

LOST IN FATHOMS

an art and science exploration of the Anthropocene

Anaïs Tondeur and Jean-Marc Chomaz
curated by Robert Devcic

Contents

Introduction	1	Does the world leave the attractor ?	75
Are we responsible for the end of the world? Joanna Zylinska	4	Biographies	
Nuuk Island	8	Anaïs Tondeur	84
Investigative methodology	28	Jean-Marc Chomaz	85
Investigation 1 Geological	32	LadHyX	86
Echogram Series 1 Singular Occurrence of a fall	48	GV Art gallery	87
Echogram Series II Earthquake machine or the possible cause of land falls	52	Acknowledgments	88
Echogram Series III When plates wander	56		
Investigation II Oceanic	60		
Memory of the Ocean	63		
The Fathoms' phials Jean-Marc Chomaz	72		
A worldwide map of tidal dissipation Caroline Muller & Adrien Lefauve	73		

Introduction

Interdisciplinary practice at the edge of the Anthropocene

Will the new geological age lead to more meaningful art and science collaborations? Can an interdisciplinary approach increase our awareness of the anthropogenic impact on the Earth ?

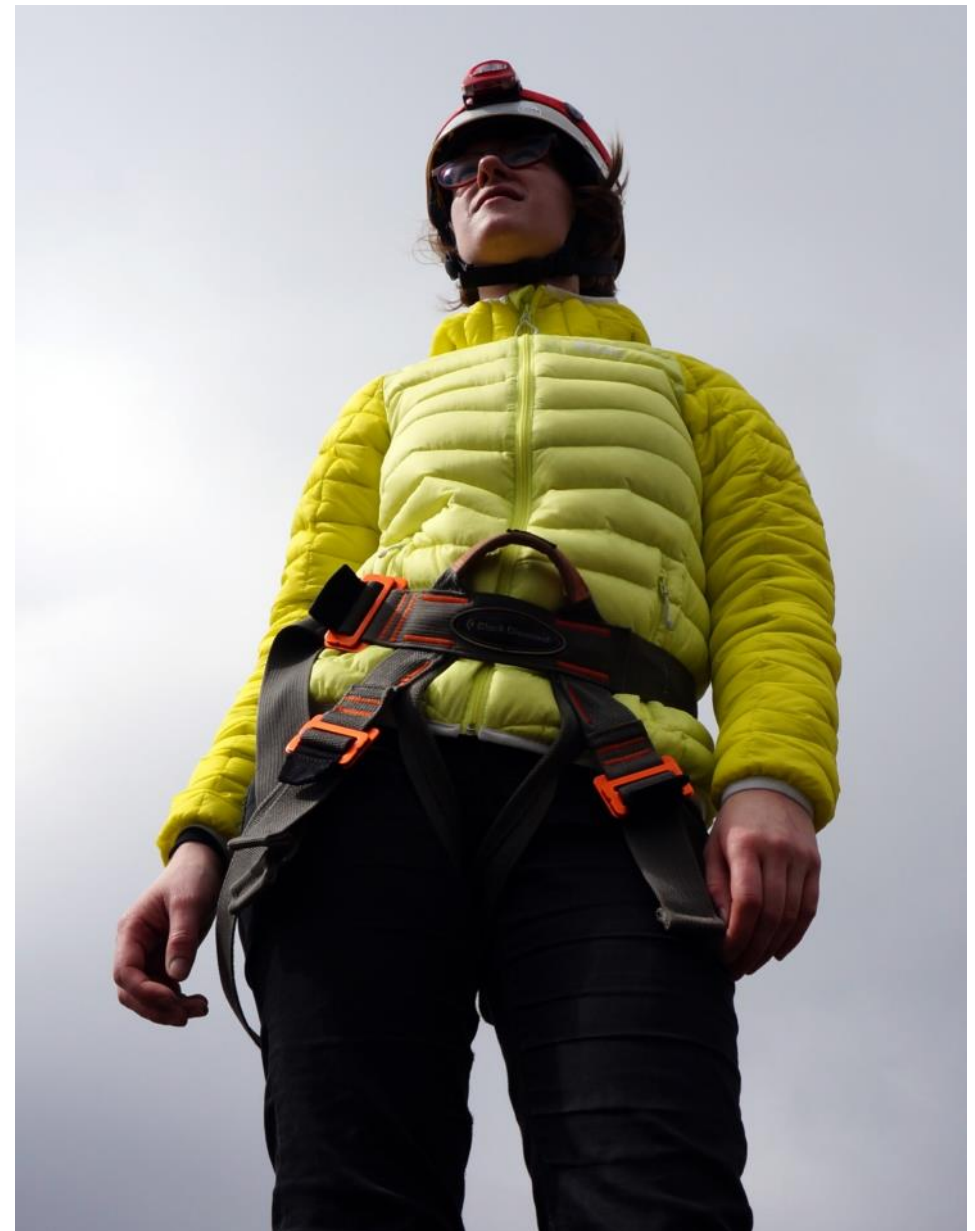
The collaboration between Anaïs Tondeur and Jean-Marc Chomaz demonstrates what meaningful collaboration can and should be about. Their creative journey was an entangled exploration that often put them both outside of their comfort zones. We all agreed to mount an exhibition without having any idea of what the content would be, despite the fact that it would be Anaïs's first UK solo show at a time when the world descends on London for the annual art fairs that make it the cultural capital of the world. The pressure was huge – but the excitement we all felt was even greater.

Working with them as Anaïs's agent and the curator/producer of *Lost in Fathoms* has been an adventure, despite most of the work happening in Paris and with many partners and laboratories around the world. This catalogue goes some way to capturing their creative journey with the support of the international community of oceanographers, geologists, physicists in geophysics and hydrodynamics, philosophers, cultural theorists and artisans. Special thanks to l'École Polytechnique (France) and Hydrodynamics laboratory (LadHyX), the Departments of Applied Mathematics and Theoretical Physics (DAMTP) Cambridge University, Chaire de développement durable and The department LaSIPS of the University Paris-Saclay.

There are many people to thank and this catalogue attempts to do this. However, I personally would like to thank Jean-Marc and Anaïs for taking me on an adventure that will continue for many years to come.

Robert Devcic

GV Art gallery, London



Anaïs Tondeur, *On the traces of Nuuk Island, Mid Atlantic Ridge*, 2014

Introduction

Recherches interdisciplinaires à l'ère de l'Anthropocène

Ce nouvel âge géologique donnera-t-il lieu à de plus fructueuses collaborations entre l'art et la science ? Une approche interdisciplinaire est-elle à même d'améliorer notre appréhension des effets anthropogéniques affectant le système terrestre ?

La collaboration entre Anaïs Tondeur et Jean-Marc Chomaz est un exemple manifeste de ce que peut donner une fructueuse collaboration, et de ce qu'elle devrait représenter. Leur processus de création prend la forme d'une exploration qui a demandé à chacun de se laisser immerger dans l'univers de l'autre et de sortir de son territoire connu. Nous avons défini les dates de ce qui deviendrait la première exposition personnelle d'Anaïs en Angleterre sans exactement savoir quel en serait le contenu. Cette exposition était prévue au moment même où le monde de l'art contemporain se retrouve à Londres pour les salons annuels. La pression était grande mais l'enthousiasme encore plus fort.

