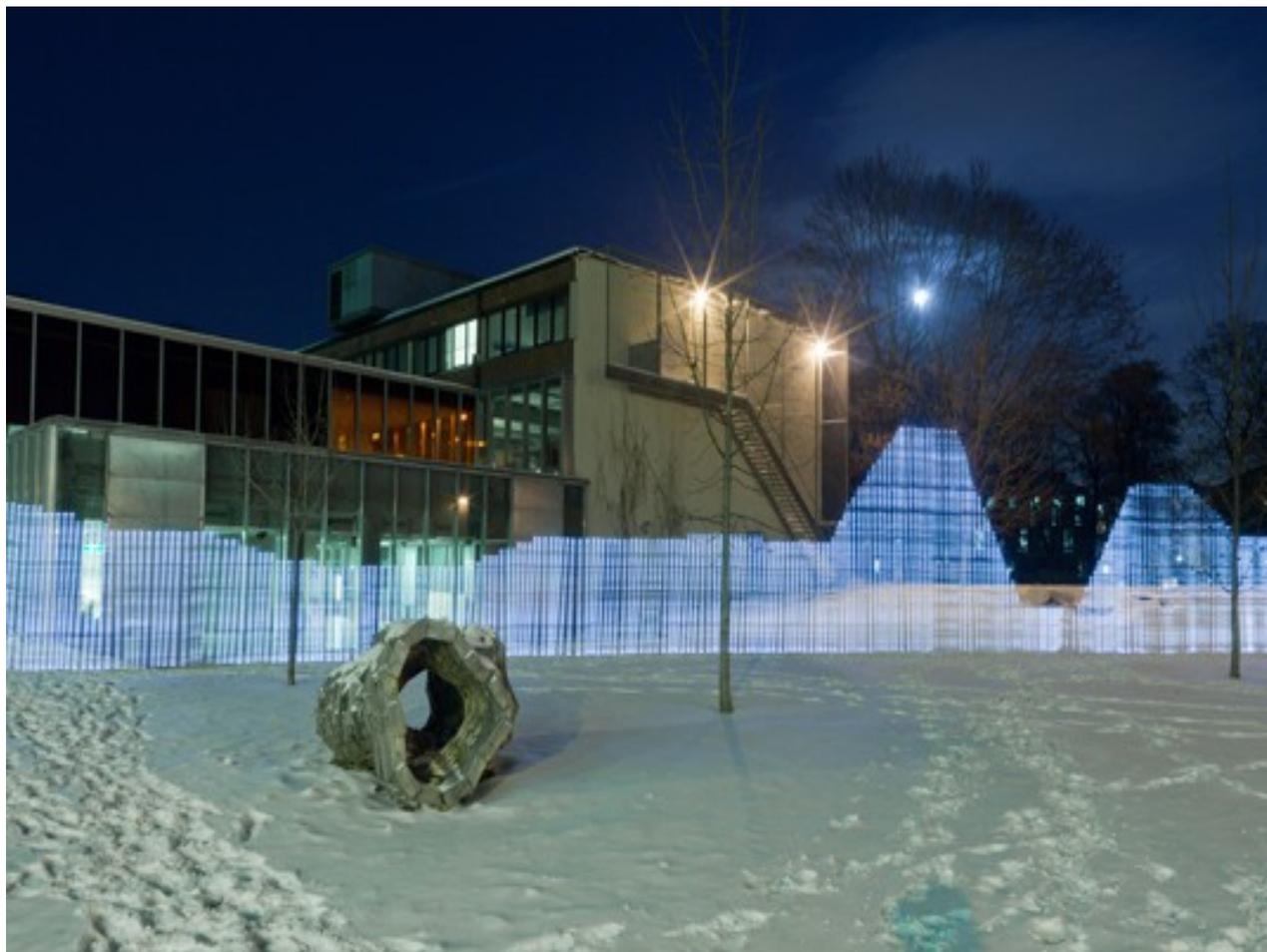


# Dossier pédagogique

## L'ÉNERGIE DES ONDES



YOUrban, *Light painting WiFi*, 2011

**Un espace d'énergie**  
**Des phénomènes ondulatoires** p 2  
**Des mécaniques d'échanges** p 3

**Des énergies transposées**  
**Dévoiler les ondes** p 5  
**Composer avec les ondes** p 6

**À découvrir...** p 7

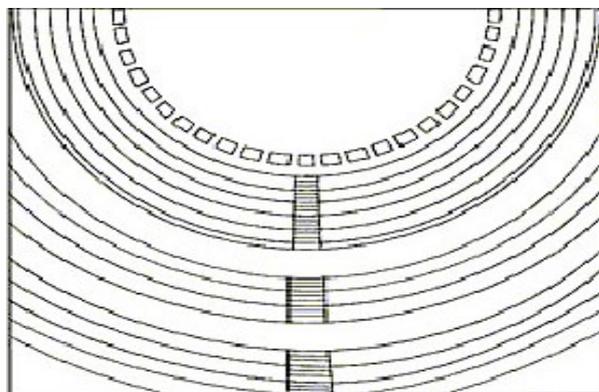
# Un espace d'énergie

## Des phénomènes ondulatoires

Une onde transporte de l'énergie sans transporter de matière. Physiquement parlant, une onde est un champ, c'est-à-dire une zone de l'espace dont les propriétés sont modifiées.

### Le son

« L'idée que le son est un phénomène ondulatoire est très ancienne. Il semble qu'elle ait été suggérée pour la première fois par l'architecte romain Marcus Vitruvius Pollio, il y a environ 2 000 ans [1er siècle avant JC]. Préoccupé par l'architecture des amphithéâtres, où il est essentiel de contrôler l'écho, il comparait le son à des vagues d'eau qui se déplacent dans l'espace "onde après onde". »  
Eugène Hecht, Physique, 1999, De Boeck.



Von Guericke montre pour la première fois en 1672, que la transmission d'un son ne peut se faire qu'en présence d'un milieu contenant une quantité de matière suffisante. Pour ce faire, il plaça une sonnerie d'alarme sous une cloche de verre. À mesure qu'il pompait l'air sous la cloche, le son devint de plus en plus faible. Lorsque le vide fut quasi total, alors que l'on voyait l'alarme fonctionner, on n'entendait pas le son. Ainsi, plus le milieu était dense, plus la vitesse de propagation du son était grande.



