



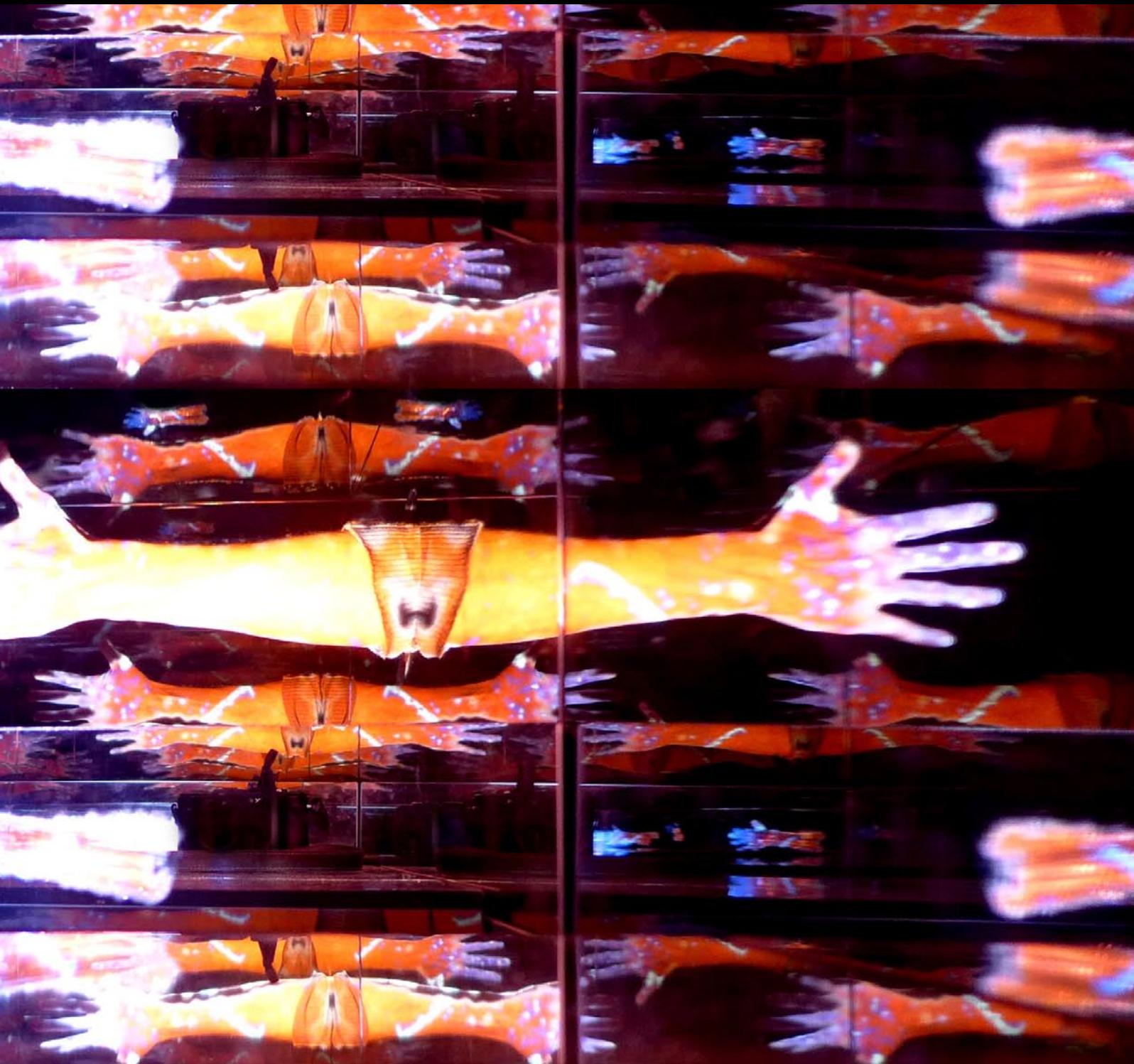
Matière noire

Oeuvres interactives visuelles et sonores

Scenocosme : Grégory Lasserre & Anais met den Ancxt

Sébastien Descotes-Genon

Directeur du Laboratoire de Physique Théorique
(CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay)





Matière noire

Oeuvres interactives visuelles et sonores
2015 - 2016

Scenocosme : Grégory Lasserre & Anaïs met den Ancxt

Sébastien Descotes-Genon
Directeur du Laboratoire de Physique Théorique
(CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay)

Avec le soutien de La Diagonale Paris-Saclay



Introduction

Tout au long du vingtième siècle, et jusque dans le vingt-et-unième, les physiciens se sont attachés à plonger dans la matière pour en discerner les détails de plus en plus fins, dans un jeu de poupées gigognes. L'atome cache en son sein un noyau, lui-même composé de protons et de neutrons, eux-mêmes formés de quarks, des particules élémentaires qui constituent la dernière frontière connue de l'infiniment petit. A présent, pour le physicien des particules, il ne s'agit pas seulement de mesurer le comportement des briques les plus élémentaires de la matière (par exemple, le mouvement de ces particules, ou leurs désintégrations en d'autres particules). Il s'agit aussi d'expliquer ce comportement de façon quantitative, par le biais de nombres et d'équations.

