle que soit leur définition !) et entre différentes sortes de particules, sont comme un bouillonnement intérieur permanent. Quand nous regardons un objet au repos, ses particules sont-elles également en état de repos, ou bien y a-t-il toujours une agitation des électrons sous la surface immobile ?

DB : L'explication de la symétrie, au moins pour les molécules et ensuite pour les matériaux (par exemple la symétrie du cristal de sel de cuisine), est relativement simple. Attention, cette explication simple doit être lue comme une analogie et non comme la description de la nature réelle des lois de la physique qui génèrent ces symétries. Les électrons dans l'atome se comportent comme les ondes stationnaires, par exemple sur la membrane du tambour. Avec un coup sur la membrane on peut faire vibrer une certaine onde stationnaire (ce qui résulte d'une unique fréquence de son). Cette vibration a toujours la forme symétrique qu'on peut voir si l'on saupoudre la membrane avec du sable fin, ou à l'aide d'un laser. Mettons que cette forme soit une étoile avec trois branches - les branches sont la partie de la membrane qui vibre et entre elles elle ne vibre pas. Imaginons que nous alignons les tambours de forme identique et chacun avec une telle onde stationnaire, avec l'exigence de les relier seulement le long des lignes des branches . Le résultat sera une disposition de tambour qui reflète la symétrie de l'onde stationnaire de chaque tambour. C'est ce qui se passe avec les atomes. Les électrons en eux créent les formes analogues à ces ondes et quand ils se lient aux autres atomes, il forment les molécules dont la symétrie reflète leur symétrie. Les formes possibles de ces symétries se calculent avec la mécanique quantique. Je répète que ce n'est qu'une analogie, mais qui pourrait être suffisamment convaincante pour expliquer l'origine de la symétrie des atomes et des molécules.

C'est différent avec les particules élémentaires, dont les propriétés sont décrites par des symétries diverses. On ne connaît pas la réponse sur leurs origines, comme pour les atomes. Ces symétries sont avant tout connues de manière empirique, comme par exemple la description d'un cristal sans connaître la mécanique quantique.

L'exemple des ondes stationnaires du tambour pour décrire le comportement d'un électron dans l'atome doit être pris avec précaution, car le sens physique est différent. Il induit justement à croire " qu'il y a toujours une agitation des électrons sous la surface immobile ". L'onde stationnaire de l'électron ne vibre pas, il est stable car il ne produit pas de rayonnement électromagnétique. On pourrait le décrire comme " l'onde stationnaire gelée ". " L'agitation des électrons dont vous parlez survient uniquement quand deux " ondes stationnaires " de différentes symétries, par exemples les étoiles avec trois et avec quatre branches, se mélangent. A ce moment, cette agitation irradie une énergie électromagnétique jusqu'à ce que la symétrie parfaite ne se produise, et arrête le mouvement. Bien sur c'est l'idéal, tandis que toutes les symétries de l'électron " s'agitent " à cause des petites perturbations pour passer dans une autre symétrie, mais il y en a une qui reste toujours stable, de forme en quelque sorte ronde (pas exactement, mais il est plus difficile d'expliquer les exceptions).

MK : Quel rôle jouent les électrons dans la formation des molécules ?

DB : Chaque atome possède un certain nombre d'électrons, et si je simplifie beaucoup je pourrais dire que les atomes sont " au repos " s'ils ont un nombre pair d'électrons et " actifs " si ce nombre est impair. La raison en est que les électrons ont tendance à être en paire, ce qui est une des lois du monde quantique. Les atomes " actifs " qui cherchent le " repos " ne vont pas se débarrasser d'un électron mais se réunir avec un autre atome " actif " pour

partager leurs électrons, et pour que deux atomes puissent former un ensemble “ au repos “, et cet ensemble s’appelle une molécule.



Pokus svjetlosnih projekcija u dimu (Mirjana Vodopija)  
Experience des projections lumineuses dans la fumée (Mirjana Vodopija)

MK : Si la symétrie reflète certaines lois fondamentales de la nature, peut-on dire que toute transformation soit la conséquence d’une brisure de la symétrie ?

DB : Les électrons dans l’atome qui n’irradie pas les ondes électromagnétiques se trouvent dans l’état de symétrie. Ces états symétriques ne sont pas les vibrations car chaque état de vibration émet les ondes et perd ainsi de l’énergie. Donc les états de symétrie ne sont pas dynamiques, ils sont stables dans le temps. Seulement lors d’une interaction de deux ou plusieurs états de symétrie les électrons vibrent et émettent le rayonnement.

Donc toute transformation est étroitement liée à la brisure de symétrie.

## VIDJETI KROZ TVAR

Mirjana Vodopija (umjetnica) - Davor Horvatić (fizičar)

Mirjana Vodopija: Uvijek me intrigiralo da vidim kroz tvari, a ne samo površine predmeta. Sjećam se kako sam kao dijete zadivljeno gledala kroz oblu pepeljaru od tamnoljubičastog stakla. Kroz nju sve je bilo ne samo tamnoljubičasto nego i iskrivljeno, zaobljeno. Ali zašto se svjetlo tako odražava i lomi?

Što je uopće foton i je li vječan, tj. što se događa s njim kad se ne odbije nego padne na tamnu površinu?

Davor Horvatić: Svjetlo ne radi ništa drugo nego međudjeluje s elektronima u atomskom omotaču svih tvari. Sve što vidimo je zapravo raspršenje tih fotona. Foton je pobuđenje elektromagnetskog polja gdje nije bitno da li on nastaje ili nestaje jer je to uvijek foton sa svojom energijom i pripadnom valnom duljinom.

MV: U želji da spoznam stvari trodimenzionalno, a kako nisam mogla zamisliti viđenje bez svjetla, često sam u radovima koristila poluprozirne materijale jer propuštaju barem dio svjetla u svoju unutrašnjost. No to je suprotno biti karaktera svjetla da se manifestira na površinama. Zašto su neke tvari prozirne, neke poluprozirne, a većina neprozirna, tj. koja svojstva materije određuju hoće li se svjetlo reflektirati od nje ili ne?

DH: Na to pitanje ne možemo odgovoriti bez da uronimo u kvantnu fiziku.

Zrake svjetla ne međudjeluju kada se ukrštaju koliko god snopovi bili intenzivni. Zraku svjetla u savršeno čistom zraku nećemo moći doživjeti. Samo njen trag na zidu sobe dati će nam do znanja da je tu. No, u uvjetima svakodnevice ta zraka niskog jesenskog sunca postaje igra fine prašine u zraku. Ples prašine postaje vidljiv zbog svjetlosti koja se odbija od nje i raspršuje svjetlo u raznim smjerovima.

MV: Kod vidljivih plinova fascinantno mi je to da oni nemaju rub pa se svjetlo postepeno u njima gubi odbijajući se i raspršujući od čestica koje lebde u prostoru. Zanimljivo je da smo pokušali postići trodimenzionalnu manifestaciju svjetla ukrštanjem snopova svjetla iz dva projektor. Međutim, nehomogenost dima i njegovi kovitlaci bili su vidljiviji od rubova svjetlosne forme. Kroz te kovitlance koji su s dimom i pred projektorima odjednom postali vidljivi, nenamjerno sam se vratila temi kojom se kroz svoje radove bavim zadnjih nekoliko godina, a to je kretanje zraka, najčešće nevidljivo.

DH: Bliska kretanju zraka je pojava nazvana Brownovo gibanje. Radi se o neuređenom gibanju makroskopskih čestica u fluidima kao posljedici sudara molekula tog medija s promatranim makroskopskim česticama. Npr. ukoliko mikroskopom promatramo peludna zrnca u vodi, primijetit ćemo da se ona gibaju bez nekakvog reda i pravilne putanje. Nije to nešto novo. U starom Rimu filozof i pjesnik Lukrecije u svojoj pjesmi “O prirodi stvari” daje opis gibanja čestica prašine:

“Promotrite što se događa kada svjetlost prodre u kuću i obasja sjenovita mjesta. Vidjet ćete velik broj sitnih čestica koje se miješaju na velik broj načina! Njihov ples ukazuje na pokrete skrivene od našeg pogleda! Njegov uzrok su atomi koji se kreću sami od sebe. Zatim mala tijela koja su najmanje udaljena od zamaha atoma bivaju pokretana udarima njihovih nevidljivih udaraca i zauzvrat se sudaraju s većim tijelima. Tako kretanje izvire od atoma i postupno se penje do razine naših čula, tako da su tijela koja vidimo da se kreću u sunčevim zrakama pokretana udarcima koji za nas ostaju nevidljivi.”