Les hémisphères de Magdebourg, Otto von Guericke.

C'est selon ce principe qu'en 1822 les physiciens Gay-Lussac et Louis Arago mesurèrent pour la première fois la vitesse du son dans l'air. Munis d'un chronomètre et d'une longue-vue, ils se postèrent à 20 kilomètres de distance d'une batterie de canon.

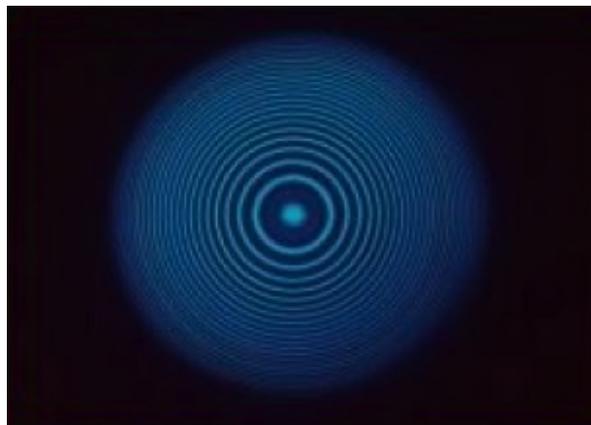
Le temps s'écoulant entre la lueur s'échappant de la bouche du canon et la détonation leur permit de calculer une vitesse de propagation de 340 mètres par seconde.

### La lumière

La vitesse de la lumière dont on parle usuellement est une transmission d'information dans le vide, à 300 000 kilomètres par seconde. Il y a dans le vide des variations du champ électrique et du champ magnétique, mais ces champs ne nécessitent aucun support matériel. Pendant plus de deux siècles, deux conceptions sur la nature de la lumière se sont ainsi développées et affrontées : la théorie corpusculaire et la théorie ondulatoire.



La première était défendue par Isaac Newton pour qui la lumière était composée de particules dont les masses différentes provoquent sur notre rétine des sensations distinctes : les couleurs. La propagation rectiligne de la lumière et la réflexion découlaient logiquement de ce concept qui s'imposera longtemps encore après sa mort survenue en 1727.