Or l'élaboration de ces équations constitue un défi intellectuel remarquable. Pour rendre compte des particules élémentaires, il a fallu marier deux avancées particulièrement déroutantes du vingtième siècle, la théorie de la relativité et la mécanique quantique, débordant de paradoxes et d'incongruités. Et leur combinaison s'est avérée avoir des conséquences encore plus perturbantes pour les physiciens des particules, en désaccord avec notre perception intuitive de la matière qui nous entoure. Même si ces derniers ont souvent refusé ces résultats au premier abord, les expériences menées en physique nucléaire, puis en physique des particules, ont confirmé cette vision perturbante, inattendue, de la matière.

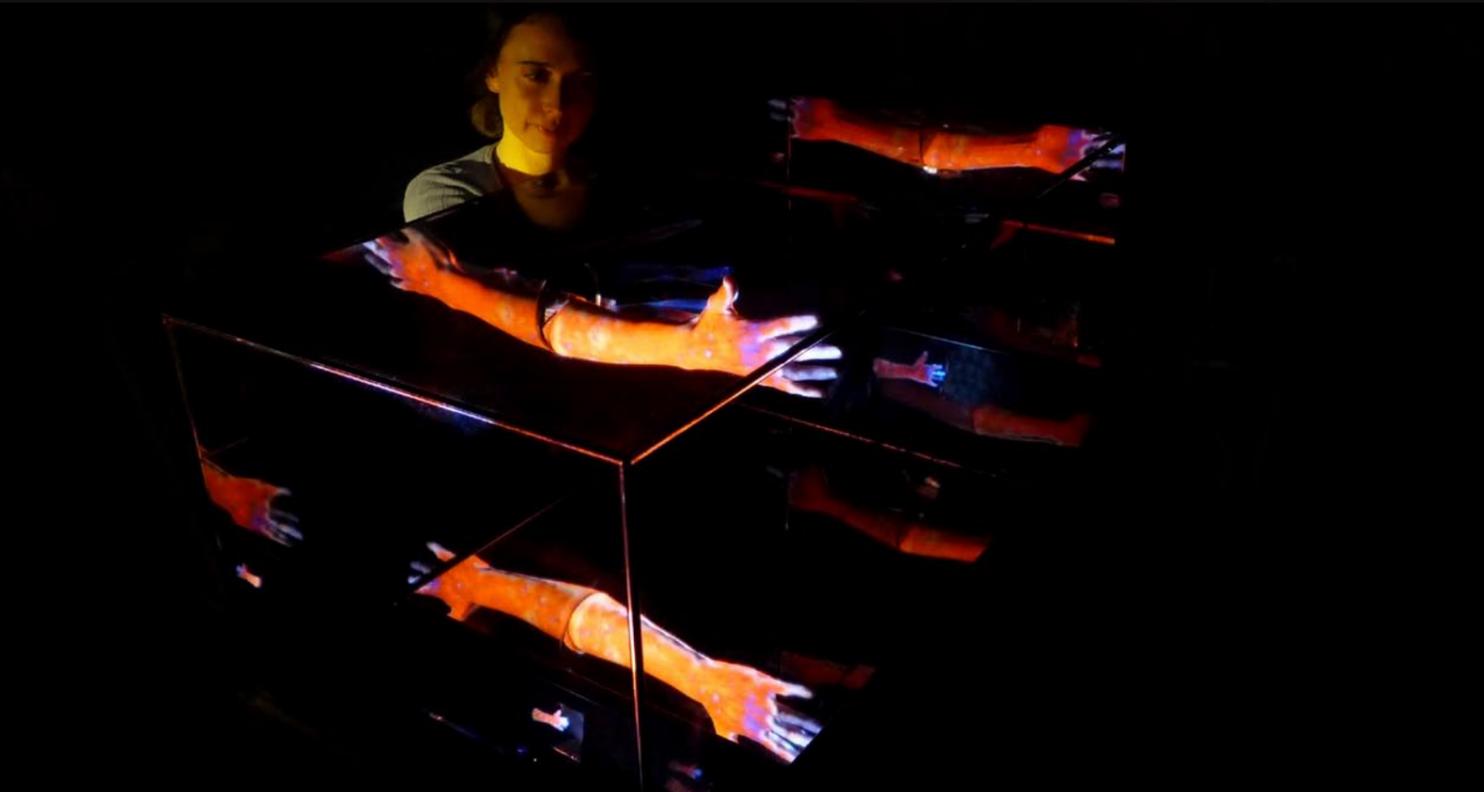
Cette vision, très mathématique, se prête mal à la transcription en mots du langage courant, car ce sont des équations traduisant des concepts éloignés du sens commun. C'est aussi une vision physique inhabituelle, qui défie nos intuitions issues du monde qui nous entoure, où ni les effets de la relativité ni ceux de la mécanique quantique ne sont perceptibles.

Nous avons essayé ici une approche différente, artistique, pour donner à voir, à toucher, à expérimenter une matière telle que les physiciens peuvent la concevoir, une matière très différente de la vision prosaïque du sens commun, et donc pleine de surprise poétique.

Les installations de *Matière noire* abordent certains de ces aspects déroutants de la matière. Ces œuvres artistiques réinterprètent ces concepts et ces idées sous une forme originale.

Plus d'informations et vidéos : www.scenocosme.com/matiere_noire.htm

Matière noire est une création Art & Science réalisée avec le soutien de La Diagonale Paris-Saclay en collaboration avec Sébastien Descotes-Genon, chercheur CNRS et directeur du Laboratoire de Physique Théorique (CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay).



Matière noire : Vide et matière

Oeuvre interactive visuelle et sonore

Cette installation interactive est un parallélépipède noir dont toutes les surfaces intérieures et extérieures se réfléchissent à l'infini. Une ouverture permet de glisser sa main à l'intérieur.