Travailler avec eux comme agent d'Anaïs et commissaire de l'exposition *Lost in Fathoms* fut une aventure, bien que la majeure partie des recherches et de la production fussent développées à Paris, en lien avec de nombreux collaborateurs et laboratoires du monde entier. Ce catalogue tente de présenter leur démarche créative, qui a bénéficié du soutien de la communauté internationale d'océanographes, géologues et physiciens en géophysique et hydrodynamique, philosophes, théoriciens de la culture et artisans. Nos remerciements particuliers vont à l'École Polytechnique (France) et au laboratoire de dynamique des fluides (LadHyX), au département de mathématiques appliquées et de physique théorique (DAMTP) de l'université de Cambridge ainsi qu'à la chaire de développement durable et au LASIPS (laboratoire d'excellence, centre de recherche et de formation en sciences de l'ingénierie et des systèmes) de l'université de Paris-Saclay.

De nombreuses personnes méritent nos remerciements et c'est l'un des objets de ce catalogue. Je suis également particulièrement reconnaissant envers Jean-Marc et Anaïs de m'avoir entraîné dans cette aventure qui devrait se poursuivre, je l'espère, sur de nombreuses années.

Robert Devcic

GV Art gallery, London



Antoine Garcia & Jean-Marc Chomaz, Hydrodynamics Lab, (LadHyX, France, 2014

Are we responsible for the end of the world?

Joanna Zylinska

Life typically becomes an object of reflection when it is seen to be under threat. In particular, humans have a tendency to engage in thinking about life (instead of just continuing to live it) when made to confront the prospect of death – be it the death of individuals due to illness, accident or old age; the disappearance of whole ethnic or national groups in wars and other forms of armed conflict; but also the extinction of whole populations, human or nonhuman. Anaïs Tondeur's *Lost in Fathoms*, a project conducted in collaboration with Prof. Jean-Marc Chomaz from the École Polytechnique, offers an artistic and scientific reflection on life and death as not just a human problem but as first and foremost a geological phenomenon that affects entities across various scales. It does this by zooming in on a unique case: the recent disappearance of a volcanic island called Nuuk, at a time when scientists have postulated the emergence of a new geological epoch, which they have named "the Anthropocene". *Lost in Fathoms* encourages us to see parallels between these two events, without offering any straightforward answers or solutions.

Proposed as a designation by the Dutch Nobel prize-winning chemist Paul Crutzen, the Anthropocene (from *anthropo*, man, and *cene*, new) is said to follow the Holocene, "the epoch that began at the end of the last ice age, 11,700 years ago, and that – officially, at least – continues to this day".¹ The need for the new term is being justified by the fact that human influence upon the geo – and biosphere via processes such as farming, deforestation, mining and urbanisation, to name but a few, has been so immense that it actually merits a new designation in order to address the challenges raised by that influence. Even though the term has not been universally and unquestioningly adopted by all geologists, its use has significantly increased over the last decade. Yet even

amongst those who are sympathetic to the term there is widespread doubt as to which moment in time should serve as a beginning of this epoch: some point to the early days of agriculture some 8,000 years ago, others to the Industrial Revolution or to the last fifty years of excessive consumption, while still others see the Anthropocene as an epoch that is yet to come.

In contemporary popular science and mainstream media the Anthropocene, represented by phenomena such as the progressing depletion of the Earth's resources and the ensuing extinction of many species (including, eventually, the human), is usually presented as something both inevitable and impending. To cite the British scientist Stephen Emmott, head of Microsoft's Computational Science research and co-author of the book *Ten Billion*, the current situation in which the human species finds itself can be most adequately described with the phrase "we are fucked". The reasons for this supposed state of events are as follows:

Earth is home to millions of species. Just one dominates it. Us. Our cleverness, our inventiveness and our activities have modified almost every part of our planet. In fact, we are having a profound impact on it. Indeed, our cleverness, our inventiveness and our activities are now the drivers of every global problem we face. And every one of these problems is accelerating as we continue to grow towards a global population of ten billion. In fact, I believe we can rightly call the situation we're in right now an emergency – an unprecedented planetary emergency.²

Emmott's practical solution to this situation is rather blunt: given that any possible technological or behavioral solutions to the current state of events, even if

theoretically possible, are unlikely to work, the advice he would give his son would be to “buy a gun”. This is of course a powerful story, the goal of which is to shock and awe us into action. Yet, without shooting our gun-wielding messenger, it is worth pointing out that there seems to be something both defeatist and narcissistic about jeremiads of this kind and those that tell them. Also, we humans have actually produced narratives about different forms of apocalypse ever since we developed the ability to tell stories and record them.

Rather than add to this bleak catalogue of apocalyptic events, Tondeur’s playful visual story about an island which may or may not have existed has a somewhat different inflection – although it does take seriously what science has to say about life and death. The artist takes the Anthropocene on board without inscribing her island story in any overarching pre-determined scenarios of the Earth’s future. We should of course be mindful of philosopher John Gray’s admonition in his review of Emmott’s book that “The planet does not care about the stories that humans tell themselves; it responds to what humans do, and is changing irreversibly as a result”. Yet, while Gray is correct in his scepticism, it should also be noted that we humans *do* care about the stories we tell ourselves. More importantly, stories have a performative nature: they can enact and not just describe things – even if there are limits to what they are capable of enacting. *Lost in Fathoms* can therefore be seen as one such story about life and death at both macro and micro scales. While not providing any definitive answers, it does encourage ethico-political reflection: it makes us consider ways of living a good life, both individually and communally, at a time when life itself is declared to be under a unique threat. Indeed, Tondeur’s story provokes and raises questions, but it does not proselytise about what we should or should not do to the “environment” – partly because the Anthropocene dismisses with any such neat separation between “us” and “that which environs us”. In the framework of thought promoted by the Anthropocene, everything, including us, is literally “made of starstuff”.⁴

Significantly, in the opening pages of his *Ecological Thought* Timothy Morton claims that “One of the things that modern society has damaged, along with

ecosystems and species and the global climate, is thinking”.⁵ We can therefore go so far so to suggest that, alongside the ecological disasters, the Anthropocene points to this very crisis of critical thought. Scientific dilemmas about the exactitude of the term aside, the concept itself can perhaps therefore first of all serve as an ethical pointer rather than as a scientific descriptor. In other words, the Anthropocene can be seen as articulating a human obligation towards the geo- and biosphere, but also *towards critical thinking* about the geo- and biosphere.

Yet, even if the Anthropocene is about “the age of man”, as the term indicates, the ethico-political thinking it designates is strongly post-anthropocentric, in the sense that it does not consider the human to be the dominant or the most important species in the universe, nor does it see the world as arranged solely for human use and benefit. However the term does however entail an appeal to human singularity (not to be confused with human supremacy!), coupled with a recognition that we can make a difference to the ongoing dynamic processes taking in the biosphere and the geosphere – of which we are part. Naturally, we are not the only or even the most important actors that are making such a difference. It would be extremely naive and short-sighted to assume that, as it would be to proclaim that we can affect or control any occurrences within that world – but we are perhaps uniquely placed to turn the making of such difference into an ethical and political task. Thanks to our human ability to tell stories and to philosophise, we can not only grasp the deep historical stratification of values but also work out what we will agree – through deliberation, policy work and conflict resolution – to be *better differences* across various scales.