La théorie ondulatoire de la lumière est avancée par Christian Huygens dans les années 1670. Huygens travaille alors sur les lois de réflexion et de réfraction, imaginant la lumière comme une vibration se transmettant de proche en proche dans un milieu : l'éther. En 1801, Thomas Young parvient quant à lui à mesurer les longueurs d'ondes de la lumière. Enfin, Augustin Fresnel découvre, 10 ans plus tard, la nature transversale des ondes lumineuses et,

grâce à celle-ci, explique de façon convaincante tous les phénomènes de polarisation. James Clark Maxwell, en 1865 puis en 1873, précisera la nature électromagnétique de cette onde.

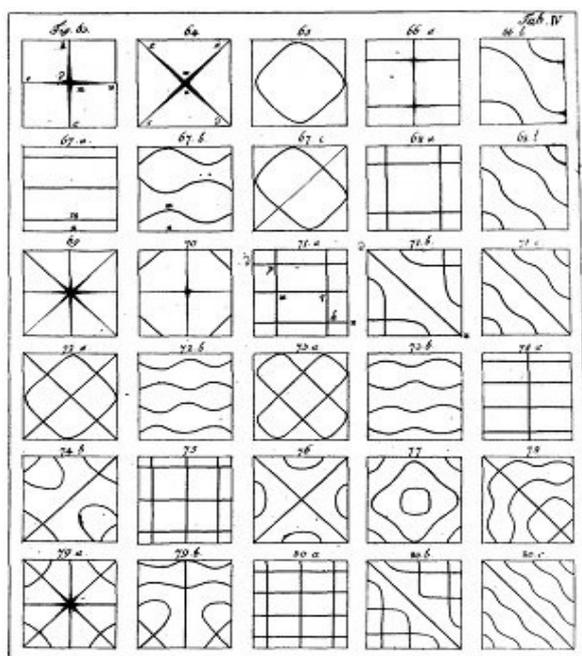
Les approches ondulatoires et corpusculaires furent réunies par Albert Einstein lorsque celui-ci établit le modèle du photon en 1905, dans ses travaux sur l'effet photoélectrique.

## Des mécanismes d'échanges

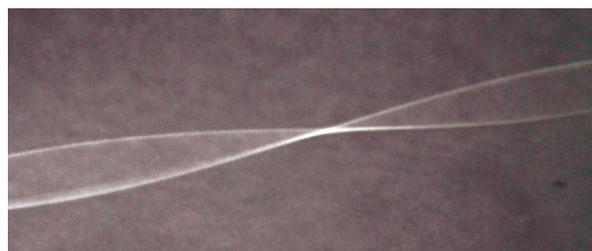
**Pour comprendre les mécanismes qui sont à l'origine des comportements, il y a un concept essentiel : celui des mécanismes d'échanges d'énergie entre différents objets.**

### Les ondes mécaniques

Les ondes mécaniques nécessitent un support matériel pour se propager, telles les vagues sur l'eau par exemple. Né au milieu du XVIIe siècle, Robert Hooke, philosophe, architecte et ayant une connaissance approfondie dans un grand nombre de domaines scientifiques fut sans doute le premier à observer un phénomène aujourd'hui nommé « cymatic ». Les « cymatics » sont des formes créées par l'action d'une onde sonore sur un support (plaque de métal, de verre...) sur lequel on a placé un matériau meuble tel que du sable, de la farine, de l'eau... Ce phénomène fut plus particulièrement étudié par Ernst Chladni, physicien Allemand né au XVIIIe siècle, qui donna son nom aux formes qu'il avait observé.



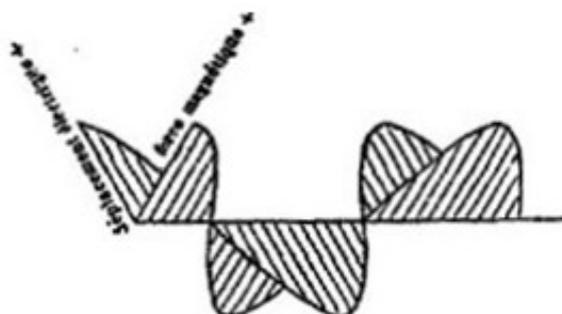
Certaines sources montrent que Leonard De Vinci et Galilée avaient une connaissance vague de ce phénomène et que certaines tribus africaines l'utilisaient également depuis des millénaires dans la pratique d'art divinatoires...