Dans la vitrine, la main est recouverte de part et d'autre d'une matière visuelle et sonore bouillonnante qui rappelle la façon dont nous sommes traversés en permanence par des particules.

Le fourmillement qui parcourt la main du spectateur évoque les images issues d'une chambre à brouillard. Ce dispositif, utilisé au milieu du 20ème siècle pour détecter des particules, est une sorte d'aquarium contenant une vapeur d'eau dans un état instable (métastable) : le passage d'une particule chargée électriquement suffit à déstabiliser la vapeur et à créer des gouttelettes d'eau qui permettent de visualiser la trajectoire des particules pendant quelques instants avant de disparaître.

En plongeant sa main dans l'installation, le spectateur transforme sa main en un détecteur de physique des particules. Il va ainsi avoir l'illusion de «voir» l'activité liée aux particules qui le traversent en permanence, sans qu'il en ait conscience.

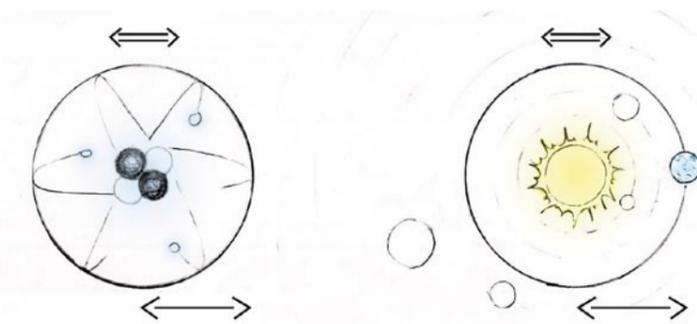
La création sonore évolue avec le déplacement de la main et souligne ce fourmillement quantique.



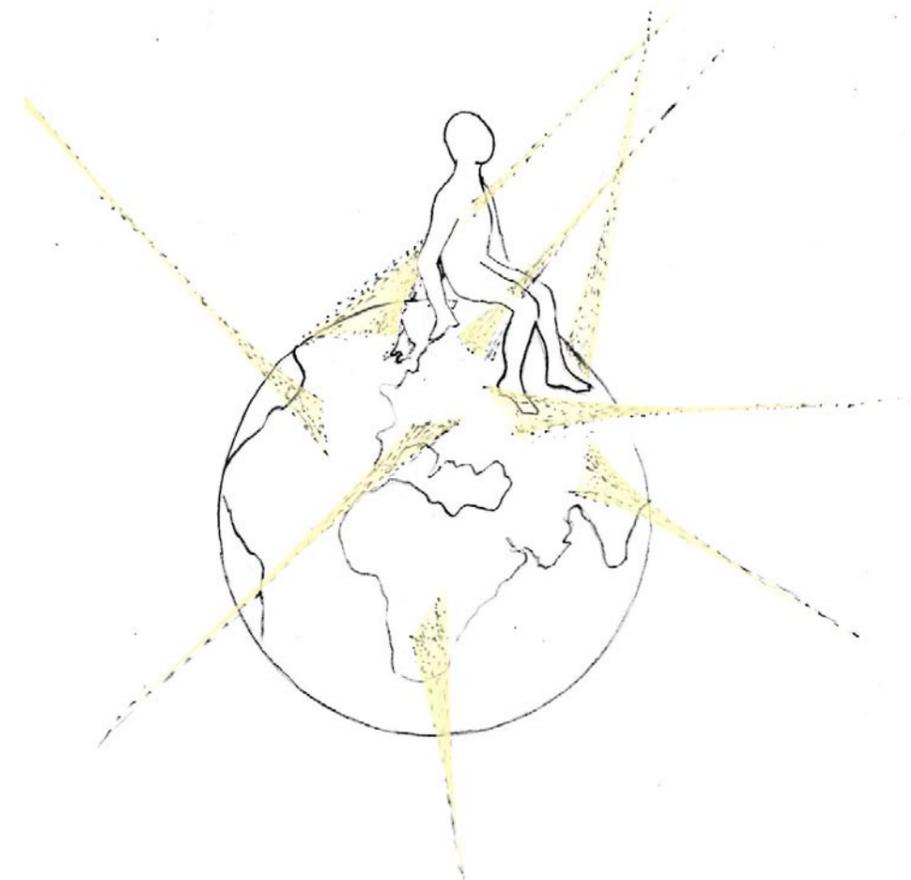


La question scientifique

Notre première image de la matière est celle d'une entité compacte, pesante, impossible à traverser. Or la vision actuelle de la matière est plutôt celle d'une matière «pleine de vide», poreuse, constituée de particules quasi-ponctuelles séparées par de «vastes» distances (à l'échelle subatomique), une matière à travers laquelle on peut passer sans difficulté. Ainsi l'atome est constitué d'électrons orbitant à une distance d'un dix-milliardième de mètre autour d'un noyau atomique 10 000 fois plus petit. Le rapport entre un atome et son noyau est approximativement le même rapport qui existe entre la taille de la Terre et la distance Terre-Soleil. La matière est donc belle et bien pleine de... rien.