MV: Smjer kretanja zraka i njegovu toplinu i hladnoću osjećamo cijelom površinom kože kada ju čestice zraka dotaknu. Nakon što mozak procesira te informacije, možemo odrediti smjer iz kojeg puše vjetar i osjetiti njegovu toplinu ili hladnoću, ali ne i njegovu poziciju i kretanje u prostoru na distanci.

S vidom i sluhom je drugačije, jer se radi o valovima. Imamo samo po dvije lokacije osjetila vida i sluha na tijelu, dva oka i dva uha, no to je dovoljno da, osim što vidimo, možemo i pozicionirati viđeno u prostor dalje ili bliže od nas, i osim što čujemo, možemo locirati zvuk u prostoru, tj. znamo otprilike gdje su zvučni valovi nastali.

DH: Vid i sluh koriste valove koji imaju svoju brzinu širenja, vid fotone, a zvuk longitudinalne valove koji su u stvari promjena gustoće zraka i koji djeluju na bubnjić kao promjena tlaka. Lociranje izvora zvuka je dodatno osjetilo pored sluha, kao što je i osjet dubine dodatno osjetilo uz vid.



Davor Horvatić promatra kovitlanje dima / Davor Horvatić observe les volutes de fumée

## VOIR À TRAVERS LA MATIÈRE

Mirjana Vodopija (artiste) - Davor Horvatić (physicien)

Mirjana Vodopija : J'ai toujours été intriguée par la possibilité de voir à travers la matière, et pas seulement à travers la surface des objets. Je me souviens, quand j'étais enfant, je regardais avec émerveillement à travers un cendrier rond en verre violet foncé. A travers celui-ci, tout était non seulement violet foncé, mais aussi tordu, arrondi. Mais pourquoi la lumière se réfléchit-elle et se réfracte-t-elle ainsi ?

Au fait, qu'est-ce qu'un photon et est-il éternel, c'est-à-dire que lui arrive-t-il quand il ne rebondit pas mais tombe sur une surface sombre ?

Davor Horvatić : La lumière ne fait rien d'autre que d'interagir avec les électrons dans l'enveloppe atomique de toutes les matières. Tout ce qu'on voit en fait, c'est la dispersion de ces photons. Un photon, c'est l'excitation d'un champ magnétique où il n'importe pas s'il est créé ou s'il disparaît puisque cela reste toujours un photon avec son énergie et sa longueur d'onde respective.

MV : Dans mon désir de connaître les choses au niveau tridimensionnel, et comme je ne pouvais pas imaginer de vision sans lumière, dans mes travaux j'ai souvent utilisé des matériaux mi-transparents car ils laissent passer au moins une partie de lumière dans leur intérieur. Or cela est contraire à l'essence même du caractère qu'elle a, la lumière, de se manifester sur des surfaces. Pourquoi certaines matières sont-elles transparentes, d'autres mi-transparentes, et la plupart non-transparentes, ou bien quelles sont les propriétés de la matière qui déterminent si la lumière se réfléchira sur elle ou pas ?

DH : Nous ne pouvons pas répondre à cette question sans plonger dans la physique quantique.

Les rayons de lumière n'interagissent pas quand ils se croisent quelle que soit l'intensité des faisceaux. On ne pourra pas avoir connaissance du rayon de lumière dans un air parfaitement pur. Seule sa trace sur le mur d'une chambre nous fera savoir qu'il est là. Mais, dans les conditions quotidiennes, ce rayon du soleil bas d'automne devient le jeu d'une fine poussière dans l'air. La danse de la poussière se fait visible à cause de la lumière qui se réfléchit sur elle et disperse la lumière dans différentes directions.

MV : Ce qui me fascine dans les gaz visibles, c'est qu'ils n'ont pas de bords, de sorte que la lumière disparaît graduellement en eux en se réfléchissant, tout en se dispersant, contre les particules qui planent dans l'espace. En enfumant l'espace, nous avons essayé d'obtenir une manifestation tridimensionnelle de la lumière en croisant des faisceaux lumineux provenant de deux projecteurs. Cependant, la non-homogénéité de la fumée et ses tourbillons étaient plus visibles que les bords de la forme de lumière. Finalement, par le biais de ces tourbillons qui - avec la fumée et devant les projecteurs - étaient tout d'un coup devenus visibles, sans le vouloir je suis revenue au thème que je développe à travers mes travaux depuis maintenant quelques années, et cela c'est le mouvement - le plus souvent invisible - de l'air.

DH : Il y a un phénomène proche du mouvement de l'air. C'est le mouvement brownien. Il s'agit d'un mouvement désordonné des particules macroscopiques dans les fluides comme conséquence de chocs des molécules de ce milieu avec les particules macroscopiques observées. Par exemple, si on observe au microscope des grains de pollen dans de l'eau, nous apercevons qu'ils bougent sans un ordre établi ou une trajectoire régulière. Ce n'est pas quelque chose de nouveau. Dans la Rome antique Lucrèce, philosophe et poète, donne déjà une description du mouvement des particules de poussière dans son poème « De la nature des choses » :

“ Observez ce qui se passe quand la lumière pénètre dans la maison et éclaire des endroits ombragés. Vous verrez une multitude d'infimes particules qui se mélangent d'un grand nom-

bre de façons ! Leur danse nous révèle des mouvements cachés à notre regard ! Et sa cause est dans les atomes qui bougent d'eux-mêmes. Ensuite les petits corps qui sont le moins éloignés du mouvement des atomes sont bougés sous l'impulsion de leurs coups invisibles et entrent à leur tour en collision avec des corps plus grands. Ainsi le mouvement provient des atomes et monte progressivement jusqu'au niveau de nos sens, de manière que les corps que nous voyons bouger dans les rayons solaires sont mis en mouvement par les coups qui pour nous restent invisibles. “

MV : La direction du mouvement de l'air, ainsi que sa chaleur ou froideur, nous les sentons sur toute la surface de notre peau quand elle entre en contact avec les particules de l'air, quand ces particules touchent notre peau. Une fois fini le traitement de ces informations par le cerveau, nous pouvons déterminer la direction dans laquelle souffle le vent et nous pouvons sentir sa chaleur ou froideur, mais à distance nous ne pouvons pas déterminer sa position ni son mouvement dans l'espace.

Avec la vision et l'audition, les choses se présentent différemment car il s'agit des ondes. A chacun de nos sens – la vue et l'ouïe – correspondent seulement deux endroits dédiés sur notre corps, à savoir deux yeux et deux oreilles, mais cela est suffisant pour que nous puissions voir et aussi positionner ce que nous voyons dans l'espace plus proche ou plus loin de nous-mêmes, et pour que nous puissions entendre mais aussi localiser le son dans l'espace, c'est-à-dire savoir à peu près d'où viennent les ondes sonores, où elles ont été produites.

DH : La vue et l'ouïe utilisent des ondes qui ont leur vitesse de propagation – la vue a les photons, et le son les ondes longitudinales, qui sont en fait une variation de la densité de l'air et qui agissent sur le tympan comme changement de pression. Le pouvoir de localiser la source d'un son est un sens supplémentaire à celui de l'ouïe, tout comme la sensation de profondeur est un sens supplémentaire à celui de la vue.



Eksperimentiranje Mirjane Vodopije i Davora Horvatića sa svjetlosnim projekcijama u dimu.  
Expérimentation de Mirjana Vodopija et Davor Horvatić avec des projections lumineuses dans la fumée.