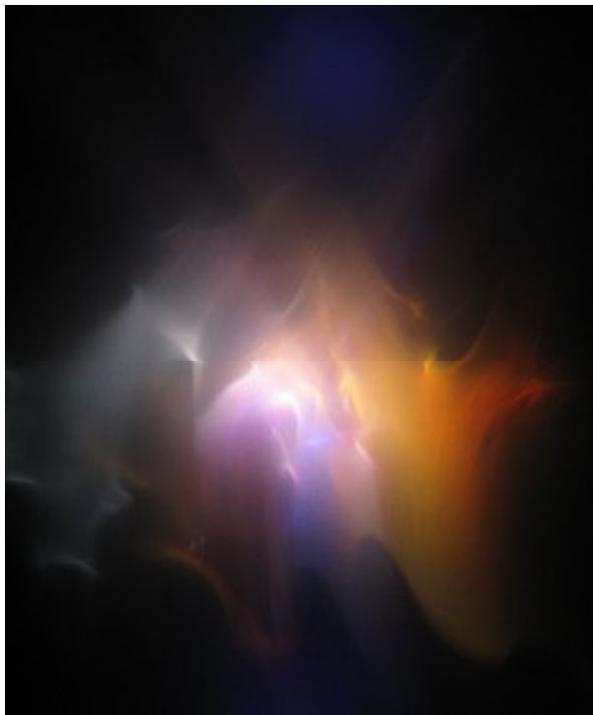
Au XIXe siècle, Franz Melde mène une expérience scientifique sur les ondes stationnaires produites sur une corde tendue reliée à un vibreur électrique. Cette expérience tente de démontrer que les ondes mécaniques subissent des phénomènes d'interférences. Dans « la corde de Melde », les ondes mécaniques progressives voyageant dans des directions opposées forment des points fixes, appelés nœuds. Ces ondes sont appelées ondes stationnaires par Melde car la position des nœuds et des boucles est statique.

### Les ondes électromagnétiques

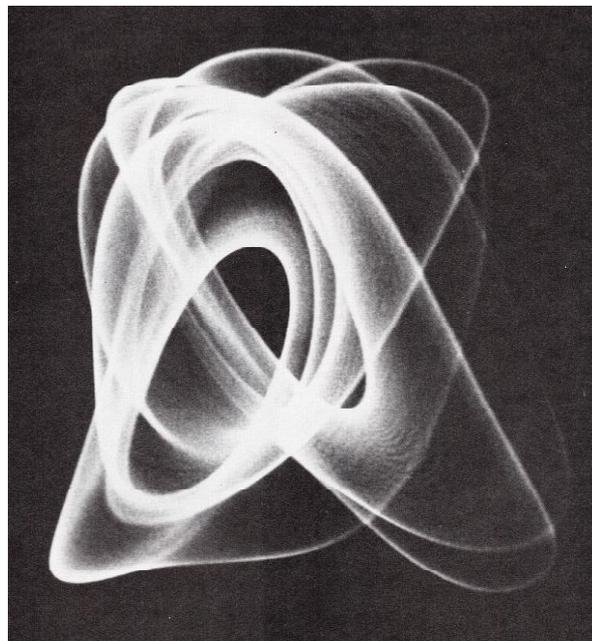
Les ondes électromagnétiques, telle la lumière, peuvent se propager dans le vide. Comme n'importe quelle onde, elles sont caractérisées par leur longueur et leur fréquence. Elles comportent à la fois un champ électrique et un champ magnétique ayant le même nombre de répétitions d'un phénomène dans chaque seconde, une même fréquence. Les ondes électromagnétiques vont des basses fréquences (lumière visible, ondes radio...) aux hautes fréquences (rayon X, rayonnement gamma...).



C'est vers 1905 que Thomas Wilfred commence à expérimenter des œuvres de lumière avec des morceaux de verre coloré. Bien que de nombreuses personnes aient fait l'expérience de la lumière comme médium artistique (notamment la couleur des organes) Wilfred a été le premier à parler de la lumière comme un art officiel. Il a ainsi inventé le terme « Lumia ».



Dans les années 1950, l'artiste et ingénieur Ben Laposky photographie la série des *Oscillons*, ondes électriques produites par les oscilloscopes cathodiques. Il compare ces dessins géométriques lumineux à de la musique visuelle. *« Les abstractions, comme nous l'avons montré, sont créées par des ondes électriques, tout comme la musique se compose d'ondes sonores. Les motifs sont abstraits et mathématiques, tout comme la musique est, pour une très large part, abstraite et mathématique. »*



Le *Paik-Abe Synthesizer* (développé techniquement par Shuya Abe) est un instrument que le musicien et compositeur coréen Nam Jun Paik a surtout utilisé dès 1965 pour décomposer des images de télévision. Il créait un collage électronique d'impulsions électroniques manipulées avec du matériel enregistré à la télévision et des images abstraites générées par rétroaction. Le principe esthétique prépondérant dans les œuvres de Paik est la décomposition et la déconstruction de matériaux visuels.