Si nous sommes constitués de particules si éloignées les unes des autres, il est facile de traverser cette matière. En effet, nous sommes traversés en permanence par de grandes quantités de particules provenant de la radioactivité naturelle des objets qui nous entourent, mais aussi de notre Soleil, d'autres étoiles de la Voie Lactée ou d'autres galaxies plus lointaines. Les particules en question sont très variées. Il peut s'agir de protons ou d'électrons très énergétiques : la plupart vont être arrêtés par l'atmosphère terrestre, créant parfois des aurores polaires, mais certains vont arriver jusqu'au sol. Il peut aussi s'agir de neutrinos, des particules fantomatiques capables de traverser la Terre de part en part sans être absorbées. On imagine même qu'il pourrait exister des particules d'un type nouveau, appelée matière noire, qui tout comme les neutrinos pourraient traverser sans difficulté de grandes quantités de matière, mais qui seraient beaucoup plus lourdes que les neutrinos.



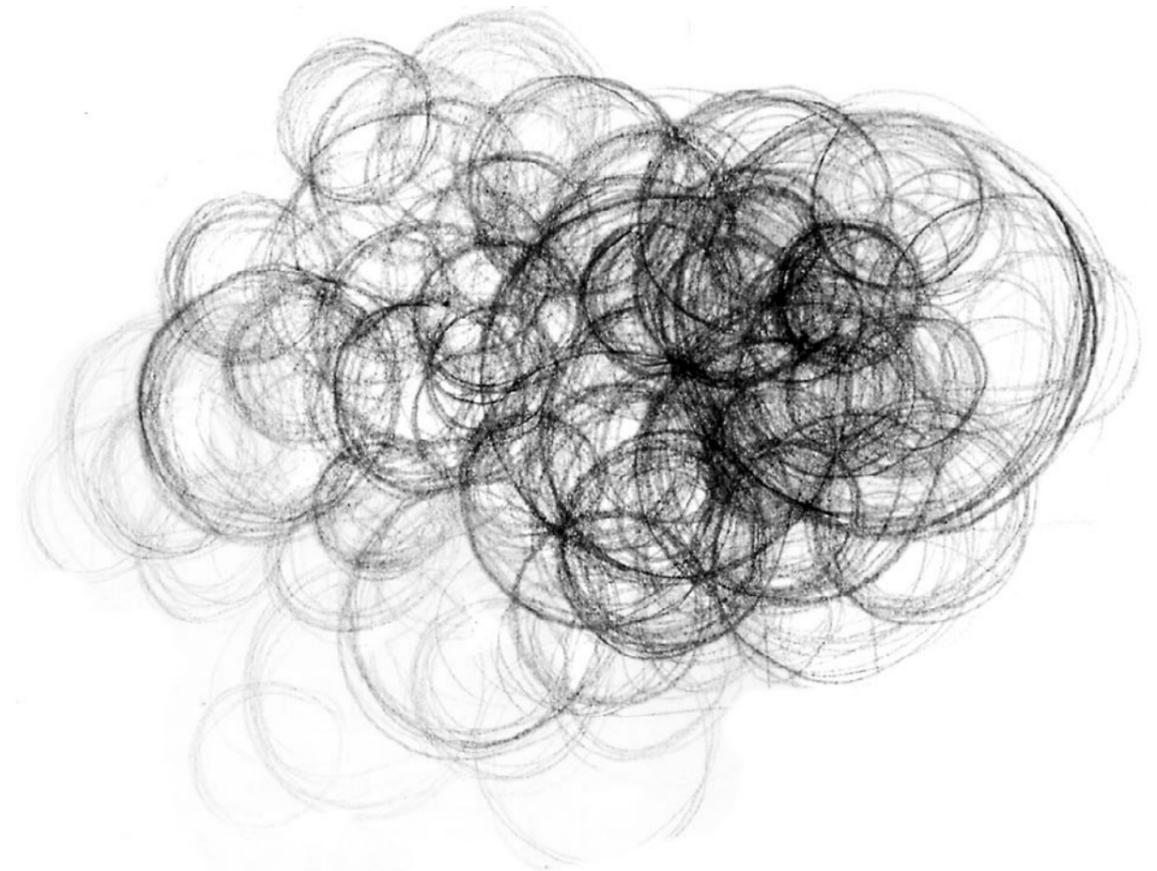


Matière noire : Brouillard quantique

Oeuvre interactive visuelle et sonore

Assis devant une sphère de verre, le spectateur est invité à prendre le temps de l'observer. Lorsque son regard se pose sur une partie de la sphère de verre, celle-ci s'anime d'une agitation intrinsèque visuelle et sonore. Si le spectateur se concentre plus précisément sur une partie de la sphère, celle-ci devient plus lumineuse et les formes qui la parcourent plus distinctes. Dès qu'il commence à fixer un autre point de la sphère, une autre partie s'éclaire, toujours avec la même type d'agitation intrinsèque, mais avec un aspect parfois différent. Et si le spectateur examine à plusieurs reprises la sphère au même endroit, il s'apercevra que son apparence a fluctué au cours du temps.

