

Dossier pédagogique

MATIÈRE EN MOBILITÉ



Dominique Peysson, *Possibilité d'une île*, 2014

Matière et ondes

Des phénomènes ondulatoires p 2

Des mécanismes d'échanges p 3

Composer avec les ondes p 4

Nature de la matière

Le vide et la matière p 6

Une réalité tangible p 7

Programmer la matière p 8

À découvrir... p 9

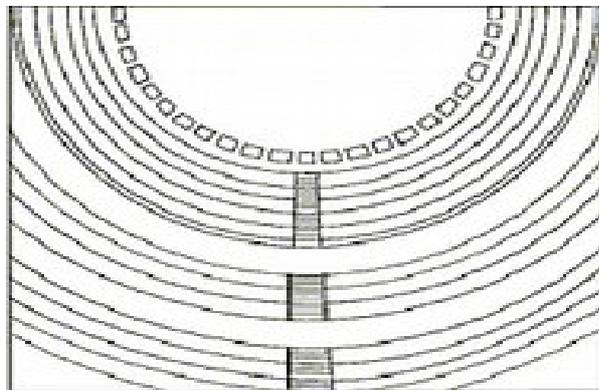
Matière et ondes

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.



Otto von Guericke, Les hémisphères de Magdebourg

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

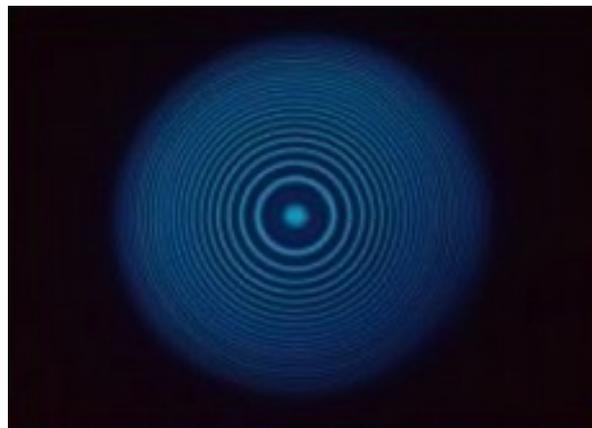
bouche du canon et la détonation leur permit de calculer une vitesse de propagation de 340 mètres par seconde.

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.

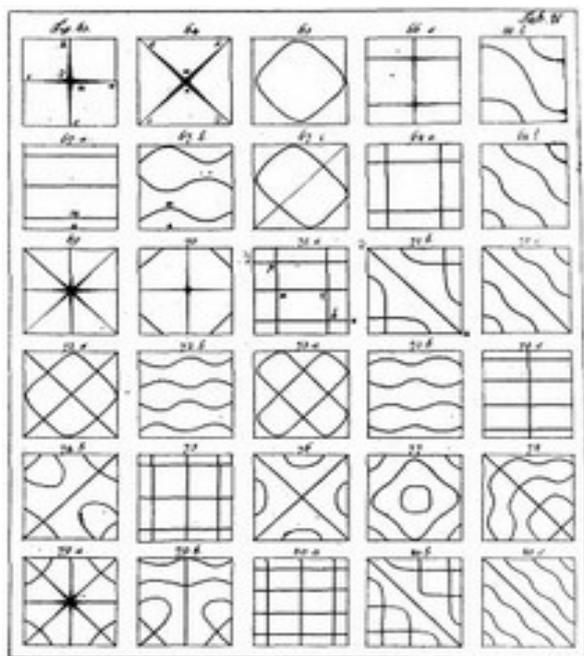
Les approches ondulatoires et corpusculaires furent réunies par Albert Einstein lorsque celui-ci établit le modèle du photon en 1905, dans ses travaux sur l'effet photoélectrique.

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.