# Des énergies transposées

## Dévoiler les ondes

Énergies et sens sont questionnés dans de nouvelles conceptions, rendant poétiquement visible les interactions.

### Ondes et environnement

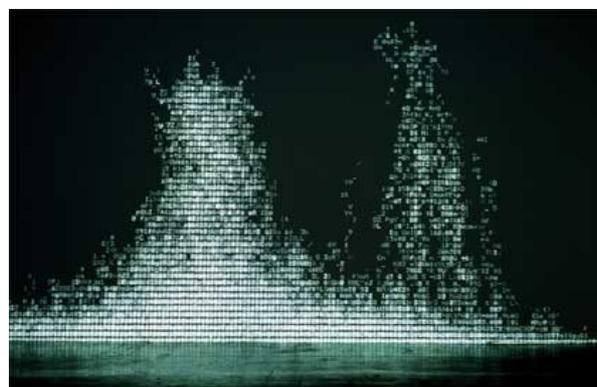
Artiste de Land Art, Richard Box réalise *The Field* en 2004. « *Alors que j'étais artiste en résidence au département de physique de l'Université de Bristol, un ami m'a raconté qu'enfant, un simple tube fluo devenait un sabre laser quand il jouait à proximité des pylons à haute tension.* » Composé de 1 300 néons usagés plantés en plein champ sous une ligne électrique de 400 000 volts, *The Field* rend alors visible ce phénomène invisible. Éclairé par ces 1 300 néons, le champ devient une partition visuelle au sein de laquelle chacun peut déambuler.



*Tropique* d'Étienne Rey est une installation environnementale, un espace vide de matière, qui se densifie en ondes sonores et lumineuses, activées et modulées par la présence et l'activité humaine. Ce projet de 2010 met en lien la perception de l'espace liée au mouvement, à la lumière et au son. Les personnes qui se situent dans l'espace sont entourées d'une aura lumineuse et sonore qui fluctue en fonction des mouvements et de la proximité des corps, un monde doté d'intelligence perceptive.

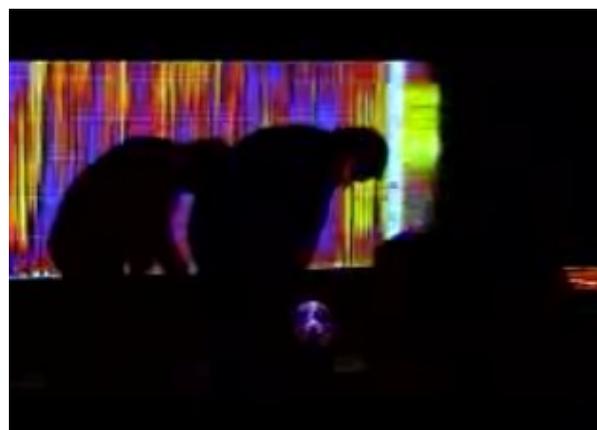


Pour son projet *Electrical Walks* entamé en 2007, Christina Kubisch porte un casque spécialement conçu pour la capture des signaux électromagnétiques issus de l'environnement. Signaux qu'elle convertit en sons afin de créer des compositions. *Magnetic Nets*, par exemple, est composé d'enregistrements de portes anti-vol de grands magasins à travers le monde. Les sons (entendus chez Esprit, Gap ou H & M) sont semblables ou très similaires partout dans le monde : la mondialisation se manifeste ainsi par des sons de sécurité.



### Ondes et technologies

En 2007 également, allant des émissions radars aux fours à micro-onde, Ewen Chardronnet et Benjamin Cadon analysent et comparent l'impact des fréquences radio et des rayonnements quotidiens auxquels est soumis notre corps, questionnant d'une manière plus générale, le cercle magique dessiné par la science et la technologie face au vivant et à l'écosystème. Leur travail interroge sous des formes variées (installations, vidéos, concerts...) les conséquences sociales, environnementales et culturelles des usages des technologies.