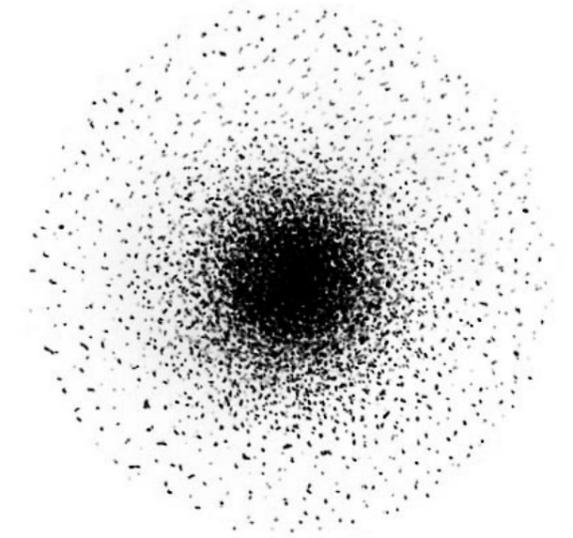
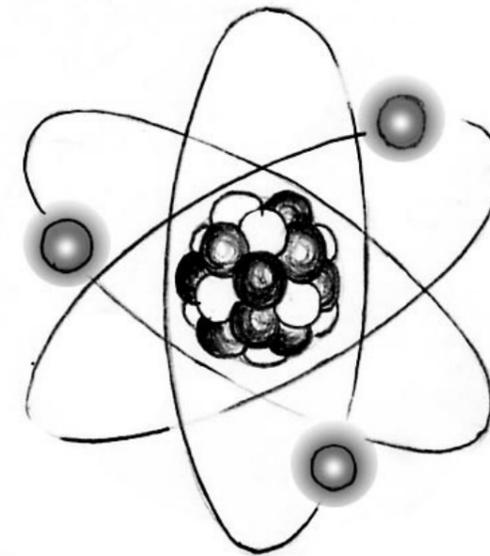
Cette sphère permet au spectateur d'imaginer ce que serait un objet quantique de taille humaine. L'œil du spectateur agit comme une «mesure» qui gèle, au moins pour un temps, certaines caractéristiques de l'objet tout en en laissant d'autres libres de fluctuer. Et lorsque le spectateur cesse de regarder la sphère, et donc de mesurer ses caractéristiques, celles-ci redeviennent fluctuantes, «floues». De tels comportements quantiques ne se rencontrent évidemment pas dans la vie courante, et ils n'apparaissent généralement qu'avec des objets de taille atomique (ou inférieure). A des distances plus grandes, ces propriétés quantiques disparaissent au profit d'un comportement décrit par la mécanique classique, et correspondant à notre intuition quotidienne.





La question scientifique

L'image qu'on se fait de la matière est souvent celle d'un objet massif, inerte, stable, aux contours bien déterminés, posé sur un plan de travail. Même les images de l'infiniment petit les plus habituelles sont celles de particules, des petites boules de billard aux trajectoires bien définies, s'entrechoquant selon des lois de mécanique classique. En résulte l'image classique de l'atome (ci-dessous, à gauche): les électrons, des petites billes aux contours, positions et vitesses bien définis, orbitent autour d'un noyau tout aussi identifiable.



Cette image est remise en cause par la mécanique quantique. Les particules subatomiques ne sont plus localisées en un seul point à une seule vitesse, mais sont «diffuses» dans l'espace et dans le temps. Ainsi on ne peut pas connaître parfaitement la position et la vitesse d'un électron orbitant autour d'un noyau atomique. On ne peut plus raisonner en terme d'une trajectoire parfaitement déterminée et prévue de façon parfaite par les équations de la physique. Le physicien ne peut calculer que des probabilités, par exemple la présence de l'électron en un certain point de l'espace à un moment donné. On peut la représenter (ci-dessus à droite) comme un nuage de points, d'autant plus dense que l'électron est susceptible d'être observé en ce point particulier.

Il existe toutefois des instants où ce «brouillard quantique» s'évanouit, lorsque le physicien effectue des mesures. On connaît alors la position de l'électron (ou sa vitesse) de façon très précise. Mais dès que la mesure est faite, la mécanique quantique reprend ses droits, et il faut à nouveau raisonner en termes de probabilités.



Matière noire : Les symétries discrètes

Oeuvre interactive visuelle

Le spectateur est confronté à un miroir qui va choisir de façon aléatoire une des trois symétries, appelées symétries discrètes, mais appliquée à son reflet. Ces symétries ne peuvent pas être parfaitement identiques à celles du monde subatomique, mais elles s'en inspirent:

- la parité est représentée par un simple reflet «usuel», si on oublie l'absence de couleurs (la parité renverserait les trois composantes spatiales, y compris le haut et le bas de l'image).
- le renversement temporel est signifié par un reflet qui "repart en arrière" en accéléré (l'inversion temporelle conserverait le même rythme que le mouvement initial).
- la conjugaison de charge se manifeste par une inversion du reflet en négatif : elle figure le passage de la matière à l'antimatière, complémentaire l'une de l'autre (la conjugaison de charge créerait un reflet en apparence identique à l'image initiale, et il faudrait tester la charge électrique des particules pour différencier électrons et antiélectrons).

Chacun des «univers» ainsi montré par le miroir correspond à un univers «alternatif», où se produisent des événements qui peuvent être vraisemblables ou inattendus. De la même manière, les symétries du monde subatomique aboutissent à des processus tantôt autorisés, tantôt interdits par les lois physiques.



La question scientifique

Pour décrire un système et son évolution, le physicien a besoin de connaître les «bons» paramètres. Et pour identifier les paramètres pertinents, il a souvent recours à un outil très puissant, celui des symétries. Par exemple, la Terre a une symétrie sphérique presque parfaite : en première approximation, la force de gravitation qu'elle exerce sur nous ou sur des satellites ne dépend que de l'altitude, qui est le seul paramètre pertinent pour écrire les équations associées. La symétrie de rotation de la Terre nous a permis de simplifier le problème.