If we humans have a singular responsibility to give an account of the differentiations of matter, of which we are part, such practices of account-giving establish a constitutive link between ethics, politics and poetics. We encounter ethics precisely via stories and images, i.e., through textual and visual narratives – from sacred texts, works of literature and iconic paintings through to various sorts of media stories and images. It is in this sense, inherited from the Greeks,

that products of human creative activity assembled under the general umbrella of “art” perform a *poetic* function: they bring forth realities, concepts and values. Art can therefore be described as world-making rather than just representational. Understood as the supposed “sixth mass extinction of species in the history of life on Earth”,⁶ the Anthropocene acquires its meanings and values through certain types of artistic, or, more broadly, cultural interventions, both written and visual.

Lost in Fathoms playfully employs the trope of demise and death to make us reflect on time across different geological scales. The project is not moralistic, in the sense that it does not tell us what to do and how to respond, but it does usher in a certain sense of urgency, coupled with a suggestion that climate change is a very deep and complex problem indeed. Its own seemingly fateful narrative about the disappearance of Nuuk, with its anthropods, worms and research station, can be seen as a creative intervention that subtly reimagines how we can think about life, death and extinction *beyond* what we might term the “solutionism” and “rescuism” of the dominant Anthropocene story that popular science and mainstream media increasingly expose us to.

Notes

¹ Elizabeth Kolbert, “Enter the Anthropocene – Age of Man”. *Making the Geologic Now: Responses to Material Conditions of Contemporary Life*. Ed. Elizabeth Ellsworth and Jamie Kruse. Brooklyn, NY: Punctum Books, 2012, p. 59. Originally published in *National Geographic Magazine*, March 2011.

² Stephen Emmott, *Ten Billion*. Harmondsworth: Penguin (Kindle edition), 2013, non-pag.

³ John Gray, “Are we Done For?” *The Guardian*. July 6, 2013, p. 6.

⁴ This is a famous line by physicist Carl Sagan from his documentary TV series, *Cosmos*.

⁵ Timothy Morton, *The Ecological Thought*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2010, p. 4.

⁶ Ursula K. Heise, “Lost Dogs, Last Birds, and Listed Species: Cultures of Extinction”. *Configurations* 18.102 (Winter 2010), p. 49.

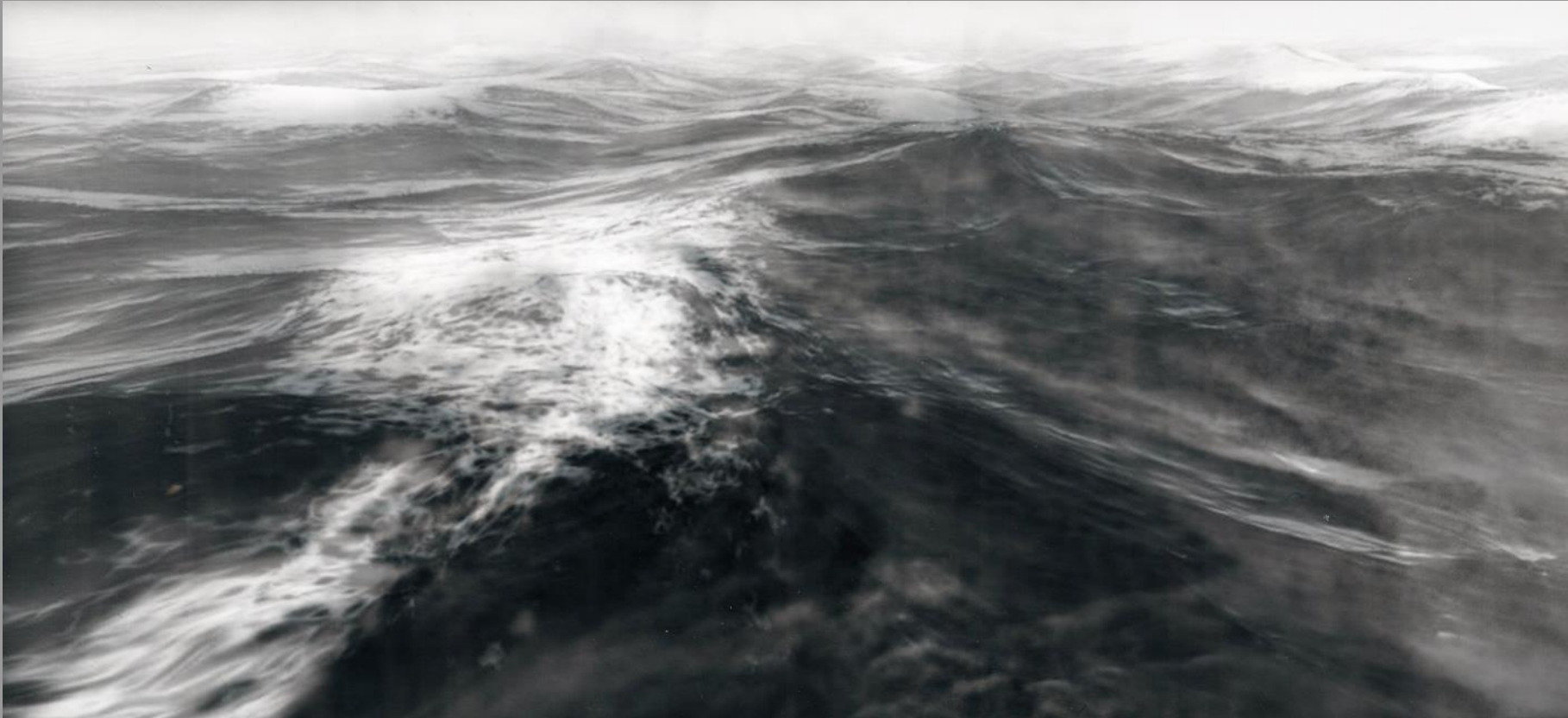
Joanna Zylińska is Professor of New Media and Communications at Goldsmiths, University of London. The author and editor of many books on art, technology and ethics, she is also a photomedia artist and a curator. The material for this essay has been partly adapted from her latest publication, *Minimal Ethics for the Anthropocene* (Open Humanities Press, 2014; e-version available open access:

<http://openhumanitiespress.org/minimal-ethics.html>).

Nuuk Island

In the midst of time,
so is the possibility of an island
Au milieu du temps,
la possibilité d'une île.

Michel Houellebecq, 2005



Nuuk Island was surrounded by considerable oceanic turbulences. These whirlpools were the surface signatures of dense and cold waters diving into the fathoms.

L'île de Nuuk se trouvait au centre d'importantes turbulences océaniques : des tourbillons générés par le passage de courants d'eau, denses et froids, qui plongeaient vers les profondeurs.

Waterdive surface signatures

Signatures de surface de plongée des eaux



Although covered with a thick ice cap, Nuuk was a volcanic island created by the rise of a mantle plume.

Bien que recouverte d'une épaisse couche de glace, Nuuk était une île volcanique, créée par la poussée de roches anormalement chaudes du manteau terrestre.

Submerged volcanic landscape

Paysage volcanique sous-marin



This plume had also resulted in general shoaling of the region and the creation of a chain of seamounts partly submerged.

Cette poussée avait aussi engendré la déformation du relief sous-marin alentour et l'apparition d'une chaîne de montagnes, en grande partie immergée.

Nuuk Island

L'île de Nuuk



These seamounts had formed at the junction of two tectonic plates forming a rift, which also crossed the Island and had fractured it from east to west before vanishing into the ocean's depths.

Ces montagnes avaient jailli à la jonction de deux plaques tectoniques constituant une faille qui traversait l'île, la fracturant d'est en ouest avant de s'évanouir dans les profondeurs de l'océan.