## GOSTI ZNANSTVENICI (citati)

*Ideja vodilja mojeg razmišljanja o nevidljivom: umjetnosti i znanosti je zajedničko to što čine misao vidljivom.*

*Ako se vidljivo spoznaje putem osjetila (opažanjem), nevidljivo se spoznaje kontemplacijom. Kontemplirati, cum (sa) – templum (kvadratni prostor koji na nebu i na zemlji određuje prorok, prostor proročanstva, prostor za interpretaciju proročanstva). Otkad je postao laički, taj pojam označuje čin gledanja na način apsorpiranja u pogled na predmet, u smislu apstrahiranja.*

*Ono što je stvar po sebi, njezinu numenalnu stvarnost, nećemo nikada saznati, kaže Kant, moramo se zadovoljiti pričanjem o fenomenima. Zar to nije isto što se događa i fizičarima elementarnih čestica? Što oni uistinu znaju o nuklearnom spinu, o pravoj prirodi elektrona? Osim onoga što teorije i spektralne slike pokazuju, omogućujući vidljivost reakcije čestica pod prisilom (na primjer magnetskog polja). Znanstvenik ne stvara nevidljivo, zadovoljava se time da vidljivo pokaže ono što je o nevidljivome shvatio, ili čak ono što je o njemu iskonstruirao. Promišljati stvarnost, proizvesti je i učiniti vidljivim ono što je prethodno napisano upravo odvajajući se od njezinih manifestacija i njezinih prividnih oblika.*

Allain Glykos

*Intuicija nije u centru istraživanja neuroznanosti. Počnimo tek malo-pomalo otkrivati što je svijest. Intuicija će doći kasnije, nije još na redu.*

*Danas kad znamo da možemo nesvjesno percepirati i da je mogući broj konekcija između neurona gotovo neizmjeran, u vezi s intuicijom mogli bismo pretpostaviti da mozak radi na neki način u pozadini, backgroundu (nepovezano s našom sviješću) i da nekim još nepoznatim postupkom rezultati tog rada pristižu s vremena na vrijeme u svijest.*

*Moja osobna interpretacija tog procesa (a koja postoji i u nekim publikacijama u obliku hipoteze), jest da ukoliko vrljenje konekcija podliježe teorijama kaosa koje ovdje izgledaju prikladne, to onda dovodi do brojnih konkretizacija u vidu vjerojatne misli, koje na trenutak pristižu u svijest i koje svjesna misao može uhvatiti ili ne.*

*Možemo pretpostaviti i da svijest hvata te podražaje iz pozadine tim lakše kad mozak nije upregnut u logična i racionalna svjesna razmišljanja o tome.*

*Tada bismo mogli reći da intuicija ima najviše šanse da pristigne u svijest ako si pojedinac dozvoli opuštanje, udaljavanje od racionalnosti, dapače ako se prisili na udaljavanje od svojih preokupacija, te sanjari, ili meditira, ili gaji neke stvari koje bi se mogle učiniti besmislenima, ili izlazi iz svakog kadra itd.*

*Sve te interpretacije su osobne i ništa od toga zasad nije dokazano. No recimo da mi izgleda vjerojatno.*

Annie Obadia

Moderna fizika nas uči da proniknuvši u atomski svijet sva fizička značenja bivaju vezana uz sam istraživački akt i da bez kristalizacije u strogo matematičke oblike ne bismo mogli transcendirati preko vidljive stvarnosti.

U našem dobu notorna je stvar da najrazvijenije matematičke apstrakcije često prethode eksperimentu i da tako fantastične tvorevine kao Hilbertov prostor s beskonačno mnogo dimenzija ili da apstraktna teorija grupa i matrica nalaze najadekvatniju primjenu u istraživanju strukture mikrosvijeta.

Poučeni iskustvom iz povijesti znanosti s jedne strane, a s druge strane razvitkom i duhom koji u našem dobu vlada pojedinim znanostima, teško je zamisliti da matematika ne krije u sebi model stanja u mikrosvijetu. Čini mi se da jedan nevjerovatno adekvatan analogon predodžbi materije koja je sva šupljikava i porozna, a u manifestacijama (u svojoj pojavnosti) čvrsta i kompaktna, daje jedna posebna klasa kompaktnih prostora, tzv. Dijadski kompakti. Dijadski kompakti građeni su na naročitom skupu, tzv. Cantorovom skupu.

Erika Kramer



prikaz Cantorovog skupa / une représentation de l'ensemble de Cantor

Posebna uloga matematike u znanosti zasniva se na činjenici da ona proučava strukture koje duh može proizvesti svojim slobodnim sljedovima, ograničenima jedino logikom (...) Matematika je skladište struktura intuitivnih slika, iz kojega može crpiti znanost kad slike iz našeg svakodnevnog života postanu nedovoljne. To je slučaj i s kvantnom mehanikom u vezi beskonačno sitnog, ili s općom relativnošću za brzine blizu brzine svjetlosti. Matematika pruža strukture kojima fizika pridružuje stvarnost.

Doživljaj strukturira promatrani predmet na određeni način, a to je slično fenomenu kvantne mehanike gdje svaka fizikalna veličina ima više mogućih vrijednosti, sve dok joj promatranje ne dodijeli jednu određenu vrijednost.

Svjetlost je tada bila smatrana vibracijom... ali vibracijom čega? Vibracija tradicionalno znači da nešto vibrira - voda, zrak (kao što je slučaj za zvučne vibracije, odnosno zvuk), opruga, žica... ali, za svjetlost moglo se raditi jedino o nekoj vrlo čudnoj stvari: uistinu, svjetlost se prenosi kroz sideralnu prazninu. Njegov medij širenja zvan eter mora dakle ispunjavati čitav svemir.

Jacques Mandlbroyt

## LES SCIENTIFIQUES INVITÉS (citations)

*L'idée qui constitue le fil conducteur de ma réflexion sur l'invisible : l'art et la science rendent visible la pensée.*

*Si le visible s'appréhende par nos sens (la perception), l'invisible s'appréhende par la contemplation. Contempler, cum (avec) – templum (espace carré délimité dans le ciel est sur terre par l'augure, présage divinatoire, pour interpréter des présages). En se laïcisant le terme a désigné le fait de regarder en s'absorbant dans la vue de l'objet, au sens de s'abstraire.*

*Ce qu'est la chose en soi, la réalité nouménale, dit Kant, nous ne le saurons jamais, nous devons nous contenter de parler des phénomènes. N'est-ce pas aussi ce qui advient aux physiciens des particules élémentaires. Que savent-ils réellement du spin nucléaire, de la nature réelle de l'électron ? Sinon, ce dont les théories et les images spectrales rendent compte en rendant visibles les réactions de ces particules soumises à des contraintes (champ magnétique par exemple). Le scientifique ne reproduit pas l'invisible, il se contente de rendre visible ce qu'il en a compris, voir même ce qu'il en a construit. Penser le réel, le fabriquer et rendre visible ce que l'on a pu écrire en s'abstrayant de ses manifestations, de ses apparences.*

Allain Glykos

*Tout d'abord l'intuition n'est pas au centre des recherches en Neurosciences. On commence tout doucement à entrevoir ce que pourrait être la conscience. L'intuition viendra après et tout cela n'est pas encore d'actualité.*

*Ce qui pourrait être plausible (mais pas prouvé) concernant l'intuition, dans la mesure où l'on sait maintenant que nous pouvons avoir des perceptions inconscientes et que par ailleurs le nombre de connexions possibles entre les neurones atteint un nombre quasi incommensurable, c'est que le cerveau travaille en quelque sorte en back-ground (à l'insu de notre conscience) et que par un processus encore inconnu les résultats de ce travail affleurent de temps à autre à la conscience.*

*Mon interprétation personnelle sur le processus en question, que je retrouve dans quelques publications à l'état d'hypothèse, est que le fourmillement des connexions, s'il obéit aux théories du chaos qui semblent ici appropriées, conduit à de nombreuses concrétisations en terme de pensée plausible, qui par moments affleurent à la conscience et sont captées ou non par la pensée consciente.*