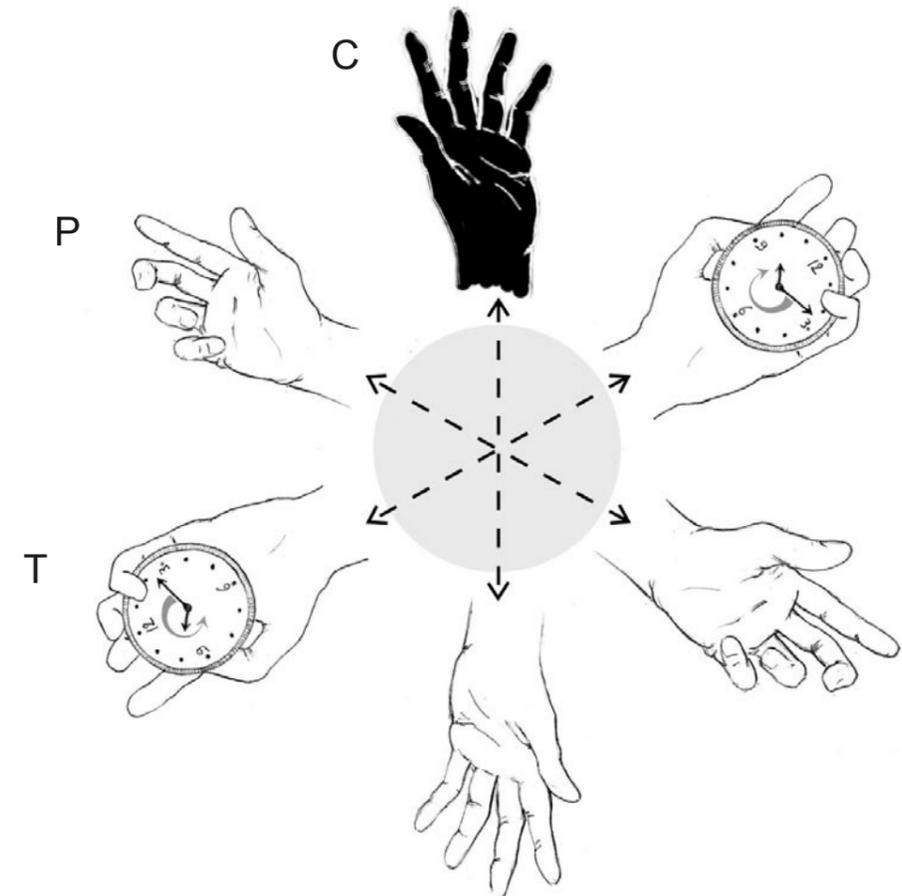
Certaines symétries interviennent donc de manière naturelle pour décrire le monde à l'échelle humaine. Il s'agit le plus souvent de symétries continues, car on peut choisir de les appliquer de façon plus ou moins importante (par exemple, on peut choisir d'appliquer une rotation d'un quart de tour, de deux tiers de tour, ou de tout autre fraction de tour). Dans le cadre de l'infiniment petit, on utilise aussi d'autres symétries, dites «discrètes», qui passent sans transition d'une situation à une autre, comme un miroir. Les trois symétries discrètes utilisées en physique des particules sont:

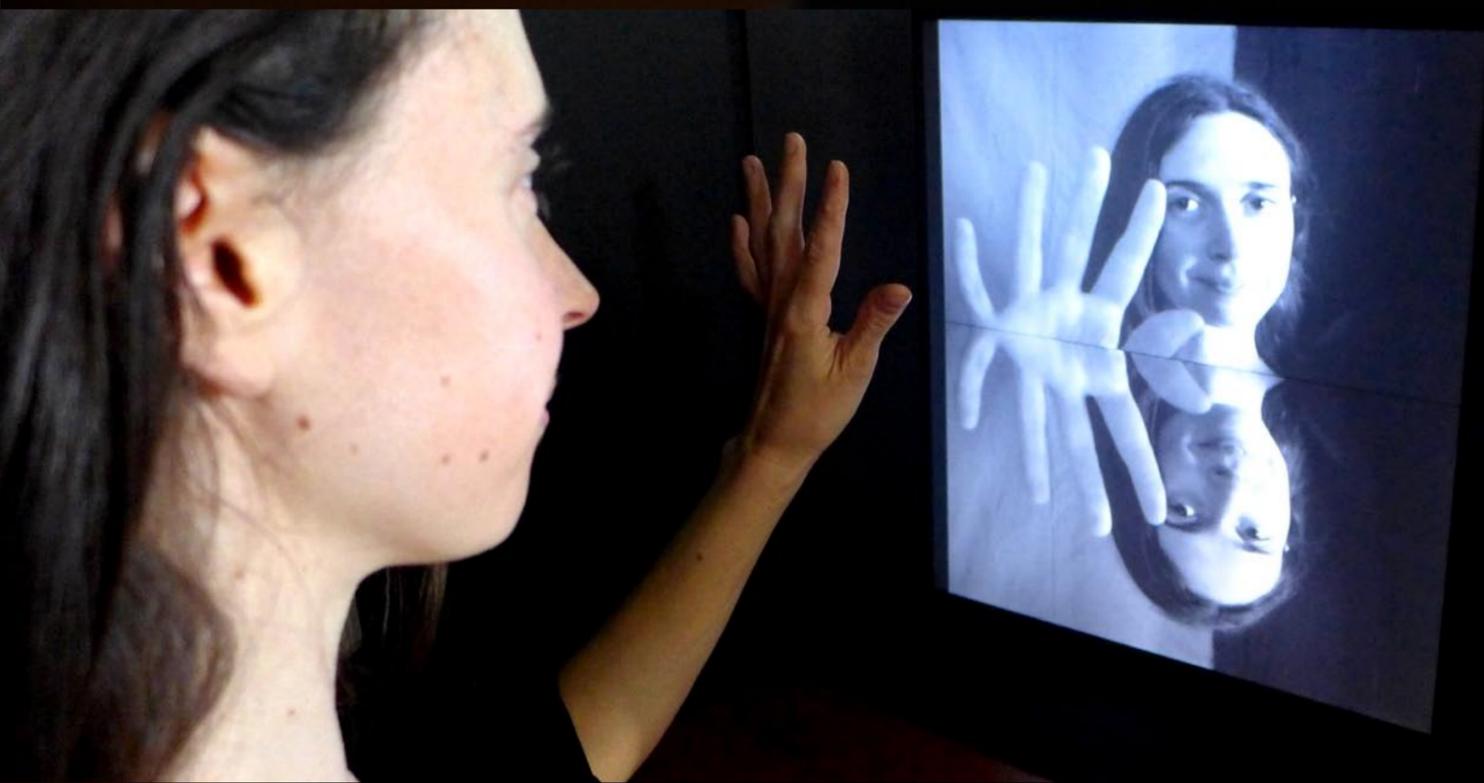
- la parité (P) : toutes les coordonnées spatiales sont inversées, comme une image obtenue à travers trois miroirs successifs
- l'inversion temporelle (T) : le temps est renversé, comme un film se déroulant à l'envers
- la conjugaison de charge (C) : toute particule est transformée en son antiparticule, faisant se correspondre matière et antimatière.