Tectonic Fracture

Fracture Tectonique



Nuuk Island was discovered early 18th century by French naval officer, Paul Syrillin.

However, after Syrillin, no one landed on the Island for two centuries. Indeed, at a time where navigation was still by dead reckoning, no one could find the Island again for the simple reason that the coordinates fixed by Syrillin were revealed to be inaccurate.

Paul Syrillin

L'île de Nuuk fut découverte au début du XVIII^e siècle par Paul Syrillin, officier de la marine française.

Cependant, durant près de deux siècles, plus personne n'accosta sur cette terre : en effet, à une époque où la navigation se pratiquait principalement au compas et à la boussole, personne ne fut pas en mesure de la retrouver, pour la simple raison que les repères géographiques relevés par Paul Syrillin s'étaient révélés faux.

Paul Syrillin



It was only in 1948, that this Island was rediscovered by a Nordic nation, which annexed it. It declared the Island and its surrounding territorial waters a "nature reserve".

A series of botanical and entomological studies were then realised on the Island.

Nature reserve

Ce fut seulement en 1948 que cette terre fut par hasard redécouverte par un état du nord qui l'annexa et déclara l'île « réserve naturelle » ainsi que ses eaux territoriales.

Une série d'études botaniques et entomologiques fut alors réalisée.

Réserve Naturelle



The vegetation was limited to a few types of lichens and mosses.

La végétation était constituée de quelques familles de mousses et de lichens.

Scarce Flora

Une flore peu abondante



And the fauna to seven species of arthropods: three were springtails (Collembola) and four pertain to the family of mites (Acari).

La faune se limitait à 7 espèces d'arthropodes : 3 étaient des collemboles, 4 appartenaient à la famille des mites.

Nuuk's Springtails

Collemboles



A small number of worms from the Annelid species were observed under the northernmost rocks.

Un petit nombre de lombrics de la famille des annélides fut observé sous les pierres les plus au nord.

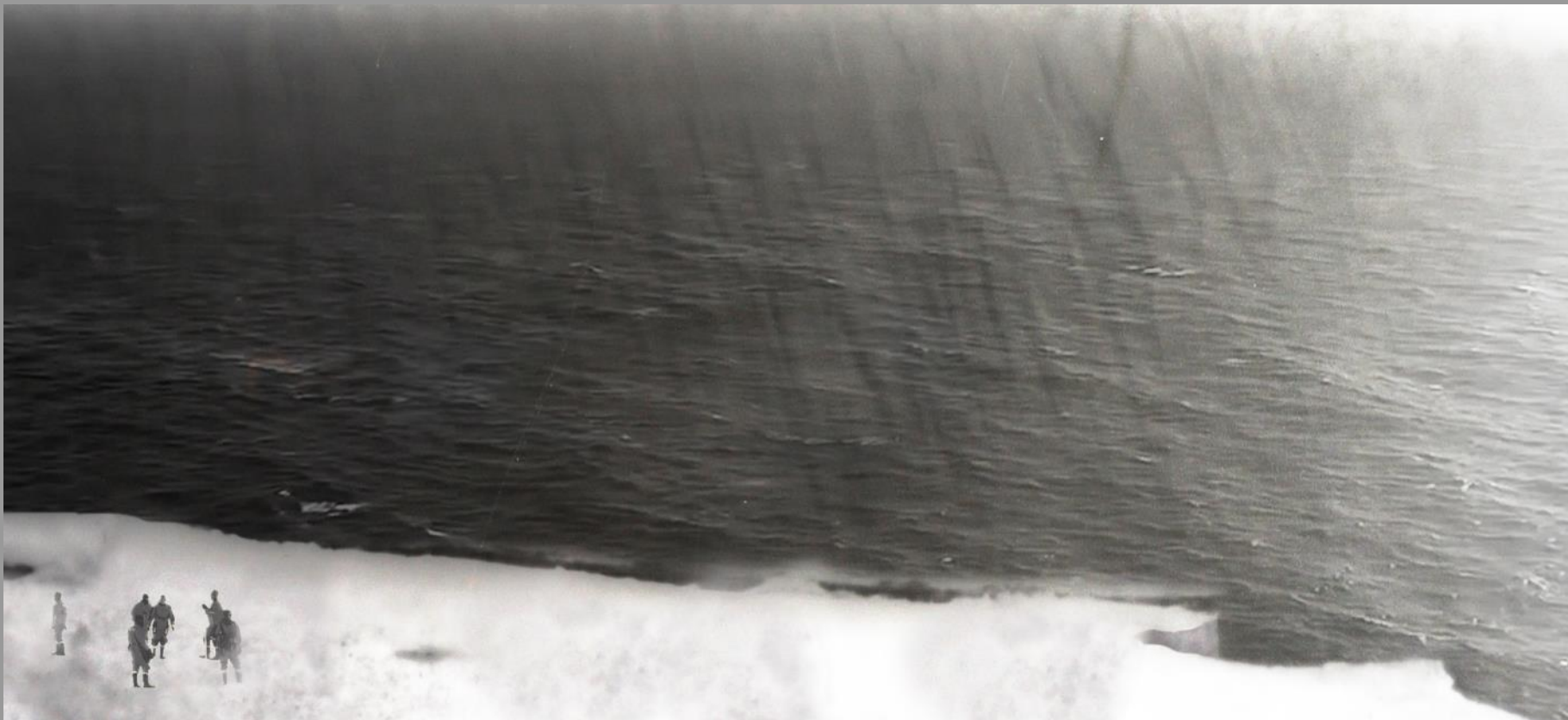
Annelid worm

Lombrics



In 1950, a geological survey of the Island was conducted. That much, at least, is implied by the title of Anton Solyavick's paper: "Some tectonic observations on Nuuk Island". It appeared in one of the regrettably rare Journal called *The Expedition Information Bulletin*.

En 1950, une étude géologique fut menée sur l'île, c'est du moins ce que laisse entendre un article d'Anton Solyavick intitulé « Observations tectoniques sur l'île de Nuuk ». Cet article parut dans un des rares numéros de *The Expedition Information Bulletin*.