*On peut aussi supposer que l'affleurement conscient se produit plus facilement si le cerveau n'est pas par ailleurs occupé à des raisonnements logiques et rationnels conscients.*

*On pourrait alors dire que l'intuition a plus de probabilité d'affleurer à la conscience si un individu s'autorise à se détendre, à s'écarter de la rationalité, voire à s'obliger à se détacher de ses préoccupations, à réviser, ou à pratiquer la méditation, ou à cultiver ce qui par ailleurs paraît farfelu, ou encore à sortir du cadre, etc. .*

*Toutes ces interprétations sont personnelles et rien de tout cela n'est actuellement prouvé. Disons c'est ce qui me paraît plausible.*

Annie Obadia

*La physique moderne nous apprend qu'à l'intérieur du monde atomique toutes valeurs physiques sont liées à l'acte même de l'observation et que nous ne pourrions pas transcender la réalité visible sans passer par la cristallisation dans les formes mathématiques strictes.*

*A notre époque il est notoire que les abstractions les plus développées souvent précèdent l'expérience, et que les inventions aussi fantastiques que l'espace de Hilbert avec un nombre infini de dimensions ou encore la théorie abstraite des ensembles et des matrices, trouvent l'application la plus adéquate dans la recherche concernant la structure du monde microscopique. Instruits par l'expérience de l'histoire des sciences d'un côté, et de l'autre par le développement et de l'esprit qui règne à notre époque dans certaines sciences, il est difficile d'imaginer que les mathématiques ne cachent pas en elles le modèle des états du monde microscopique. J'ai l'impression qu'une analogie étonnamment adéquate pour la représentation de la matière qui est toute poreuse et perméable, et dans ses manifestations (son apparence) solide et compacte, pourrait être une sorte d'espaces compacts dyadiques. Ces espaces sont construits sur un ensemble particulier, sur l'ensemble de Cantor.*

Erika Kramer

*Le rôle particulier des mathématiques dans la science tient au fait qu'elles sont à l'étude des structures que peut engendrer l'esprit dans son libre développement limité par la seule logique (...)*

*Les mathématiques sont, on le verra, un réservoir de structures et d'images intuitives, dans lequel la science puise lorsque les images issues de notre expérience quotidienne ne sont plus valables. C'est le cas de la mécanique quantique pour l'infiniment petit, ou de la relativité pour les vitesses voisines de la vitesse de la lumière. Les mathématiques fournissent donc les structures auxquelles la physique assimile le réel.*

*Par la sensation, un objet devient, me semble-t-il, structuré de façon déterminée, ce qui ressemble au phénomène de la mécanique quantique, où une grandeur physique a plusieurs valeurs possibles, mais où le fait de l'observer lui donne une valeur déterminée.*

*La lumière était alors considérée comme une vibration...mais une vibration de quoi ? Une vibration suppose traditionnellement quelque chose qui vibre, que ce soit l'eau, l'air (comme c'est le cas pour les vibrations acoustiques, c'est-à-dire le son), un ressort, un corde...mais, pour la lumière, il ne pouvait s'agir que d'une matière bien curieuse : en effet, la lumière se transmet à travers le vide sidéral. Son milieu de propagation appelé éther doit donc imprégner tout l'espace.*

Jacques Mandelbrojt

## DOGAĐAJI DRUGDJE EVENEMENTS AUTRES

U sklopu projekta organizirano je nekoliko događaja izvan glavne izložbe, zahvaljujući partnerima kako u Zagrebu, tako i u Aix-en-Provenceu.

## ZAGREB

### Tehnički muzej

Izložba se sastoji od radnih dokumenata vezanih uz prostornu konstrukciju i eksperimentiranje, crteže, otiske, skice, dvodimenzionalne radove, instalacije in situ, videa. Postavljena je u kontekst Tehničkog muzeja kako bi se naglasak stavio na sam proces tehničkog i vizualnog istraživanja koje prethodi umjetničkom djelu, te kako bi umjetnički postupak bio smješten u drugačiju perspektivu. Pripremni radovi prikazani su ravnopravno s djelima na papiru i video radovima mobilnih objekata iz opusa pojedinih umjetnika.

Izložba *Strukture nevidljivog* u Tehničkom muzeju je održana od 17. travnja do 17. svibnja 2014. Uoči otvorenja izložbe održano je predavanje Jean-Marca Lévy-Leblonda *Odnos između umjetnosti i znanosti danas*.



Martina Kramer predstavlja projekt *Strukture nevidljivog* na Festivalu znanosti.

Martina Kramer présente le projet *Structures de l'invisible* au Festival de la science.

U okviru Festivala znanosti (travanj 2014.) prikazan je film Etiennea Ghysa *Dimenzije, matematička šetnja*, kao dio službenog programa. U sklopu istog programa, Martina Kramer predstavila je projekt "Strukture nevidljivog".

## Akademija likovnih umjetnosti

Fizičar Davor Horvatić održao je seriju od osam predavanja o suvremenoj fizici studentima Akademije likovnih umjetnosti.

Marine Antony održala je predavanje o svom umjetničkom radu i vodila je radionicu na temu interaktivne instalacije, uz primjere vlastitog iskustva, za studente preddiplomskih i diplomskih studija ALU.

Studenti ALU sudjelovali su u postavu izložbe u Galeriji Klovićevi dvori: Paula Bučar, Ružica Dobranić, Edita Ercegović, Katarina Fabijanić, Lidija Ferenčak, Žaljka Glagolić, Igor Husak, Jelena Lovrec i Ivan Oštarčević.

## Institut Ruđer Bošković

Predavanje Jean-Marca Lévy-Leblonda *Prikazivanje prostora i vremena u suvremenoj fizici i matematici*. Znanstvenici Instituta priredili su doček ovom uglednom francuskom fizičaru i organizirali, osim predavanja, nekoliko stručnih i neobaveznih susreta.

## AIX - EN - PROVENCE

Izložba *Strukture nevidljivog* održat će se u Fondaciji Vasarely u jesen 2014. U suradnji sa svojim redovitim partnerima, Fondacija priprema i druge događaje u gradu.

## École d'art d'Aix-en-Provence

Umjetnici i znanstvenici projekta održat će predavanja i sudjelovati na okruglim stolovima.

Radionice temeljene na okosnicama projekta *Strukture nevidljivog*.

Studenti akademije sudjelovat će u postavu glavne izložbe.

## Association Seconde Nature

Ova udruga koja predstavlja i brani digitalnu umjetnost, ugostit će izložbu jednog umjetnika povezanog s projektom *Strukture nevidljivog* u istom razdoblju.

Udruga Seconde Nature povezana je s hrvatskom udrugom Kontejner, čije je područje djelovanja slično ili ekvivalentno, s ciljem izgradnje budućih razmjena, u nastavku ovog inicijalnog projekta.

Autour de l'exposition principale, d'autres événements sont prévus et organisés dans des lieux partenaires, à Zagreb, comme à Aix-en-Provence.

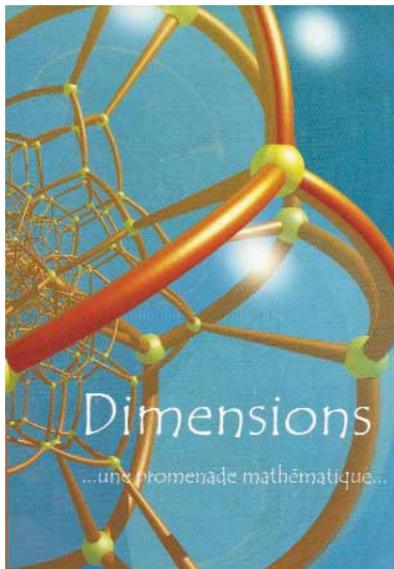
## ZAGREB

### Musée des sciences et techniques (Tehnički muzej)

Exposition de travaux en lien avec la construction et l'expérimentation relatives au thème principal et aux œuvres réalisées dans l'espace de l'exposition principale. Dessins, estampes, esquisses, documents, installation dans l'espace, vidéos. Cette exposition se situe dans le contexte d'un musée scientifique afin de valoriser le processus de recherche visuelle et technique qui précède la réalisation d'une œuvre d'art, et déplacer ainsi la démarche artistique dans une autre perspective. Les travaux préparatoires sont montrés au même titre que les œuvres sur papier et des vidéos des objets mobiles qui dévoilent d'autres travaux des artistes participants.