Si on étudie un processus physique, comme l'évolution d'un électron autour d'un noyau atomique ou la désintégration d'une particule en des particules plus légères, on peut regarder l'image de ce processus à travers chacune de ces trois transformations.

Si on utilise une seule de ces transformations, ou deux d'entre elles, l'image obtenue n'est pas un processus physique. C'est en particulier la raison pour laquelle matière et antimatière ne sont pas parfaitement équivalentes... et cela expliquerait (en partie) pourquoi notre Univers semble privilégier la matière par rapport à l'antimatière.

En revanche, si on combine les trois symétries, aussi étonnant que cela puisse paraître, le processus «image» est bien un processus physique, qui suit les mêmes lois que le processus initial. C'est une contrainte importante pour décrire le comportement des particules élémentaires.





Matière noire : Les jumeaux

Oeuvre interactive visuelle et sonore

En se présentant devant l'installation, le spectateur se voit en reflet avec un second reflet : son jumeau. L'un est semblable en tout point, l'autre apparaît comme un jumeau décalé dans le temps. En effet, ce jumeau ne se déplace pas à la même vitesse. Le temps du jumeau est perçu comme allant d'autant plus lentement que ses mouvements sont rapides. En cela, l'oeuvre s'inspire des phénomènes prédits par la théorie de la relativité, lorsque deux personnes se déplacent l'une par rapport à l'autre à une vitesse proche de celle de la lumière.

Le premier reflet joue le rôle de l'un des jumeaux, tandis que le second, plus lent, constitue son frère : plus leurs vitesses sont différentes, et plus les jumeaux souffriront d'une différence dans l'écoulement du temps. Le spectateur est invité à jouer avec ces décalages temporels, et à en comprendre leur raison.

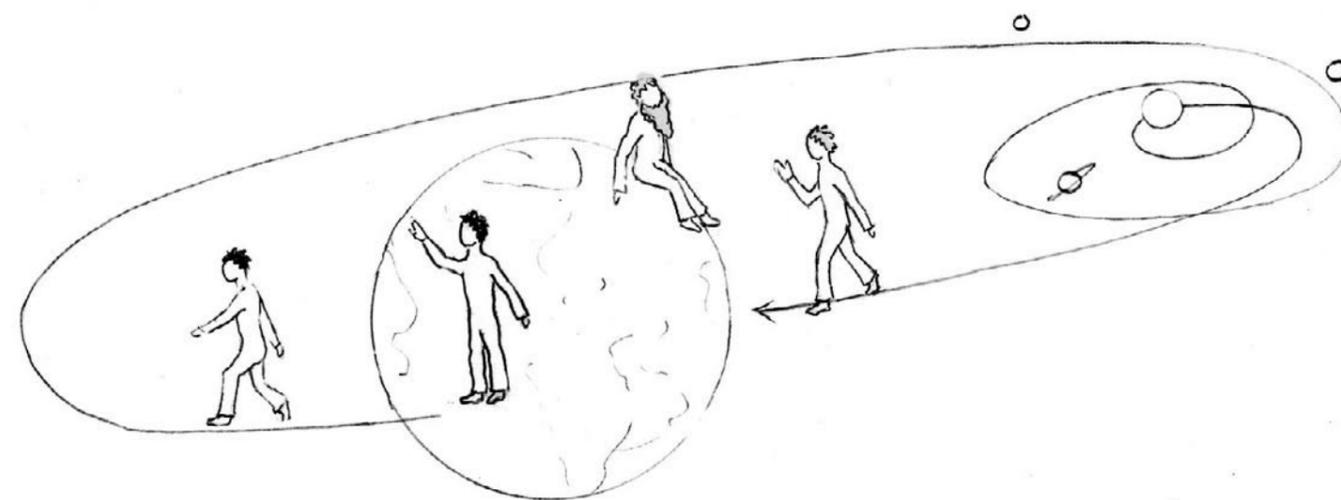




La question scientifique

La relativité est un concept très perturbant, brouillant nos notions d'espace et de temps absolus, identiques pour tous les observateurs. Les particules de l'infiniment petit se déplacent à des vitesses proches de la limite indépassable de la lumière, en particulier dans les expériences menées dans des accélérateurs de particules fonctionnant à très hautes énergies. Dans ces conditions, les particules connaissent en permanence les effets de la relativité d'Einstein.