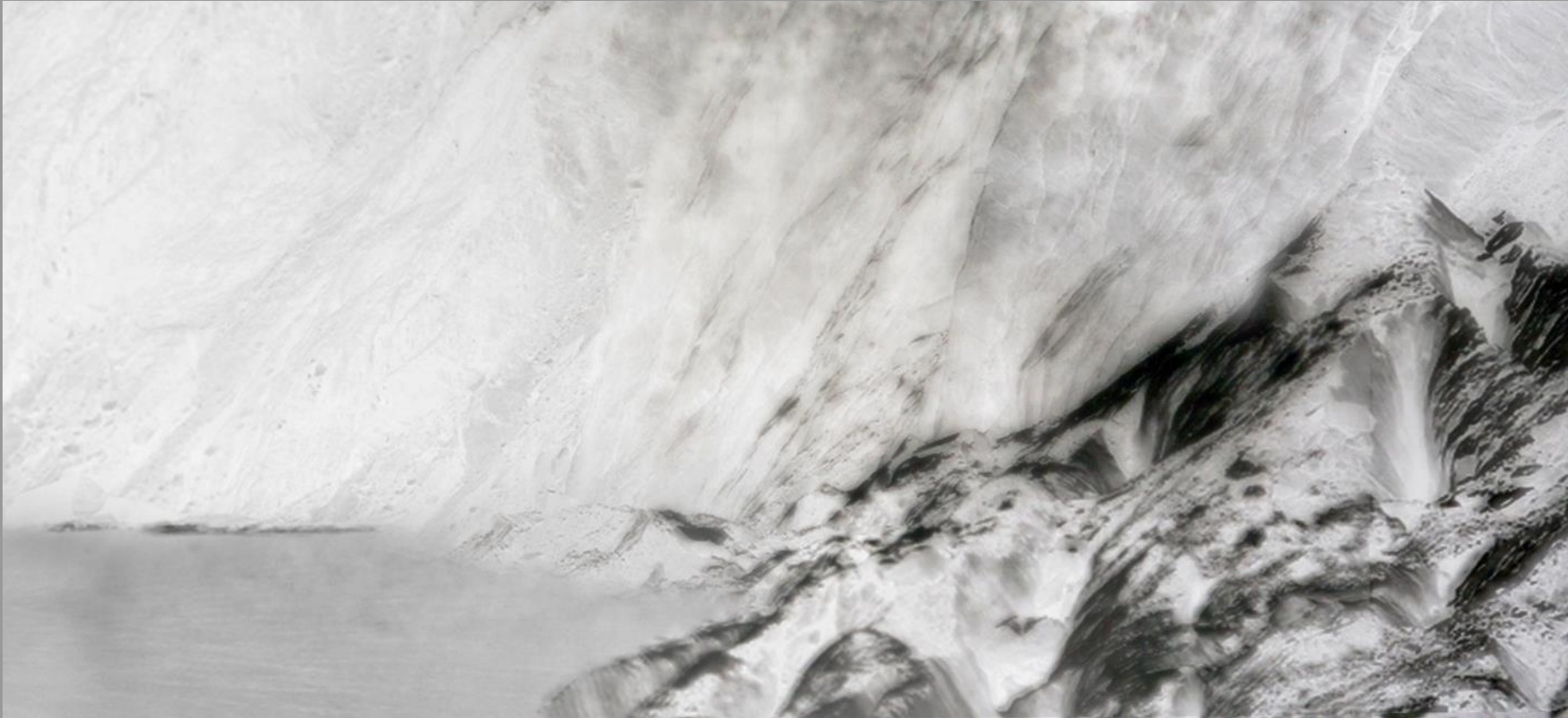


When a third expedition called at Nuuk Island on 30 July 1976, the scientists on board noticed that the emerged land had shrank by 953m.

Lorsqu'une 3^{ème} expédition atteignit les côtes de Nuuk le 30 juillet 1976, les scientifiques embarqués remarquèrent que la partie de terre émergée avait rétréci et que la ligne de la côte sud avait reculé de 953 mètres.

3rd Expedition

3^{ème} expédition



It was decided to establish an observation station connected to the continent via satellite.

Il fut décidé d'installer un poste d'observation relié au continent par satellite.

Post volcanic activity

Activité post-volcanique



While looking for a suitable terrain on which to establish the station, the crew discovered the remnants of a craft. The Captain reports in her logbook: "There are no markings to identify its origin. Between the rocks a hundred yards away, we also find a forty-four gallon drum, a pair of oars, a wood and copper flotation, alongside a buoyancy tank opened out flat."

C'est en cherchant un terrain propice pour installer cette station que l'équipe découvrit les restes d'une embarcation. Le capitaine rapporta dans son journal de bord : « Rien ne permet d'en identifier l'origine ; entre les pierres, à une centaine de mètres nous trouvons aussi une caisse d'une contenance de 166 litres (44 gallons), une paire de rames, des morceaux de cuivre et de bois de flottage ainsi qu'un réservoir ouvert et lacéré ».

Remnants of an unknown expedition

Les traces d'une expédition inconnue



The crew found no further human traces.

L'équipe ne remarqua aucune autre trace de présence humaine.

No further human traces found

Aucune autre trace humaine ne fut trouvée

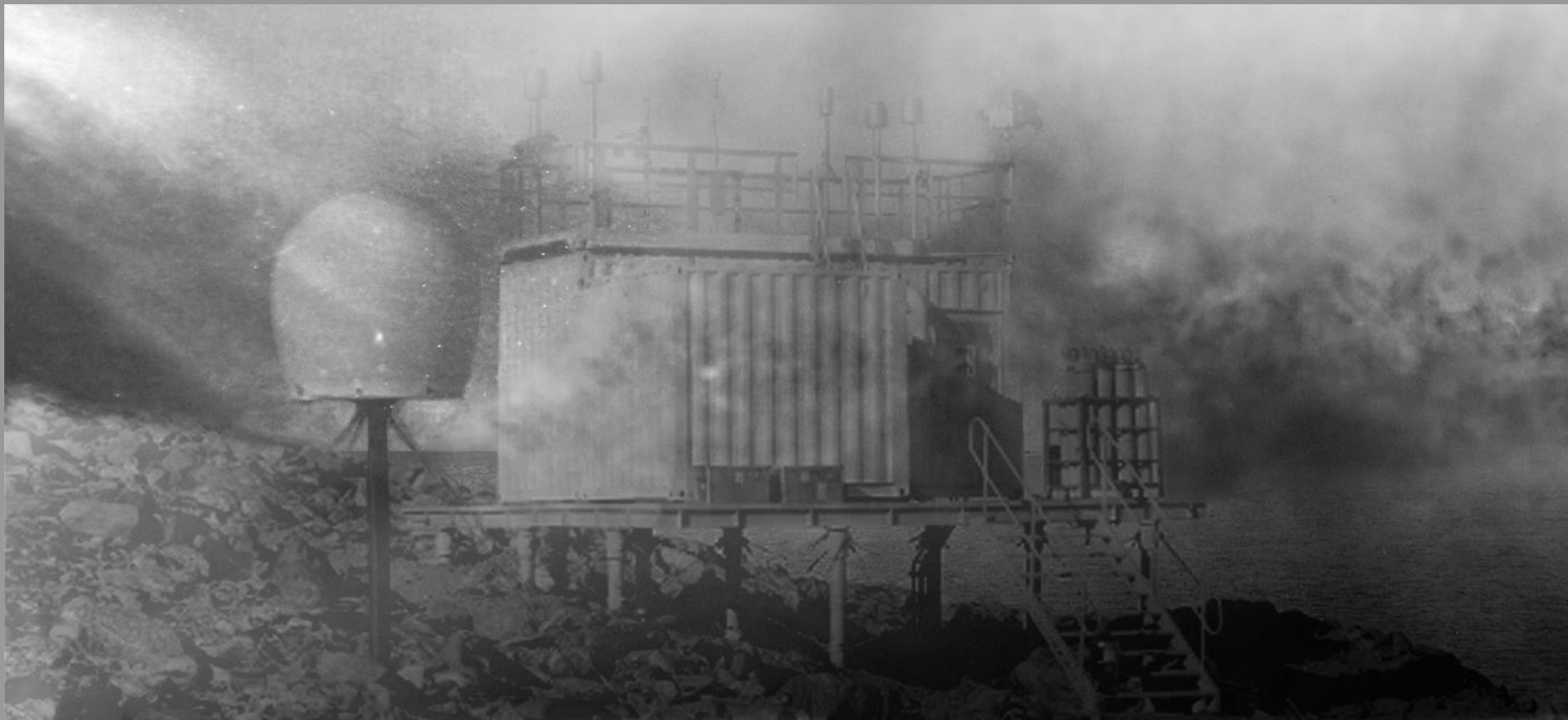


An observation station was then established on the plateau overlooking the south of the Island.