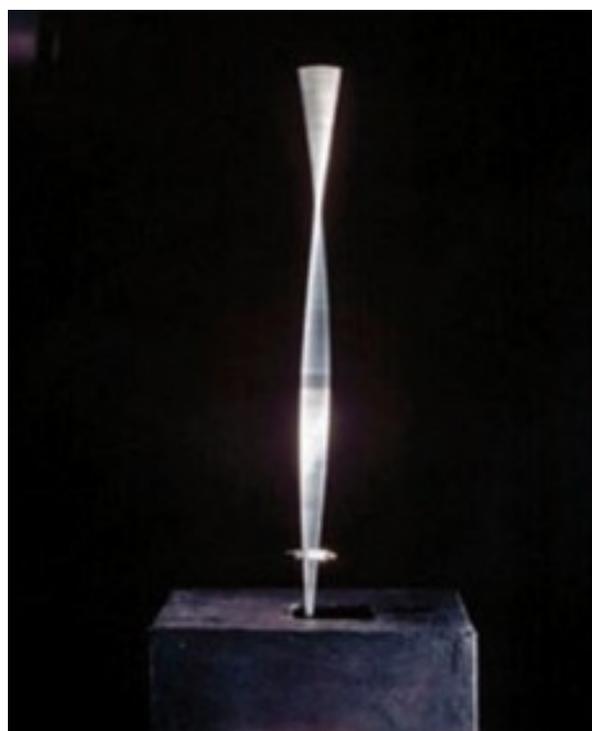
Les ondes mécaniques

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.



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

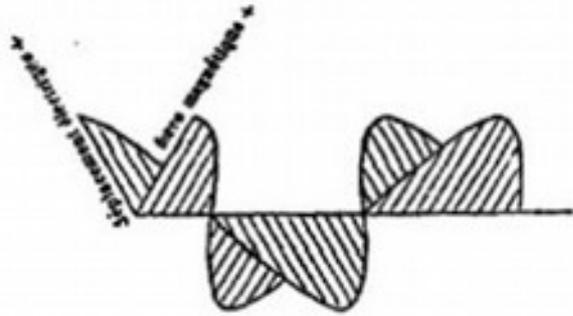
d'interférences. Dans « la corde de Melde », les ondes mécaniques progressives voyageant dans des directions opposées forment des points fixes, appelés nœuds. Ces ondes sont appelées ondes stationnaires par Melde car la position des nœuds et des boucles est statique.



Naum Gabo, Kinetic Construction - 1920

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 visibles, ondes radio...) aux hautes fréquences (rayon X, rayonnement gamma...).



C'est en 1892 que Nikola Tesla envisage pour la première fois le concept d'énergie libre. « À travers tout l'espace se trouve de l'énergie. Cette énergie est-elle statique ou cinétique ? Si elle est statique, nos espoirs sont vains ; si elle est cinétique - et nous savons qu'elle l'est - les hommes réussiront bientôt à connecter leurs machines aux grands rouages de la nature. » Sa découverte la plus significative fut ainsi que l'énergie électrique pouvait être propagée à travers la Terre et autour de celle-ci, émettant l'idée que la cavité surface-ionosphère (entre 0 et 80

kilomètres au-dessus de la surface de la Terre) pouvait servir de guide d'onde. C'est dans les années 1950 que le physicien allemand Winfried Otto Schumann avance en ce domaine et découvre un ensemble de pics spectraux dans le domaine d'extrêmement basse fréquence (3 à 30 Hertz) du champ électromagnétique terrestre, appelés aujourd'hui les résonances de Schumann.



Martin Messier, *Field* - 2015

Composer avec les ondes

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

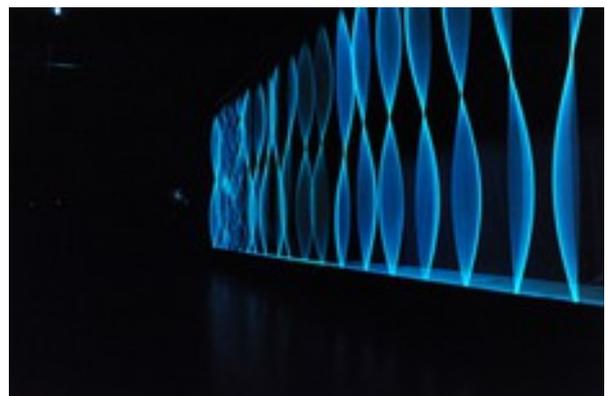
La variation cyclique

L'oscillation dans un circuit électrique peut être voulue, comme dans le cas des oscillateurs, ou être due à un défaut. Elle consiste en une variation cyclique de l'intensité de la tension électrique dans ce circuit. C'est en jouant de cette variation cyclique que 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. »



Ben Laposky, *Oscillon 40* - 1952

De leur côté, Ashley Fure et Jean-Michel Albert explorent le phénomène physique de la corde de Melde. Dans leur installation *Tripwire*, une série de 24 cordes tendues crée des actions vibratoires. Des modes de résonance apparaissent alors et génèrent des ondes stationnaires dans le temps et des figures en trois dimensions. Poussant cette illusion optique plus avant, les artistes manipulent ce phénomène physique dans le but de représenter une onde sonore.