Rendre visible l'invisible. C'est également l'exercice auquel se sont pliés en 2010 les norvégiens de YOUrban à l'aide d'une antenne « faite maison » de quatre mètres de hauteur. Cette antenne reçoit les ondes Wi-Fi et traduit leur intensité sous forme de lumière. Des photographies à exposition longue permettent de fixer les résultats. On redécouvre alors une ville où des paysages invisibles deviennent enfin perceptibles. Ils ont ainsi réussi à mettre en lumière ce que l'on ne voit pas et qui pourtant structure nos villes, le Wi-Fi.

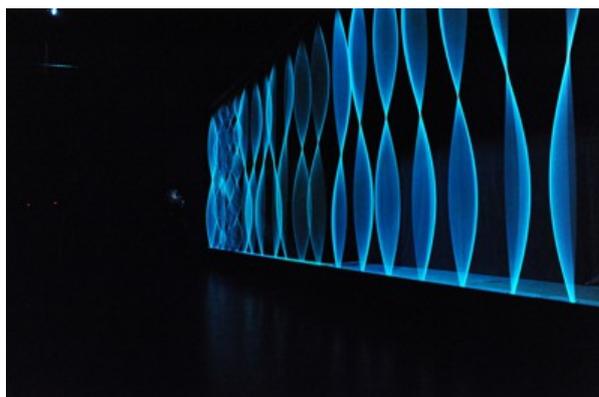


## Composer avec les ondes

« L'ouverture d'un monde donne aux choses leur mouvement et leur repos, leur éloignement et leur proximité, leur ampleur et leur étroitesse. » Heidegger

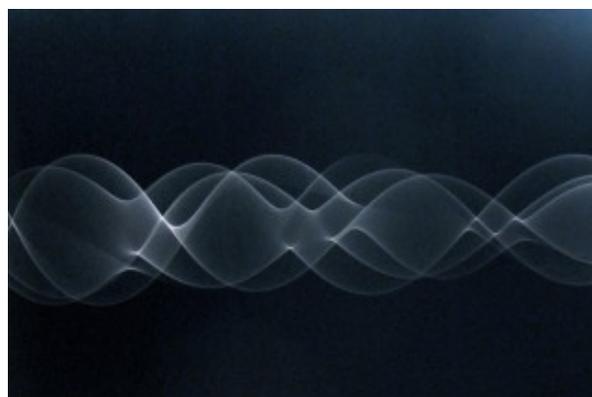
### La corde de Melde

L'idée qui sous-tend *Tripwire* (2012) est celle de visualiser un son, d'apercevoir une réalité invisible, de rendre apparent un phénomène audible. Cette expérience scientifique, ou plutôt ce phénomène physique se produit entre autres lorsque l'on tend une corde et qu'on la relie à un moteur électrique. Celle-ci crée des actions vibratoires, et des modes de résistance apparaissent créant des ondes stationnaires dans le temps et des figures en trois dimensions. À l'instar de Franz Melde, Ashley Fure et Jean-Michel Albert ont décidé de pousser cette illusion optique plus avant en manipulant le phénomène physique dans le but de représenter une onde sonore. Le dispositif, simple et épuré, se compose d'une série de 24 cordes situées à la verticale et soumises à une tension et à une rotation. Le mouvement giratoire crée un phénomène de persistance rétinienne et dessine des sinusoïdes.



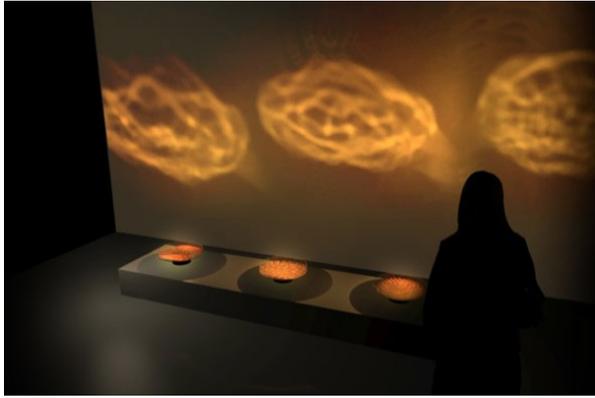
Dans son oeuvre *Waves* (2011), Daniel Palacios s'amuse également à tromper nos sens. Une longue corde vibre sous l'action de moteurs et occupe l'espace sous forme d'ondes mécaniques et

sous forme d'ondes sonores. Les vibrations de la corde apparaissent sous forme de vagues se déplaçant plus ou moins rapidement. Ce mouvement provient de la persistance rétinienne de nos yeux qui stroboscope les rapides déplacements de la corde. Alors que notre vision nous trompe sur la vitesse réelle du phénomène, l'ouïe n'en fait rien. Le son aigu émit par le déplacement de la corde dans l'air nous met en garde sur la véritable allure du phénomène. Cette confusion des sens crée une oeuvre intrigante pour le spectateur qui se rappelle que nos sens sont faillibles.