Exposition *Structures de l'invisible* au Tehnicki muzej : du 17 Avril au 17 Mai 2014.

Conférence de Jean-Marc Lévy-Leblond avant le vernissage de l'exposition : " La relation art-science aujourd'hui ".



Dans le cadre du Festival de la Science (Avril 2014), le film " Dimensions, une promenade mathématique " d'Etienne Ghys est projeté dans le programme officiel.

Ce programme comprend aussi la présentation du projet " Structures de l'invisible " par Martina Kramer.

### Institut Ruđer Bošković

Dans cet institut scientifique majeur de Croatie, la communauté scientifique accueille Jean-Marc Lévy-Leblond. Sa présence à l'IRB comprend des rencontres et une conférence « Les représentations de l'espace et du temps dans la physique et les mathématiques contemporaines ».

## Académie des Beaux Arts de Zagreb (Akademija likovnih umjetnosti)

Huit conférences sur la physique contemporaine sont données aux étudiants des Beaux-Arts, par le physicien Davor Horvatic.



Davor Horvatic drži predavanje o fizici studentima Akademije likovnih umjetnosti u Zagrebu.

Davor Horvatic donne la conférence sur la physique aux étudiants des Beaux Arts de Zagreb.

Marine Antony a donné une conférence et proposé un atelier sur la création et l'installation des œuvres interactives, sur l'exemple de ses expériences, auprès des étudiants de la dernière année d'études.

Les étudiants de l'Académie des Beaux-Arts ont participé au montage de l'exposition à la Galerie Klovicevi dvori: Paula Bučar, Ružica Dobranić, Edita Ercegović, Katarina Fabijanić, Lidija Ferenčak, Žaljka Glagolić, Igor Husak, Jelena Lovrec i Ivan Oštarčević.

## AIX-EN-PROVENCE

La Fondation Vasarely proposera l'exposition « Structures de l'invisible » à l'automne 2014. En collaboration avec ses partenaires réguliers à Aix-en-Provence, d'autres événements sont prévus.

### L'Ecole d'Art d'Aix-en-Provence

Conférences et tables rondes présentées par les artistes et les scientifiques du projet. Ateliers autour des thèmes principaux du projet « Structures de l'invisible » Les étudiants de l'Ecole d'Art participeront au montage de l'exposition principale.

### Association Seconde Nature

Cette association qui présente et défend la création numérique, accueillera l'exposition d'un artiste en lien avec le projet « Structures de l'invisible » pendant la même période. L'association Seconde Nature est mise en relation avec l'association croate Kontejner, dont le terrain d'action est proche ou équivalent, pour élaborer de futurs échanges, en continuation de ce projet initial.

## MARINE ANTONY

(1986) živi u Poitiersu (FR)  
Studij na likovnoj akademiji Ecole européenne supérieure de l'image u Poitiersu, te na sveučilištu u Montrealu. Njezini radovi koncipirani su na razmeđu disciplina, zvuk i pokret upisuju se u likovno tkanje. U svojim instalacijama istražuje perceptivne potencijale prostora. Nakon nedavno završenog studija (2009), izlaže i sudjeluje u znanstveno-umjetničkim projektima širom svijeta.  
<http://marineantony.net>

(1985), vit à Poitiers  
Etudes d'arts plastiques à L'Ecole européenne supérieure de l'image à Poitiers, et de la danse et des nouveaux médias à l'Université de Montréal. Ses travaux sont conçus à la lisière de plusieurs disciplines, le son et le mouvement s'inscrivent dans le tissage plastique et visuel. Elle explore des transformations perceptives de l'espace.  
<http://marineantony.net>

## DANKO BOSANAC

(1946) fizičar. Živi u Zagrebu (HR)  
Diplomirao teorijsku fiziku i molekularne znanosti. Aktivan na međunarodnom planu, između ostalog kao gost profesor na svjetskim sveučilištima, voditelj međunarodnih projekata, inicijator i voditelj interdisciplinarnog bijenalnog simpozija Brijuni Conferences, predsjednik udruženja Center for Inquiry u Hrvatskoj. Područja istraživanja: atomska i molekularna fizika, elektromagnetska interakcija s nabojima te astrofizika.

(1946) physicien. Vit à Zagreb (HR)  
Diplômé de physique théorique et des sciences moléculaires. Actif sur le plan international, notamment en tant que professeur invité dans les universités, directeur de projets internationaux, initiateur du symposium scientifique interdisciplinaire Brijuni Conferences, président du Center for Inquiry croate. Interference, image réalisé par calcul mathématique ; deux faisceaux de particules passent par des ouvertures posées face à face. Ses champs de recherche sont la physique atomique et moléculaire, l'interaction électromagnétique, astrophysique.

## ELIAS CRESPI

(1965) živi u Parizu  
Unuk konstruktivističke umjetnice i sin matematičara, prvo slijedi informatičko obrazovanje. Ta iskustva postat će osnovom njegova umjetničkog rada, u kojem digitalna programacija upravlja pokretom zračnih crteža. Između kontinuiteta i dekonstrukcije, ove forme od lakih materijala evociraju pojedine unutarnje principe materije.  
<http://ateliercrespin.tumblr.com>

(1965) vit à Paris  
Petit fils d'artiste constructiviste et fils des mathématiciens, il suit d'abord une formation d'informaticien. Ces connaissances deviendront le support de son travail artistique, où la programmation numérique guide le mouvement des dessins aériens. Entre la continuité et la déconstruction, ces formes en matériaux légers évoquent certains principes intérieurs de la matière.  
<http://ateliercrespin.tumblr.com>

## IVANA FRANKE

(1973) živi u Berlinu (DE)  
Studij na odjelu grafike na ALU u Zagrebu. Na stjecištu mikroskopskih i makroskopskih ustrojstava tvari i svjetla, zamišlja prostore i prostorne crteže koji su ujedno fikcija znanstvenih prijedloga i nositelji taktilno-osjetilne stvarnosti. Brojne izložbe u Hrvatskoj i svijetu, te na međunarodnim manifestacijama suvremene umjetnosti.  
[www.ivanafranke.net](http://www.ivanafranke.net)

(1973) vit à Zagreb et à Berlin  
Après des études à l'Académie des Beaux Arts de Zagreb, elle a participé à plusieurs programmes de recherche à New York, au Japon et à Berlin. Nombreuses expositions et sélections dans des manifestations d'art contemporain internationales. Ses dernières échanges avec les scientifiques concernent la recherche en neuroscience autour de la vision les yeux fermées. Ses oeuvres sont construites sur les observations mathématiques, physiques et spatio-temporelles, qu'elle traduit en dessins lumineux déployés dans l'espace.  
[www.ivanafranke.net](http://www.ivanafranke.net)

## TOMMI GRÖNLUND & PETTERI NISUNEN

(1967 i 1962) žive u Helsinkiju (FI)  
Nakon studija arhitekture, osnivaju umjetnički duo 1993. Istražuju prirodne fenomene i sile poput magnetizma, gravitacije, topline, borealnih aurora. Njihove su prostorne instalacije zasnovane na znanstvenim konceptima, koje sofisticiranim mehanizmima prenose u sferu osjetilnog i poetičnog. Brojne izložbe u svijetu i na međunarodnim izložbama suvremene umjetnosti.  
<http://g-n.fi>

(1967 et 1962) vivent à Helsinki  
Leur collaboration a débuté en 1993. Ils travaillent à partir des phénomènes naturels et immatériels, comme le magnétisme, la chaleur, et même les aurores boréales. Ayant plusieurs formations leur domaine s'étend à l'architecture et à la musique électronique. Nombreuses expositions et commandes publiques dans différents pays.  
<http://g-n.fi>