Ashley Fure et Jean-Michel Albert, *Tripwire* - 2012

L'artiste sonore Nicolas Bernier explore quant à lui différents aspects de la vibration, à l'intersection de l'électronique et du mécanique. Dans *Fréquences (a / oscillation)*, il ajoute un nouvel élément à ce groupe : un faisceau laser qui trace une forme d'onde sur un mur en fonction du mouvement d'une diapason motorisée. « La forme d'onde générée

dans Fréquences (a / oscillation) montre le mouvement direct du diapason en combinant l'amplitude de son mouvement à celui d'un solénoïde activé par un moteur pas à pas. Jouant de la persistance rétinienne, Fréquences (a / oscillation) permet la visualisation du mouvement tracé par le laser. Cette installation est tirée des expériences du physicien Jules Lissajous qui a découvert cette méthode de visualisation du son au XIXe siècle. »



Nicolas Bernier, *Fréquences (a / oscillation)* - 2016

La dimension fréquentielle

C'est en 1919 que Léon Theremin invente le premier instrument de musique exploitant des oscillations électriques pour créer des sons. Son Theremin a ainsi la particularité de produire de la musique sans être touché par l'instrumentiste. Le son est produit à partir d'un signal électrique, deux signaux de fréquences élevées (l'un fixe à 170 kHz, l'autre variable entre 168 et 170 kHz) se combinent pour former un battement et fournir un signal audible, entre 20 et 20 000 Hz. L'effet de capacité apporté par le corps de l'instrumentiste, à proximité des antennes, affecte la fréquence produite, tout comme une personne se déplaçant dans une pièce peut altérer la qualité d'une réception de radio ou de télévision. Cette caractéristique est mise à profit dans le Theremin, et la combinaison des deux mains, l'une commandant le volume et l'autre la hauteur de la note, permet d'obtenir des effets sonores insolites.



Léon Theremin, *Theremin* (1919)

L'idée qui sous-tend l'installation *Ear Drum* de LLND est celle de visualiser un son, d'apercevoir une réalité invisible, de rendre apparent un phénomène inaudible. Mettant à l'épreuve le phénomène de Chladni, des objets du quotidien bougent sur un haut-parleur émettant des infra-sons (très basse fréquence) inaudibles pour l'oreille humaine. Filmés par caméra, ces objets composent alors sous nos yeux des visuels géométriques mouvants. *Ear Drum* crée ainsi un pont entre le monde physique et le monde virtuel, entre le phénomène naturel et le comportement programmé.



LLND, *Ear Drum* - 2016

Tout corps ou assemblage de corps solides peut ainsi être mis en vibration. Pour cela il suffit de transmettre à ce corps ou cet assemblage une excitation périodique dont la fréquence correspond à sa fréquence de résonance (par voie aérienne ou par contact). La plupart des systèmes, notamment physiques, architecturaux, sociaux, ont ce potentiel vibratoire. Le potentiel vibratoire renvoie à toutes formes de tensions et d'énergies contenues et à leurs interactions avec leur contexte : activation-repos, rupture-usure, transformation-accumulation, transmission-rétention, circulation-blocage. C'est ainsi que le collectif Art of Failure vise à exprimer au sein de leur *Resonant Architecture* le potentiel vibratoire et acoustique de structures architecturales, envisagées comme des sortes d'instruments trouvés.



Art of Failure, *Resonant Architecture (Landmark Lusatian Tower)* – 2010

Nature de la matière

Le vide et la matière

« *La vérité de la vie est dans l'impulsivité de la matière.* » Antonin Artaud

Le vide

Dans le sens commun, lorsque l'on dit qu'un contenant est vide, il est en fait rempli d'air. Un verre vide, une bouteille vide, un carton vide... contiennent en fait environ $2 \cdot 10^{15}$ molécules par millimètre cube. Un vide très poussé, un milliardième de l'atmosphère par exemple, laisse encore plusieurs millions de molécules par millimètre cube. La notion de vide est toutefois intimement liée à la notion d'être. Mais peut-on parler du vide comme d'une entité en soi ? Le philosophe grec Parménide, tout comme Platon après lui, disait « *l'être est, le non-être n'est pas* » ; le vide était pour lui un non-être, et ne pouvait donc exister. Au contraire, Leucippe et Démocrite admirent l'existence du vide et en firent avec l'atome le principe de toute chose : le vide, lieu dépourvu de matière, reçoit une certaine forme d'être et devient le doublet indispensable et inséparable de l'être. 300 ans avant J.-C., Épicure continue sur cette voie et soutient que tout ce qui est se compose d'atomes indivisibles. Les atomes se meuvent aléatoirement dans le vide et peuvent se combiner pour former des agrégats de matière.