Un poste d'observation fut alors établi sur le plateau rocheux dominant le sud de l'île.

Rock Plateau

Plateau rocheux



It became the only active link between the Island and the continent.

Il devint le seul lien actif reliant l'île au continent.

Linking Nuuk to the continent

Seul lien entre Nuuk et le continent

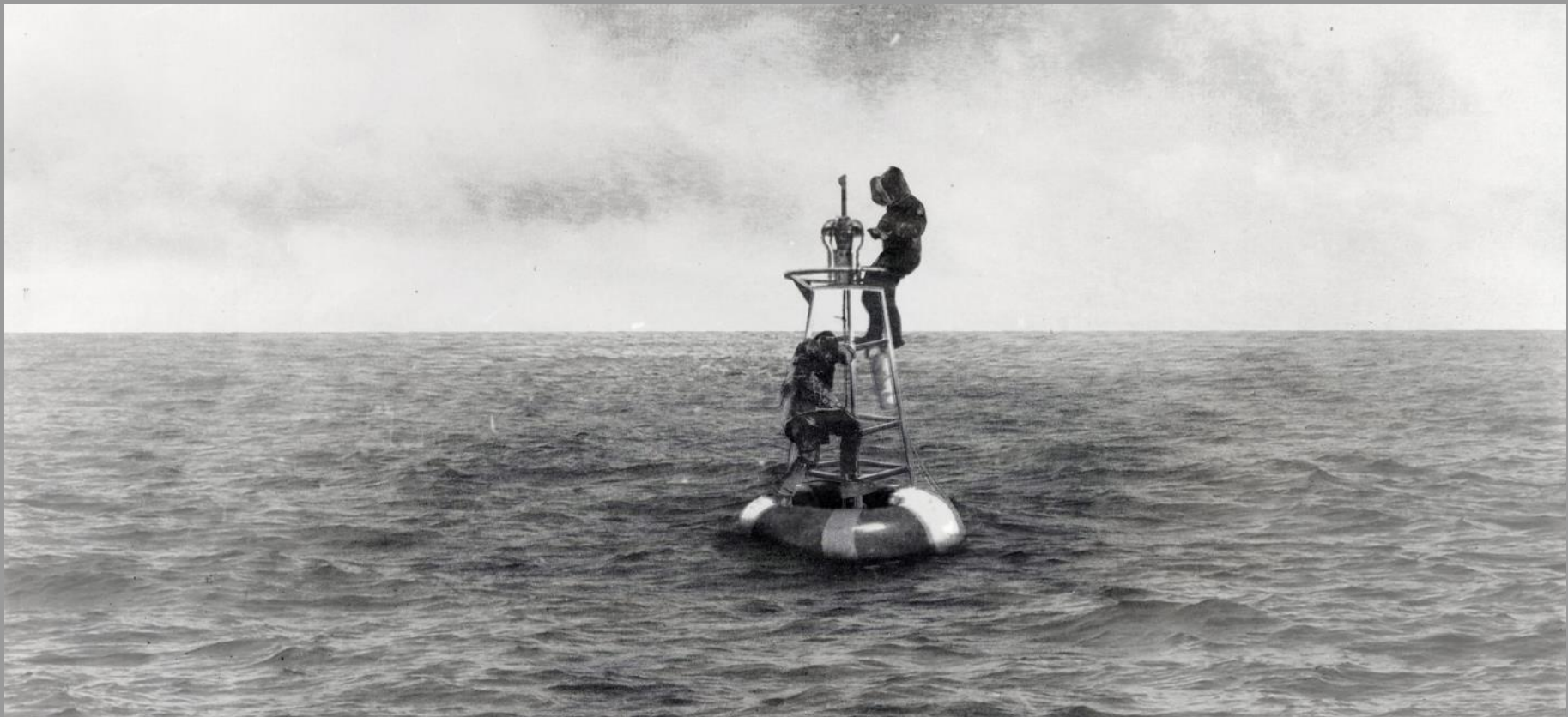


Yet in 2012, the station stopped transmitting.

Cependant en 2012, la station cessa d'émettre.

Nuuk's last transmission

La dernière transmission



Satellite images revealed the Island had entirely disappeared from the surface of the ocean.

Des images satellites révélèrent que l'île avait entièrement disparu de la surface de l'océan.

The disappearance of an island

La disparition d'une île

At the same time, in Brisbane, Australia, the 34th International Geological Congress discussed that the 'Anthropocene' as the new geological age in which we have entered and where our industrial societies are becoming major factors in the Earth's transformation.

Mankind's impact on the Earth and its ecosystems, to the point that a new man-made stratum is about to emerge.

Yet, was the disappearance of Nuuk Island a one-off or a direct consequence of the emergence of the Anthropocene?

À la même période, à Brisbane en Australie, le 34e congrès international de géologie se penchait sur la question de reconnaître ou non l'Anthropocène, une ère géologique nouvelle dans laquelle nous serions entrés : une ère dans laquelle nos sociétés industrielles deviennent un facteur majeur de la transformation de la planète.

L'activité humaine impacte la Terre et son écosystème à tel point qu'une nouvelle strate géologique est en train d'apparaître.

La disparition de l'île de Nuuk est-elle un événement singulier ou la conséquence directe de l'émergence de l'Anthropocène ?

All images in this series are dated 2014,
shadowgram, 11 x 24 cm
Available as prints in an edition of 55 from info@gvart.co.uk

Toutes les images de cette série datent de 2014
Shadowgramme, 11 x 24 cm
Disponible en reproduction d'art, Édition de 50 tirages: info@gvart.co.uk

Investigative methodology

Bringing together cartographic collage, laboratory research and field trips, this project explores the causes involved in the sudden disappearance of Nuuk Island. The evidences drawn up over the course of this investigation are presented in the form of a series of installations, videos and shadowgraphic images, which challenge our perception of oceanic and geologic time scales and of humanity's impact on the Earth's systems.

Nuuk¹ Island occupied a fictional territory. It had been found by chance, in a reflection, in the middle of time.

Despite its modest size, the Island was a headland. It became a vantage point from which to look upon reality. From there one could observe great natural phenomena and how they unfold over time. The Island was at the intersection between several shifting movements: some sudden (an earthquake, a landslide or a wave), others that had arisen over centuries (ocean circulations), and others still, so slow their motion had remained imperceptible (wandering tectonic plates).

Yet, when the Nuuk Island disappeared, we slow down time to observe the forces at play over the Island, we gave voice to the elements that formed it, we questioned the impact of anthropogenic actions on those forces that seemed inalterable, but whose fragile equilibrium reveals its sensitive dynamic.

Indeed, the Island disappeared at the very moment in 2012 at which the 34th International Congress, was attempting to define the end of the Holocene: the geological epoch, which commenced around 10,000 years ago – and now substituted with the Anthropocene². This new term suggests that human activities have a geologic impact that, like a period of intense volcanic activities, alters the planet in an untold but definitive way. Humankind has become a telluric force, a

Méthode d'investigation

Né d'un collage cartographique, d'une recherche en laboratoire et sur le terrain, ce projet a pour but d'enquêter sur les causes supposées de la disparition de l'île de Nuuk. Les preuves recueillies au cours de cette enquête sont présentées sous forme d'installations, de projections vidéo et de shadowgrammes qui interrogent notre perception des échelles de temps océanique et géologique ainsi que l'impact de l'homme sur le système terrestre.