Ainsi, si un observateur compare une horloge de référence avec celle embarquée dans une fusée se déplaçant à une vitesse proche de la lumière, il lui semblera que l'horloge embarquée est plus lente que celle restée à ses côtés. Cela peut sembler étrange, mais se trouve vérifié en permanence dans le cas des rayons cosmiques, des particules énergétiques venant de l'espace qui sont arrêtées en grande majorité par l'atmosphère terrestre. L'absorption de ces rayons cosmiques génère souvent dans la haute atmosphère des particules instables, les muons, qui se désintègrent très rapidement (un peu plus de 2 microsecondes). Bien qu'allant à une vitesse proche de celle de la lumière, ces muons ne devraient parcourir que 600 mètres dans la haute atmosphère et ne jamais être vus au sol... du moins, si on ne prend pas en compte les effets relativistes. En effet, les 2 microsecondes doivent être mesurées sur l'horloge associée au muon, qui se déplace à grande vitesse par rapport à nous. L'horloge des muons semble battre vingt fois plus lentement que la nôtre : les muons peuvent ainsi parcourir près de 15 kilomètres, atteindre la surface de la terre et être bel et bien mesurés.



On peut aussi illustrer cet écoulement différent du temps par l'histoire des jumeaux de Langevin. Un jumeau reste sur Terre tandis que l'autre part en voyage intersidéral pour faire l'aller-retour jusqu'à Proxima du Centaure (étoile la plus proche, à 4 années-lumière du Soleil), à une vitesse valant 80% celle de la lumière. Pour le jumeau resté sur Terre, l'horloge embarquée sur la fusée semblera plus lente. Un calcul relativiste montre qu'une fois l'aller-retour effectué, une surprise de taille attend nos jumeaux : l'horloge restée sur Terre aura vu s'écouler dix ans, tandis que l'horloge embarquée dans la fusée n'aura que six ans. Le jumeau astronaute aura donc vieilli de 6 ans, et son jumeau terrestre de 10 ans ! Cela illustre les aspects surprenants de la relativité quand on étudie des objets allant à des vitesses proches de la lumière, comme les particules élémentaires.



Château du CNRS / Festival Curiositas / Arts-sciences - Gif-sur-Yvette (Fr)



Scenocosme : Grégory Lasserre & Anaïs met den Ancxt

Le couple d'artistes Scenocosme réunit Grégory Lasserre et Anaïs met den Ancxt.

Leurs créations singulières prennent forme à travers diverses expressions: installations interactives, art plastique, art numérique, art sonore, performances collectives etc... En distillant la technologie numérique, ils en font ressortir des essences de rêve et de poésie, ils en utilisent ainsi la partie vivante, sensible voire fragile.

Artistes plasticiens, ils détournent diverses technologies pour créer des œuvres d'art contemporaines. Ils développent la notion d'interactivité, par laquelle l'œuvre existe et évolue grâce aux relations corporelles et sociales des spectateurs. Ils réalisent d'étonnantes hybridations entre technologies et éléments vivants ou naturels (végétaux, humains, eau, bois, pierres...). La plupart de leurs œuvres interactives perçoivent diverses relations invisibles entre les corps et l'environnement. Ils rendent sensibles les variations énergétiques infimes des êtres-vivants en proposant des mises en scène interactives où les spectateurs partagent des expériences sensorielles extraordinaires.

Leurs œuvres sont présentées dans de nombreux musées, centres d'art contemporain et festivals d'art numérique dans le monde.

www.scenocosme.com

Sébastien Descotes-Genon

Sébastien Descotes-Genon, Directeur de Recherche au CNRS au Laboratoire de Physique Théorique d'Orsay (CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay) est spécialisé dans la physique des particules. Il travaille en collaboration étroite avec des expérimentateurs du domaine, en particulier à partir des résultats du grand collisionneur de hadrons, le LHC (CERN, Genève). Il étudie plus spécifiquement les constituants ultimes de la matière (les quarks), la manière dont ils s'agencent et se désintègrent. Il s'efforce de résoudre les équations du Modèle Standard de la physique des particules (la description contemporaine de l'infiniment petit) pour comparer ses résultats avec les mesures expérimentales -- et éventuellement déceler des désaccords pouvant provenir d'une théorie plus fondamentale, dépassant et complétant le Modèle Standard.

A côté de ses activités de recherche, Sébastien Descotes-Genon a une activité soutenue en terme de vulgarisation, avec l'écriture d'articles de vulgarisation, l'édition de journaux (revue *Elementaire*) et de livres (*Passeport pour les deux infinis*, Dunod), la conception d'expositions ainsi que la conception de supports pédagogiques pour les enseignants du secondaire (affiche «Les constituants élémentaires de la matière»). Il enseigne régulièrement la vulgarisation à différents niveaux (étudiants, doctorants, chercheurs et ingénieurs).