## PIERRE GALLAIS

(1950) živi u Lyonu (FR)  
Umjetnik i matematičar. Njegovi su prostorni radovi zasnovani na matematičkim principima, postavljeni u odnosu na arhitekturu, istražuju unutarnje principe oblika i mehanizme percepcije prostora. Brojne izložbe, suradnje s glazbenicima i scenografska ostvarenja. Redovite intervencije u sklopu sveučilišnih i stručnih skupova o odnosu umjetnost-znanost.  
[www.institutdemathologie.fr](http://www.institutdemathologie.fr)

(1950) vit à Lyon  
Après les études en mathématiques, il s'engage dans la recherche artistique et visuelle. Ses réalisations plastiques fondées sur les principes mathématiques comprennent les expositions personnelles, collaborations avec les musiciens et travaux scénographiques. Dans ses installations construites en relation avec l'architecture, il examine les principes intérieurs des formes et les mécanismes de la perception de l'espace.  
[www.institutdemathologie.fr](http://www.institutdemathologie.fr)

## ÉTIENNE GHYS

(1954) matematičar. Živi u Lyonu (FR)  
Njegova područja istraživanja su geometrija i sustavi dinamike. Istraživač i profesor na Ecole normale supérieure u Lyonu. Autor je filmova *Dimenzije: matematička šetnja*, te *Kaos, matematička avantura* i urednik časopisa.

(1954) vit à Lyon  
Mathématicien, professeur et directeur de recherche à l'École normale supérieure de Lyon. Ses domaines de recherche sont principalement la géométrie et les systèmes dynamiques. Rédacteur en chef de la revue Images des mathématiques. Il a réalisé le film pédagogique Dimensions, une promenade mathématique, construit en images de synthèse. Dimensions, une promenade mathématique, un dvd illustrant à l'aide d'images de synthèse une représentation des dimensions supérieures.

## DAVOR HORVATIĆ

(1976) fizičar. Živi u Zagrebu.  
Docent na Fizičkom odsjeku zagrebačkoga Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Usavršavao se u Austriji, Poljskoj i Rusiji, a glavna su područja njegova istraživanja fizika kritičnih fenomena i kvantna kromodinamika. Organizator domaćih i međunarodnih konferencija te popularizator znanosti. Aktivan na približavanju znanosti i umjetnosti.

(1976) physicien, vit à Zagreb.  
Professeur à l'Université de Zagreb. Il a suivi des spécialisations en Autriche, Pologne et Russie. Ses domaines de recherche sont la physique des phénomènes critiques et la chromodynamique quantique. Organisateur des conférences nationales et internationales, il s'engage également dans la popularisation de la science. Actif dans les rapprochements avec le domaine artistique.

## MARTINA KRAMER

(1965) živi u Rustrelu (FR)  
Studij slikarstva na ALU u Zagrebu i umjetnosti na ENBA u Lyonu. Živi u Francuskoj od 1989. U radu, koji i u svojim prostornim oblicima nosi obilježja slikarskih principa, preispituje načine na koje temeljni elementi vidljivosti utječu na izgradnju spoznaje i iskustva. Od 2003. osmišljava i ostvaruje više projekata koji postavljaju u odnos umjetnost i fiziku. Brojne izložbe u Francuskoj, Hrvatskoj i drugim europskim zemljama.  
[www.martinakramer.net](http://www.martinakramer.net)

## JEAN-MARC LÉVY LEBLOND

(1940) fizičar i esejist. Živi u Nici (FR)  
Djeluje u područjima teorijske fizike, epistemologije, te kritike i povijesti znanosti. Objavio je više knjiga i eseja u vezi s tom tematikom. U svojoj zadnjoj knjizi *La science n'est pas l'art*, nudi niz tekstova o suvremenim umjetnicima i izabranim likovnim djelima. Urednik časopisa *Alliage* (kultura, znanost i tehnika), te urednik biblioteke *Otvorena znanost* kod nakladnika Seuil.

## ISABELLE SORDAGE

(1964) živi u Nici (FR)  
Studij zvuka na likovnoj akademiji Ecole des Beaux Arts Villa Arson u Nici. Istražuje prostorne dimenzije i likovne oblike zvuka. Osnivačica i voditeljica umjetničke rezidencije Atelier expérimental u Clansu, posvećene umjetničkim projektima koji se bave osjetilnom percepcijom i koji grade specifične odnose sa znanošću.  
<http://www.isabelle-sordage.fr>

## MIRJANA VODOPIJA

(1963) živi u Zagrebu (HR)  
Studij na ALU u Zagrebu. Polazeći od zaključka da je vidljivo tek jedna mogućnost od mnogih, njeni radovi ispituju vezu između perceptivnog aparata i stanja svijesti. Svjetlosne skulpture u prostoru ili poetični prikazi strujanja zraka dovode promatrača u doticaj s unutarnjim silama pojavnosti. Profesorica na ALU. Brojne izložbe i nagrade u Hrvatskoj i inozemstvu.  
<http://www.mirjanavodopija.net>

(1965) vit à Rustrel, dans le Vaucluse  
Elle a étudié la peinture à l'Académie des Beaux Arts de Zagreb, et l'art à l'ENBA de Lyon. Nombreuses expositions en Europe depuis 1989. Depuis 2003, elle élabore plusieurs projets en regard avec des concepts physiques. Ses oeuvres expérimentent la relation entre la matière, la lumière et la pensée. Construites toujours par rapport au corps dans l'espace, elles cherchent à déplacer les frontières entre la perception sensible et raisonnée.  
[www.martinakramer.net](http://www.martinakramer.net)

(1940) vit à Nice  
Physicien et essayiste, critique et historien de la science. Ces travaux de recherche portent essentiellement sur la physique théorique et l'épistémologie. Fondateur de la revue *Alliage* (culture, science technique), il dirige la collection science ouverte au Seuil. Il a publié des ouvrages pédagogiques sur la physique, et de nombreux essais qui interrogent la position de la science dans l'histoire et la culture générale, ses rapports à la société, ses reflets dans l'art.

(1940) vit à Nice  
Physicien et essayiste, critique et historien de la science. Ces travaux de recherche portent essentiellement sur la physique théorique et l'épistémologie. Fondateur de la revue *Alliage* (culture, science technique), il dirige la collection science ouverte au Seuil.  
<http://www.isabelle-sordage.fr>

(1963) vit à Zagreb  
Études à l'Académie des Beaux Arts de Zagreb. Avec une approche poétique du monde sensible, elle construit des formes imaginaires des relations physiques intérieures ou met en scène ou en évidence l'impact des courants invisibles sur des supports visibles. A partir du constat que le visible n'est qu'une variante parmi les possibles, elle construit des propositions qui interrogent le lien entre l'appareil perceptif et l'état de conscience.  
<http://www.mirjanavodopija.net>

# STRUCTURES OF THE INVISIBLE

## STRUCTURES OF THE INVISIBLE

international project 2014/2015

concept: Martina Kramer

*Physical reality is nothing but the overlapping of imaginary possibilities.*

Alain Connes, mathematician

How to approach the unknown, or the very limits of knowledge, how to shed light on the link in human consciousness between the material and the non-material world?

Free proposals for and interpretations of answers to these questions have long been in the domain of artists, but science is also created on the foundations of intuition, concepts and testing ideas in material experiments. In this art and science are similar, they both try to grasp reality and its internal principles. Sometimes they enter into the mystery of phenomena and customs blindly, armed with their drawings, equations and hypotheses.

When artists think about the invisible structures of light, sound, matter, bodies, they project their perceptions or imaginary structures into space, thus transforming it.

Links between these forms and scientific concepts exist, but they are not direct. The specific quality of the art approach lies in going beyond any previous model, in forming what has not yet been seen and is unique.

The project Structures of the Invisible has been conceived as a crystallisation of these observations. Parallel with the exhibition, there will be talks among artists and scientists about the hidden principles of matter, light, waves and space, and about the links that will arise between particular artworks and scientific concepts. The exhibition will be accompanied by a book, conceived as a science-art essay based on the shared lines of thought and the talks, and a visual part with works from the exhibition and additional illustrations.