L'île de Nuuk¹ occupait un territoire de fiction. Elle avait été découverte par hasard, dans un reflet, au milieu du temps.

Bien que de taille réduite, l'île était un promontoire. Du haut de son histoire, nous regardions le réel. Nous examinons les grands phénomènes naturels et leur déploiement au fil du temps. L'île était au croisement de différents mouvements, pour certains soudains (un séisme, un glissement de terrain ou encore une vague), d'autres se déployant sur des siècles (les circulations océaniques), d'autres encore si lents que les déplacements associés restaient imperceptibles (la dérive des continents).

Or, quand l'île de Nuuk disparut, il fallut ralentir le temps pour observer les forces en jeu sur l'île, donner la parole aux éléments qui l'avaient formée et interroger l'impact des actions anthropiques sur ces forces qui semblaient immuables mais dont la dynamique sensible se révélait d'un équilibre fragile.

En effet, l'île avait disparu au moment même où le 34^e congrès international de géologie tentait de définir la fin de l'Holocène. Cette époque géologique, qui débuta il y a environ 10 000 ans, est maintenant remplacée par l'Anthropocène², une nouvelle ère où l'humanité, à l'instar des périodes d'activités volcaniques majeures, modifie le climat et transforme la planète au point qu'une strate géologique d'origine anthropique est en train d'apparaître

determining agent in the geological evolution of the earth to the point that a new human-made stratum has emerged in geological records. The traces of our time on the planet, the imprints of our industrial, urban and consumerist societies will persist in the Earth's geological archives for thousands, if not millions, of years to come.

Consequently, in this period of unprecedented acceleration, the human timescale can no longer be viewed as distinct from the timescale of the earth system. Was the disappearance of Nuuk Island also the result of a temporal singularity, a collision between the timescale of mankind and that of the oceans or continental drift?

For more than a year, this question formed the centre of our research. Indeed, although at the time of its existence, the Island remained in the realm of fiction, its disappearance gave rise to an inquiry anchored in reality, which involved historians and philosophers, the International Community of Oceanographers, geologists of the ENS and physicists from the laboratories of l'École Polytechnique and of Cambridge University.

We looked into ways in which geological and oceanic forces unfold over time in this changing environmental context. We travelled to encounter these forces in their natural surrounding and studied their dynamics on laboratory benches or with pencil on paper.

We draw out the different layers of the narrative, in a constant search after the documentary, scientific precision that authenticates fiction; the narrative shift that sets free intuition; the transitive structure, which sets out to make contact with the 'other', all the while maintaining connections between the different fields of knowledge, whilst confronting the nature of the relationship between the facts and the cold light of expertise.

Hence, the possibility of an island opens onto a space for exploring potentialities – a landscape for questioning existing interpretations of our world, enabling us to ponder upon the reality of a planet.

dans les repères stratigraphiques. L'homme devient par conséquent une force tellurique, un acteur déterminant de l'évolution géologique de la Terre. Les traces de son passage, marques de nos sociétés industrielles, urbaines et consuméristes subsisteront dans les archives géologiques de la planète pour des milliers, voire même des millions d'années.

Par conséquent, dans cette période d'accélération sans précédent, le temps humain ne peut plus être perçu comme distinct des temps du système terrestre. La disparition de l'île de Nuuk est-elle aussi le résultat d'une singularité temporelle, l'entrée en collision du temps des hommes avec celui des océans ou de la dérive des continents ?

Pendant plus d'un an, cette question fut au centre de notre recherche. En effet, si à l'époque de son existence, l'île de Nuuk était restée dans le champ de la fiction, sa disparition et ses conséquences, quant à elles, donnèrent jour à une enquête ancrée dans le réel, impliquant historiens et philosophes et faisant appel à la communauté internationale d'océanographie, aux géologues de l'École Normale Supérieure, aux physiciens et étudiants des laboratoires de l'École Polytechnique et de Cambridge.

Nous avons interrogé le déploiement temporel des forces géologiques et océaniques dans ce nouveau contexte environnemental. Nous sommes allés à leur rencontre dans leurs cadres naturels puis avons étudié leurs dynamiques sur les paillasses du laboratoire et les feuilles de l'atelier. Nous avons ensemble élaboré les différentes strates du récit dans une recherche constante de la précision documentaire et scientifique qui autorise la fiction, du glissement narratif qui libère l'intuition. Cherchant la structure transitive, qui tente de toucher « l'autre » tout en maintenant le lien entre les différents domaines de connaissance, nous avons tenté de mettre en miroir la vraie nature de l'interaction entre les faits et la lumière froide de l'expertise.

Par là même, la possibilité d'une île ouvrait sur un terrain d'expérimentation des possibles, un champ d'exploration des interprétations actuelles de notre monde, permettant une réflexion sur la réalité d'une planète, notre planète.

¹ *The etymology of the term “Nuuk” refers to the topography of a location/place. In Inuit, it means “the cap, the promontory”.*

² from the Greek anthropos, “human”: “age of mankind”

¹ L'étymologie du terme «Nuuk» renvoie à la topographie d'un lieu. En langue inuit, il signifie « le relief, le cap, le promontoire ».

² Anthropocène : du grec «anthropos» soit l'«humain».

Investigation I

Geological



Basalt Fall, Expedition day 1

Chute de basalte , 1^{er} jour d'expédition



Subterranean dynamics revealed, Expedition day 2

La preuve d'un dynamisme souterrain, 2^{ème} jour d'expédition



Telluric altitudes, Expedition day 3

Altitudes telluriques, 3^{ème} jour d'expédition



Expedition to a landscape like Nuuk, Expedition day 4

Un paysage semblable à Nuuk, 4^{ème} jour d'expédition



Retracing the line, Expedition day 5

Arpenter la frontière entre les continents, 5^{ème} jour d'expédition



Within the wandering continents, Expedition day 6

Entre les continents à la dérive, 6^{ème} jour d'expédition



Pre-Holocene water, Expedition day 7

Eau du Pré-Holocène, 7^{ème} jour d'expédition



Capturing a sample from the wandering continents, Expedition day 8

All images in this series are dated 2014

shadowgram, 11 x 24 cm

Available as prints in an edition of 55 from info@gvart.co.uk

Extraction d'un échantillon de roche des continents à la dérive, 8^{ème} jour d'expédition

Toutes les images de cette série datent de 2014,

Shadowgramme 11 x 24 cm

Disponible en reproduction d'art, Édition de 50 tirages: info@gvart.co.uk

Echoes from the wandering continents

The force of repeated earthquakes had caused a long fracture to appear on the surface terrain of Nuuk Island. This had been foreshadowed by fine cracks on the rocks of the eastern coast, where the landscape had swelled and cracked in fine fissures which extended into the ocean.

The results of a geological study, conducted by Sloyavick in 1952, had showed that this 'superficial scar' signalled the existence of a fault beneath the Island. This corresponded with the juncture meeting of two continents: two tectonic plates shifting in series of imperceptible movements, creating a level of pressure, at which, one day, their forces would suddenly give way and trigger a rupture in the depths, which perhaps in turn would cause the disappearance of Nuuk Island.

The investigation to understand the cause of Nuuk's disappearance began with an expedition into a landscape with geological characteristics similar to those of Nuuk. For ten days, we chartered the line that separates the North American and Eurasian continental plates. We traced this tectonic frontier in search of a sound – the echo from the wandering plates.