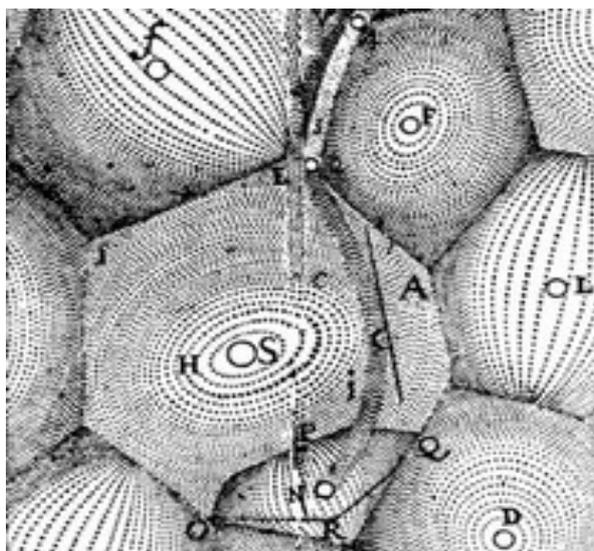
La découverte, ou plutôt l'admission du vide dans la nature est une étape décisive de l'histoire des sciences que la polémique agita fortement durant la révolution scientifique du XVIIe siècle. En 1644, le physicien et mathématicien italien Torricelli met en évidence la pression atmosphérique. En étudiant la pompe à eau de Galilée, il invente le baromètre à tube de mercure qui porte son nom. Une unité de pression, le torr, lui est dédiée. Elle correspond à la pression d'un millimètre de mercure. Toutefois, c'est le pascal qui fut retenu comme unité du système international en hommage à Blaise Pascal, qui poursuivit et développa les recherches dans ce domaine de 1646 à 1648. Le vide serait ainsi un espace dans lequel les molécules sont fortement raréfiées.



Baromètre à mercure de Torricelli

Les conceptions de la matière

Chez les Grecs anciens, tels qu'Épicure, puis Lucrèce, la matière était donc quelque chose de lacunaire, voire de particulaire ; pour d'autres, notamment Aristote, quelque chose de continu. La situation changea au début du XVIIe siècle avec René Descartes qui formula une doctrine mécaniste. La matière ne devait plus avoir que le minimum de qualités fondamentales : être étendue et divisible en parties susceptibles de se mouvoir.



Détail d'une gravure représentant la théorie des vortex de René Descartes - 1644

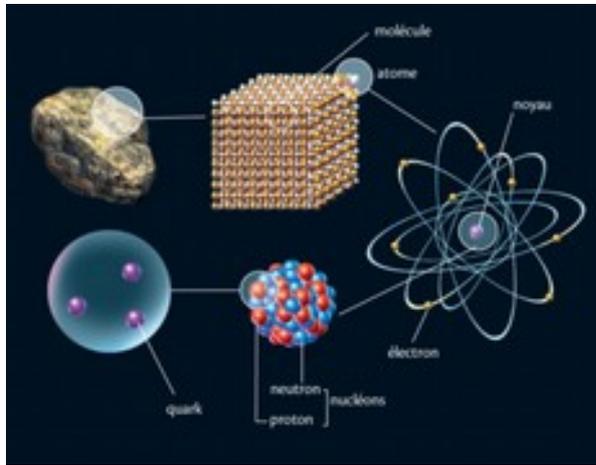
Petit à petit, il fallut admettre d'autres propriétés fondamentales de la matière. Isaac Newton, notamment, démontra que deux corps s'attirent toujours, quoique l'on n'ait jamais réussi à imaginer un mécanisme expliquant ce phénomène et les lois qui le régissent. Un nouveau virage intervint au début du XXe siècle où matière et énergie étaient encore considérées comme deux concepts indépendants, à l'origine de tout phénomène physique. En effet, la théorie de la relativité restreinte d'Einstein, formulée en 1905, permit de regrouper ces deux concepts par la célèbre relation d'équivalence entre la masse et l'énergie.