Science-based images and ideas inspire and deepen art research. The enigmas of reality open the mind up to curiosity; it does not seek to classify into spheres but aims to synthesise and unify human perceptions.

These are the fields of experiencing in which the works of the artists invited function. They share a degree of dematerialisation and deconstruction of the known visual or sound tapestry. In collaboration with science, they point to the dark side of knowledge and unexplored fields of consciousness, and explore the way in which certain hidden principles imperceptibly govern the perceptible world.

Organisation of the Project in Zagreb

## GALERIJA KLOVIĆEVI DVORI

This former Jesuit monastery, a building dating from the 17th/18th c., was reconstructed as a museum in 1982. The Gallery has four independent exhibition areas, each on its own floor, in which exhibitions of various kinds are simultaneously mounted. It does not specialise in any particular art period but offers historical, thematic, monographic and contemporary exhibitions.

The exhibition Structures of the Invisible will be mounted on the second floor, on about 1400 m<sup>2</sup>, in about twenty separate rooms.

## TECHNICAL MUSEUM

This museum of science, engineering and industrial adventure is in a large wooden building constructed in 1948 for the International Fair. The Museum was founded in 1954, and has been in this building since 1959.

Besides the halls of the permanent exhibit, the museum has two lecture halls and two halls for occasional exhibitions.

We have had talks with the new museum director Markita Franulić. Wishing to renew the life and activities of the museum, she is opening up new perspectives, among them showing links between science and art, and connections between science and general culture.

Organisation of the project in Aix-en-Provence

## FONDATION VASARELY

The Vasarely Foundation in Aix-en-Provence was established in the early seventies, and in 1976 inaugurated in a building designed by Victor Vasarely. This large building, most of which is taken up by the permanent exhibit of Vasarely's monumental works, is a self-standing work of architecture made in the spirit of the artist's style. The ground plan comprises sixteen hexagons on two levels. The area for occasional exhibitions is about 800 m<sup>2</sup>, on the ground and first floors.

Founded during the peak of kinetic-constructivist-optic researches in the seventies, the Foundation also aimed at preserving works and documents from that original period, and at organising exhibitions and following new researches in contemporary art, especially those which were in any way a continuation of the main features of the initial course: visual experimentation, issues concerning perception and the structure of matter and space, links with scientific research and cooperation with scientists.

The Foundation also organises concerts, lectures and teaching workshops.

Structures of the Invisible is compatible with the programme of the Vasarely Foundation in many ways. The exhibition will be accompanied by meetings and round tables, and several complementary events in Aix-en-Provence.

The Foundation presented the project to the city of Pecs in Hungary, and preparations are being made to organise the exhibition there in the spring of 2015.

## ACTIVITIES IN THE CITY

Just as several institutions and partners will cooperate in organising events accompanying the exhibition in Zagreb, so several associations and institutions will partner the project in Aix-en-Provence.

Besides the exhibition and meetings in the Vasarely Foundation itself, a programme is being prepared with the art academy (École d'art), the Seconde Nature association, which is active in the promotion of art research in new technologies.

## OPTIC AND KINETIC EXPERIMENTS IN ZAGREB - the research heritage

The work of the artists in this project is related with the optic and kinetic research of the sixties and seventies that has been promoted by the Vasarely Foundation since its beginnings, and it perpetuates the spirit of experimentation and the study of form and movement conducted by Victor Vasarely and his contemporaries.

There are also links between this kind of research, important in art history, and the city of Zagreb, where it had already begun in the fifties making Zagreb between 1960 and 1974 one of the international meeting-grounds for this new experimental practice. The New Tendencies Movement and the international exhibitions of the same name regularly gathered the most important artists of that period, among them members of the GRAV group and others.

This art period takes an important place in Croatian contemporary art history, as shown by the large collection of works and the permanent exhibit of the Contemporary Art Museum in Zagreb.



Victor Vasarely for his exhibition in Zagreb, 1968

## ARTISTS AND SCIENTISTS

### MARINE ANTONY

(1986), lives in Poitiers (FR)

Studied at the art academy École européenne supérieure de l'image in Poitiers, and at Montreal University. Her works are conceived on the boundary of disciplines, with sound and movement inscribed in a visual tapestry. In her installations she researches the perceptive potentials of space. Having recently completed her studies (2009), she is exhibiting and participating in science-art projects worldwide.  
<http://marineantony.net>



*Black over blue, 2011*

A darkened space is defined by a series of rectangles, 110 identical aluminium tablets hanging parallel with the walls. Each tablet is black on one side, fluorescent on the other.

### ELIAS CRESPIN

(1965) lives in Paris

Grandson of a constructivist artist and son of a mathematician, he was first educated in computer science. This experience became the basis for his artwork, in which digital programming controls the movement of air drawings. Between continuity and deconstruction, these forms made of lightweight materials bring to mind certain internal principles of matter.  
<http://ateliercrespin.tumblr.com>

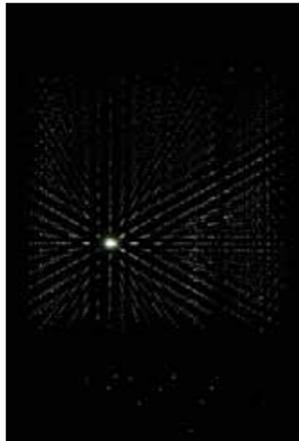


*Plano flexionante circular 5, 2014*

Mobile sculpture, a hanging form composed of 32 thin metal rods. A digital mechanism moves this round design, following the principles of waves, distortion and dispersion.

## IVANA FRANKE

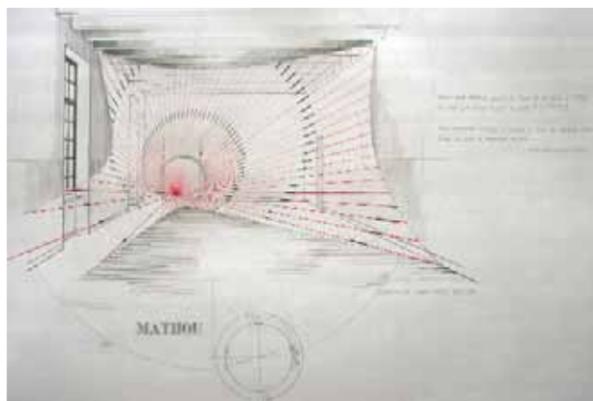
(1973) lives in Berlin (DE)  
Studied at the Graphic Art Department of the Academy of Fine Arts in Zagreb, Croatia. At the meeting-place of the microscopic and macroscopic structures of matter and light, she imagines spaces and spatial drawings that at the same time fictionalise scientific proposals and carry palpable-sensory reality. Many exhibitions in Croatia and abroad, and at international contemporary-art events.  
[www.ivanafranke.net](http://www.ivanafranke.net)



*Instants of visibility, 2009*  
Aluminium structure, tulle, electric motor.  
Projection of light on a moving structure immersed in darkness.

## PIERRE GALLAIS

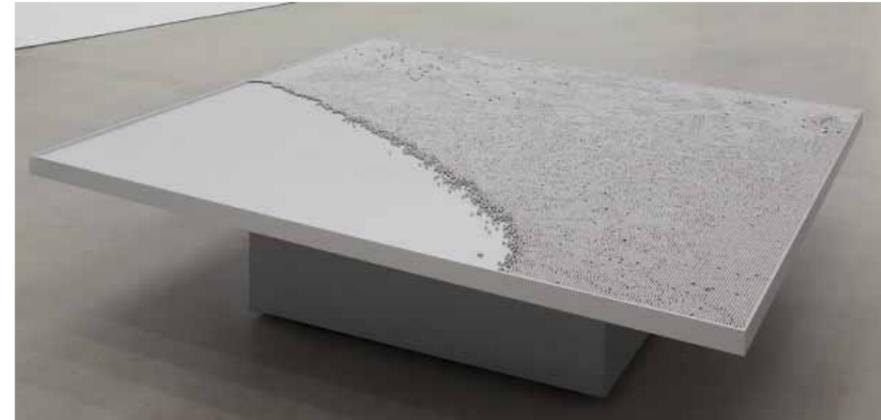
(1950) lives in Lyon (FR)  
Artist and mathematician. His artworks are based on mathematical principles and set up in relation to the architecture; he researches internal principles of form and mechanisms of spatial perception. Many exhibitions, cooperation with musicians and stage design, regular contributions at university and professional symposiums on the art-science relationship.  
[www.institutdemathologie.fr](http://www.institutdemathologie.fr)



*Mathou, 2006*  
Materialisation of cones and light surfaces in space, laser A circle bound by lines made of fluorescent wires.