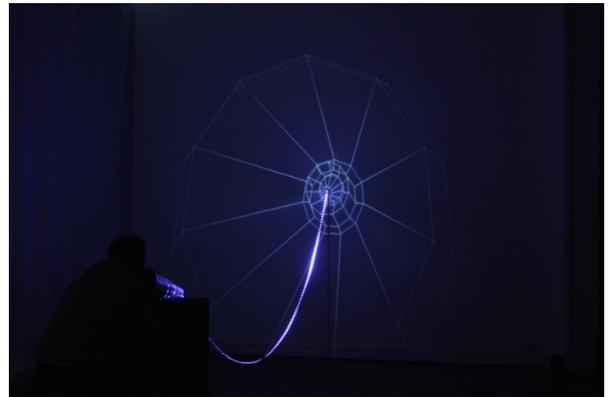
### Des « cymatics » de lumière

Créé en 2013, *Sounds of Light* de Naziha Mestaoui (Electronic Shadow) déploie dans l'espace les différentes facettes des vibrations qui composent notre réalité : son, lumière, matière, énergie, sentiments... Un plateau rempli d'une fine pellicule d'eau est présenté dans l'espace. Les fréquences harmoniques générées par les ondes sonores issues de musiques sacrées traditionnelles et diffusées à travers le plateau structurent une multitude de formes géométriques.



Basé sur une approche collaborative et ouverte, le groupe Murmur s'est fédéré autour du projet du même nom début 2013. Prothèse architecturale permettant la communication entre le passant et le mur sur lequel elle est connectée, *Murmur* simule le

déplacement des ondes sonores en créant un pont lumineux entre le monde physique et le monde virtuel. Nommé « chambre d'écho », un périphérique sur mesure récolte les murmures du public. Il représente la clef technique du dispositif *Murmur* mais aussi sa facette féérique.



## À découvrir

### # Sur les ondes

#### Ondes

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Ondes/Index\\_Ondes.html](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/Index_Ondes.html)

#### Onde électromagnétique

[http://fr.wikidia.org/wiki/Onde\\_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique](http://fr.wikidia.org/wiki/Onde_%C3%A9lectromagn%C3%A9tique)

#### L'histoire de l'électromagnétisme

<http://www.podcastscience.fm/dossiers/2013/05/16/histoire-de-lelectromagnetisme/>

#### Histoire de la Lumière : le spectre lumineux

[http://www.youtube.com/watch?v=S0ni5gNA\\_-I](http://www.youtube.com/watch?v=S0ni5gNA_-I)

#### Les sons

[http://www.cap-sciences.net/upload/BM\\_sons.pdf](http://www.cap-sciences.net/upload/BM_sons.pdf)

#### Ondes stationnaires et résonance

<http://coursouverts.ujf-grenoble.fr/joomla/index.php/physique/73-vibrations-et-ondes/133-ondes-stationnaires-et-resonance>

### # Sur les artistes cités

#### Thomas Wilfred

<http://www.wilfred-lumia.org/>

#### Nam Jun Paik

<http://www.paikstudios.com/>

#### Richard Box

<http://www.richardbox.com/>

#### Étienne Rey

<http://www.ondesparalleles.org/>

#### Christina Kubisch

<http://www.christinakubisch.de/>

#### YOUrban

<http://yourban.no/2011/02/22/immaterials-light-painting-wifi/>

#### Ashley Fure

<http://www.ashleyfure.net/>

#### Daniel Palacios

<http://www.danielpalacios.info/>

#### Naziha Mestaoui (Electronic Shadow)

<http://www.electronicshadow.org/nm/>

#### Murmur

<http://m-u-r-m-u-r.me/>

Sources : Wikipédia / *Théorie corpusculaire, théorie ondulatoire : deux visions complémentaires de la lumière* – Akadem / *Sons & Lumières. Une histoire du son dans l'art du XXe siècle* – catalogue de l'exposition, Centre Pompidou