Une réalité tangible

La nature qui nous entoure, et dont nous faisons partie, offre à l'observation des réalités et des apparences, des substances et des phénomènes.

Matière inerte et matière vivante

Aujourd'hui, la matière se définit ainsi comme ce qui compose tout corps ayant une réalité tangible, qui occupe de l'espace et possède une masse. Elle est composée de molécules regroupant des atomes de différents éléments (hydrogène, carbone...). Les éléments diffèrent par le nombre de protons, de neutrons (nucléons) et d'électrons qui les composent. Les nucléons sont, quant à eux, composés de quarks. Toutefois, bien que le vivant et le non vivant soient fait d'une même matière, une distinction s'opère entre les deux. Alors que la matière inerte se définit comme une matière qui ne bouge pas, la matière vivante quant à elle va se procurer toute seule l'énergie dont elle a besoin pour s'auto-répliquer.



Les composants de la matière

Au XIXe siècle, le scientifique allemand Hermann von Helmholtz disait : « Si tous nos efforts pour provoquer la naissance des organismes à partir de matière inerte échouent, il me semble que nous procédons de manière tout à fait juste en nous demandant si, somme toute, la vie a jamais eu une origine, si elle n'est pas tout aussi vieille que la matière et si ses germes, transportés d'un corps céleste à un autre, ne se seraient pas développés partout où ils trouvaient un sol favorable... »



Living Drawings, Hunter Cole - 2007

Les états de la matière

De manière générale, la matière se présente sous trois états physiques : solide, liquide ou gazeux. De très nombreux genres de corps peuvent passer par ces trois états, selon les conditions. On sait bien que l'eau peut devenir glace comme elle peut devenir vapeur. Il suffit que la température varie. Par ailleurs, il existe des états particuliers, comme l'état de plasma (gaz partiellement ou totalement ionisé), l'état superfluide (viscosité nulle), l'état supraconducteur (résistance électrique nulle) ou encore l'état de condensat de Bose-Einstein (atomes dans le même état quantique d'énergie minimale), qui nécessitent un formalisme quantique complexe.



Les états de la matière

Peu à peu, la physique a établi, pour chaque substance et dans chacun des états, diverses propriétés quantitatives : masse volumique, densité, température de fusion à la pression atmosphérique... La chimie a poursuivi de son côté l'idée qu'il se produit, lors d'une réaction, des changements qui affectent la matière plus profondément que ne le font les simples changements d'état. En d'autres termes, elle a fait sienne l'enquête sur la nature de chaque matière.



Celula Nave, Ernesto Neto – 2004

Programmer la matière

« Il existe une différence philosophique indubitable entre la substance et la matière, car la matière n'est rien que la matière tandis que la substance est la matière façonnée, matière élevée à la puissance d'une essence idéale. » Franz Werfel

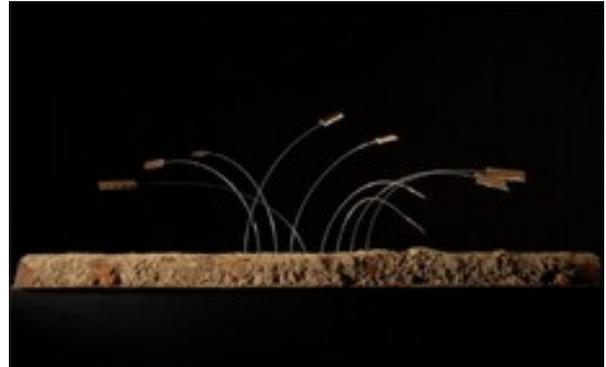
La matière et les matériaux

Un matériau désigne toute matière utilisée pour réaliser un objet au sens large. Ce dernier est souvent une pièce d'un sous-ensemble. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique, l'état de surface des différentes matières premières sont à la base des matériaux. Dans sa série des *Ghost*, Claes Oldenburg insiste ainsi sur l'importance de la transformation de l'objet en matériau mou : « *L'acte ultime, celui de rendre molles les choses, s'apparente (...) à un souffle mortel balayant leur fonctionnalisme et leur classicisme. L'objet revient à la nature (...). Son âme (...) monte au paradis des objets sous une apparence de "fantôme". Son esprit exorcisé retourne au royaume de la géométrie laissant un tas de linge froissé.* »