## TOMMI GRÖNLUND & PETTERI NISUNEN

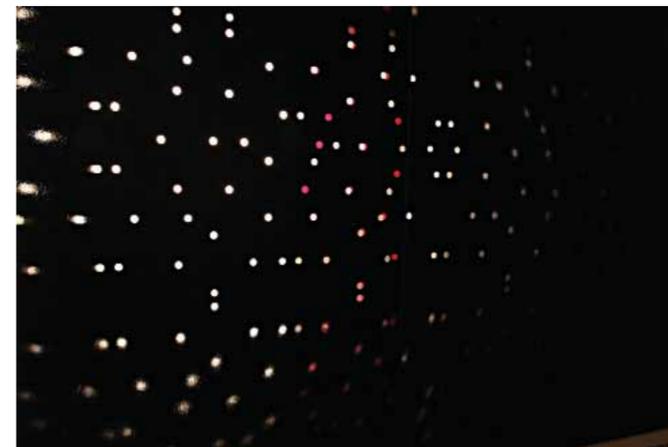
(1967 and 1962) live in Helsinki (FI)  
After studying architecture, they founded an art duo in 1993. They research natural phenomena and forces such as magnetism, gravitation, heat, aurorae borealis. Their installations are based on scientific concepts, which they transfer to the sensory and poetic sphere by using sophisticated mechanisms. Many exhibitions worldwide and at international contemporary-art exhibitions.  
<http://g-n.fi>



*Unstable Matter, 2013*  
Steel balls on a movable structure that contains a motor and control mechanism.  
As the surface slowly inclines, thousands of little balls move and create a different design every time, accompanied by the sound of rolling.

## MARTINA KRAMER

(1965) lives in Rustrel (FR)  
Studied painting at the Academy of Fine Arts in Zagreb, Croatia, living in France since 1989. In her work, which even in its spatial forms is characterised by principles of painting, she examines how the basic elements of visibility affect the development of perception and experience. Since 2003 she has conceived and executed several projects featuring a relationship between art and physics. Many exhibitions in France, Croatia and other European countries.  
[www.martinakramer.net](http://www.martinakramer.net)



*Permeable borders, 2011*  
The overlapping and doubling of infinite space. A wooden volume of variable dimensions defined by external light and internal reflections.

## ISABELLE SORDAGE

(1964) lives in Nice (FR)

Studied sound at the art academy École des Beaux Arts Villa Arson in Nice. Researches the spatial dimensions and visual forms of sound. She is the founder and head of the artists' residence Atelier expérimental in Clans, devoted to art projects in sensory perception that build up specific relations with science.

<http://www.isabelle-sordage.fr>



*Drawing box, 2010-2011*

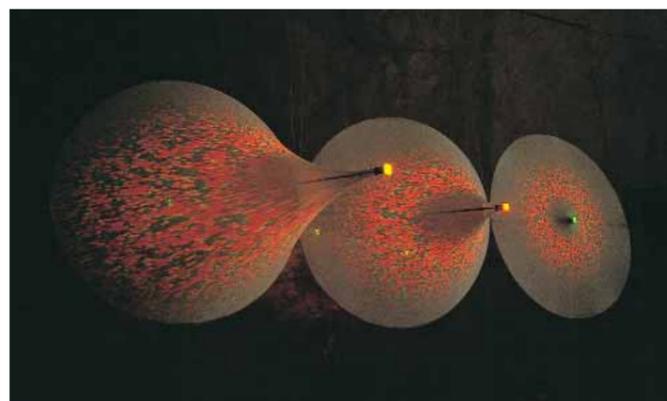
The parabolic reflectors and the wall are painted the same colour (for example, red) creating a velvety atmosphere. Sound waves rebound from the reflectors and create a drawing in space.

## MIRJANA VODOPIJA

(1963) lives in Zagreb (HR)

Studied at the Academy of Fine Arts (ALU) in Zagreb, Croatia. Starting from the belief that the visible aspect is only one of many possibilities, her works examine the connection between the system of perception and the state of the consciousness. Three-dimensional light sculptures or poetic displays of air currents bring the viewer in touch with the internal forces behind the perceptible. Professor at the ALU. Many exhibitions and awards in Croatia and abroad.

<http://www.mirjanavodopija.net>



*Satellites*

The same image is projected on three objects, describing a transition from plane to volume. Creates an impression of visual acceleration.

## JEAN-MARC LÉVY LEBLOND

(1940) physicist and essayist. Lives in Nice (FR)

His fields are theoretic physics, epistemology, criticism and history of science. He has published several books and essays in these fields. His most recent book *La science n'est pas l'art* contains many texts about contemporary artists and selected artworks. He is editor-in-chief of the journal *Alliage* (culture, science and engineering) and directs the Open Science collection by the publisher Seuil.

## ÉTIENNE GHYS

(1954) mathematician. Lives in Lyon (FR)

Research in geometry and dynamical systems, researcher and professor at the École normale supérieure in Lyon. Author of the films *Dimensions: a walk through mathematics* and *Chaos: an adventure in mathematics*, and editor of the journal *Images des mathématiques*.

## DANKO BOSANAC

(1946) physicist. Lives in Zagreb (HR)

Graduated in Theoretical Physics and Molecular Sciences. Visiting professor at a number of universities, investigator in international science projects, organisator of a biannual symposium Brijuni Conferences, president of Center for Inquiry in Croatia. His fields of research are atomic and molecular physics, electromagnetic interaction with charges, astrophysics.

## DAVOR HORVATIĆ

(1976) physicist. Lives in Zagreb (HR)

Teaches at the University of Zagreb. His fields of research are critical phenomena and quantum chromodynamics. Organises national and international conferences. Promotes popular science and relations between art and science.

Katalog izložbe / Catalogue d'exposition  
STRUKTURE NEVIDLJIVOG / UMJETNOST - ZNANOST

Nakladnik / Éditeur:  
Galerija Klovićevi dvori, Jezuitski trg 4, Zagreb

Za nakladnika / Sous la direction de:  
Marina Viculin

Urednica / Redaction:  
Martina Kramer

Tekstovi / Textes:  
Martina Kramer, Marina Viculin, Pierre Vasarely, Danko Bosanac, Etienne Ghys, Davor Horvatić,  
Jean-Marc Lévy-Leblond, Isabelle Sordage, Pierre Gallais, Mirjana Vodopija

Prijevod na francuski i hrvatski jezik / Traduction en français et en croate:  
Barbara Martinec, Martina Kramer

Prijevod na engleski / Traduction en anglais:  
Nikolina Jovanović

Lektura i korektura francuskog teksta / Relecture du texte français:  
Ina Pouant

Lektura i korektura hrvatskoga teksta / Relecture du texte croate:  
Katarina Srdarev

Design:  
Boris Greiner

Fotografije / Photographies:  
Pascal Maillard, Umang Bhattacharyya, Akshat Jain, Andrea Rossetti i umjetnici / et les artistes

Tisak / Imprimerie:  
Kerschhoffset d.d.

Naklada / Tirage:  
600

Copyright © Galerija Klovićevi dvori, Zagreb, Hrvatska, 2014, Fondation Vasarely, Aix-en-Provence, France.

Isbn broj : 978-953-271-078-6

CIP  
Zapis dostupan u računalnomu katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 875610.

*Posebna zahvala Ini Pouant i Jeanu de Breynu.  
Remerciements à Ina Pouant et à Jean de Breyne.*

INSTITUT  
FRANÇAIS



Galerie P'Ollave



FONDATION VASARELY