Ghost Drum Set, Claes Oldenburg - 1972

Certains matériaux ont cependant un comportement inhabituel par rapport aux matériaux « classiques ». Ils sont capables de modifier une ou plusieurs de leurs propriétés d'une manière contrôlée, sous l'action d'un ou de plusieurs stimuli extérieurs tels que la contrainte, la température, le champ électrique ou électromagnétique. Ces matériaux possèdent la capacité de réaliser une conversion d'énergie. Dans les sculptures d'Étienne Krähenbühl, la matière tient ainsi le rôle principal. Elle induit la forme, témoigne du temps, crée du son et du mouvement. Avec des alliages à mémoire de formes (nickel-titane, cuivre-zinc-aluminium) et des matériaux supraconducteurs, le mouvement des sculptures ne repose en effet plus uniquement sur le poids et la pesanteur, mais aussi sur d'autres forces, notamment les forces magnétiques qui agissent au sein matériau. Pour *Île 9*, une giclée de froid et la sculpture se déforme pour retrouver sa position initiale une fois réchauffée.



Île 9, Étienne Krähenbühl - 2007

Les matériaux émergents

Pour Hicham Berrada, l'art ici n'est pas d'ajouter un artefact à d'autres. C'est une praxis. C'est une action. L'intervention minimale d'un homme réduit à être agent, un agent parmi d'autres (chaud, froid, moteur, aimants...), un agent d'une mise en mouvement de processus physico-chimiques naturellement actifs bien qu'invisibles dans le monde concret. *Le Temps suspendu #3* est une sculpture faisant interagir un aimant avec un ferrofluide, milieu constitué de nanoparticules magnétiques dispersées dans un liquide porteur. Le ferrofluide circule dans des tuyaux reliant les deux parties de la sculpture. Stabilisé pour que les particules restent en solution de manière homogène cette solution assure une stabilité dans le temps, paramètre fondamental pour que la sculpture conserve ses propriétés. Une optimisation de la distance aimant-ferrofluide a également été réalisée pour obtenir des pics de matière.



Hicham Berrada, Le Temps suspendu #3 - 2009

Ainsi, comme le souligne Dominique Peysson dans *L'Image-Matière*, « (...) notre pensée se doit d'opérer une rupture avec le concept d'individu issu de la rencontre d'une forme et d'une matière. Il ne s'agit

plus uniquement de prise de forme mais parfois aussi de transmutation, pour rendre compte de ces passages entre matière inerte et matière vivante. (...) Les images propres à soutenir une telle dynamique seront d'autant plus fortes qu'elles frayeront avec d'étranges manifestations du sacré, si on le définit selon Roger Caillois comme "Ce qui donne la vie et ce qui la ravit". » Mettant à l'épreuve cette approche, son installation *Possibilité d'une île* donne à voir une goutte d'eau posée de manière improbable sur le sable, tranquille. Elle n'est pas absorbée par les grains comme elle devrait l'être si tout était dans le cours normal des choses, là où les forces capillaires attirent l'eau dans une relation à toute petite échelle. Dans ce travail, le sable a été transformé : il a été rendu fortement hydrophobe. Il repousse l'eau et l'eau le repousse. Les lois

habituelles de la physique sont donc transformées, et nous passons dans un autre monde...



Dominique Peysson, *Possibilité d'une île* - 2014

À découvrir

Sur la matière

Matière

<http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/mati%C3%A8re/184288>

Ondes

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

Quelques expériences en ligne

Fabriquer un tonoscope

<https://vimeo.com/151679234>

Peut-on voir les molécules ?

http://sciences-physiques-moodle.ac-orleans-tours.fr/moodle/pluginfile.php/2238/mod_resource/content/2/Ch_ap03-DescriptionMoleculaire/01-curieux/curieux02.htm

Low-tech microfluidics

<http://www.science-practice.com/blog/2015/01/29/low-tech-microfluidics/>

Sur les artistes cités

Ashley Fure et Jean-Michel Albert

<http://www.ashleyfure.com/multimedia-1/>

Nicolas Bernier

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

LLND

<http://www.art-llnd.com/>

Art of Failure

<http://artoffailure.free.fr/>

Hunter Cole

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

Ernesto Neto

<http://www.artnet.fr/artistes/ernesto-neto/>

Étienne Krähenbühl

<http://www.ekl.ch/>

Hicham Berrada

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

Dominique Peysson

<http://dominiquepeysson.net/travaux/>

Sources : *Matière* – Encyclopédie Larousse / *L'Image-Matière* – Dominique Peysson / *Théorie corpusculaire, théorie ondulatoire : deux visions complémentaires de la lumière*