We climbed the rift valley, a monumental corridor of basalt and entered the transversal fractures, which cross Pingvellir's graben. Some fractures were on such a scale that they became a landscape in themselves, with their own volcanoes, rivers and pastures. Further on, some fractures were brimming with pure water – petrified during the last Ice Age, and then released by the rising temperatures – gushing from underwater pools. Others were covered in thick white moss, concealing a labyrinth of crevices.

In this way, the lithosphere lost its static, immovable appearance. Each relief in the landscape revealed the existence of a subterranean dynamic. It proved the

Échos de la dérive des continents

Suite à une série de tremblements de terre, une longue fracture était apparue dans la topographie de l'île de Nuuk. Elle avait été annoncée par de fines crevasses sur les roches de la côte est. En ce point, le paysage se boursoufflait et se craquelait en fissures de plus en plus profondes qui s'étendaient jusqu'à l'océan.

L'étude géologique menée en 1952 par Sloyavick, avait démontré que cette «cicatrice superficielle» signalait l'existence d'une faille sous l'île. Elle correspondait à la rencontre de deux continents : deux plaques tectoniques se déplaçant dans un mouvement imperceptible jusqu'à un point de pression tel qu'un jour, leurs forces conjuguées déclencheraient soudain une faille dans les profondeurs, peut-être à l'origine de la disparition de l'île de Nuuk.

L'enquête que nous avons entreprise pour tenter d'élucider les causes de la disparition de Nuuk débuta par une expédition dans un paysage aux caractéristiques géologiques similaires à celles de l'île. Durant dix jours, nous avons arpenté la ligne séparant les continents nord-américain et eurasiatique. Nous avons longé cette frontière tectonique en quête d'un indice : l'écho de la dérive des continents.

Remontant la vallée de la faille, couloir monumental formé de roches basaltiques, nous nous sommes engagés dans les fractures transversales des bassins d'effondrement : les grabens de Pingvellir. Certaines de ces fractures avaient pris de telles dimensions qu'elles étaient devenues, à elles seules, des paysages singuliers avec leurs volcans, leurs rivières, leurs pâturages. Un peu plus loin, d'autres fractures s'étaient remplies d'une eau pure pétrifiée lors de la dernière glaciation, que le réchauffement libérait, jaillissante, des nappes souterraines. D'autres encore étaient couvertes d'un épais lichen blanc

existence of a force determinedly active beneath the surface of the earth. This place possessed the same tectonic fissures as those we deduced existed on Nuuk Island. Carrying our exploration further, we descended to the foot of the cyclopean walls of this tectonic fracture, partly flooded with the water from the melting glacier. We dived between the giant basalt orifices and extracted a sample of rock.

The block of basalt was then brought back to the Geology Laboratory of l'École Normale Supérieure in Paris, to be analysed by Jérôme Fortin's team. They study the behaviour of rocks, placing them under condition similar to those that prevail along the ridges several kilometres beneath the Earth's surface. At a temperature of 80 degrees, pressurised to 1,000 atmospheres and under constraints similar to those that accumulate between tectonic plates over millions of years, our sample of basalt fractured: releasing a sound – a chain of mineral echoes.

This sound came up to us from the immensity of time: it retraced the history of the emergence of tectonic plates and was only audible for a fraction of a second, at the moment of the rock tearing.

This sound was the aftermath of geological events, freed from the folds of time and space. Recorded using piezoelectric sensors attached directly to the rock, and sampled at a very high frequency, this audio signal captures the instant when the grains of the rock ruptured, triggering the successive fracturing of the entire rock.

Set out in time and transposed to the scale of the Island's topography, this sound transmitted a series of geological shifts: the imperceptible motion of a tectonic plate and the resultant fractures in the rock, followed by quakes in the earth, echoed by the slide and fall of a landmass.

The question then was to find out whether this succession of geological events could inform us about the causes at the origin of Nuuk Island's disappearance.

With the participation of PhD students and researchers at the Summer School (Fluid Dynamics of Sustainability and the Environment) at the Department of

dissimulant un dédale de crevasses.

Ainsi, la lithosphère perdait son apparence immuable et immobile. Chaque relief du paysage trahissait l'existence d'un dynamisme souterrain. C'était la preuve d'une force résolument active sous la surface de la Terre. Ce lieu possédait des fêlures tectoniques semblables à celles dont nous avons déduit l'existence sur l'île de Nuuk. Poursuivant notre exploration, nous sommes descendus au pied des parois cyclopéennes de la faille. Puis pénétrant dans l'eau du glacier, nous avons plongé entre ses gigantesques murs de basalte pour y prélever un échantillon de roche.

Ce bloc de basalte fut ensuite rapporté pour être analysé à Paris, au laboratoire de géologie de l'École Normale Supérieure, par l'équipe de Jérôme Fortin qui étudie le comportement des roches en les plaçant dans des conditions similaires à celles qui existent le long des failles, à plusieurs kilomètres sous la surface terrestre. À une température de 80° et sous une pression d'un millier d'atmosphères, soit dans des contraintes analogues à celles accumulées entre les plaques tectoniques durant des millions d'années, notre échantillon de basalte s'est fracturé, libérant un son : une chaîne d'échos d'origine minérale.

Ce son nous parvenait du fond des âges, il retraçait l'histoire immémoriale de la naissance des plaques tectoniques. Il ne fut audible que pendant une infime fraction de secondes, lors de la rupture de la roche.

Il était l'aboutissement d'une chaîne d'événements géologiques qu'il libérait des replis du temps et de l'espace. Enregistré par des capteurs piézoélectriques collés à même la roche et échantillonné à très haute fréquence, ce signal audible racontait l'instant de la rupture d'infimes grains rocheux, rupture entraînant la fracturation de toute la roche en cascade.

Éloigné dans le temps et transposé à l'échelle de la topographie de l'île, ce son témoignait d'une série de mutations géologiques : le mouvement imperceptible d'une plaque tectonique ayant fracturé la roche, suivi de tremblements de terre, puis de glissements de terrain et de l'effondrement de la masse continentale.

Applied Mathematics and Theoretical Physics (DAMTP) in Cambridge, and those at the Laboratory of Fluid Mechanics (LadHyX, Ecole Polytechnique, France), we tried to recover the pattern of this chain of geologic phenomena, whose echo had reached us.

However, in the light of these experiments, a consensus was reached among the researchers: nobody could establish for certain that a single cause was at the origin of the disappearance of Nuuk Island but in fact several causes. The rest of the investigation concerned itself with the impact of oceanic phenomena on the Island's rocks and potential links to the impact of human actions on the planet.

La question était à présent de savoir si cette suite d'épisodes géologiques pouvait nous renseigner sur les causes qui avaient pu provoquer la disparition de Nuuk.

Avec la participation d'un groupe de doctorants et de chercheurs de l'École d'été (Dynamique des fluides pour la durabilité et l'environnement (FDSE) du département de mathématiques appliquées et de physique théorique (DAMTP) de Cambridge (Royaume-Uni) et du laboratoire de mécanique des fluides (LadHyX, École Polytechnique, France), nous avons tenté de redonner forme aux phénomènes géologiques dont l'écho nous était parvenu.

Pourtant, à la lumière de ces expériences, un consensus s'établit parmi les chercheurs : personne ne pouvait prouver avec certitude que la disparition de l'île de Nuuk ne dépendait pas d'une cause unique, mais de plusieurs en concordance. Pour faire l'objet d'un glissement de terrain, une surface rocheuse ou dans notre cas, l'île, avait dû être fragilisée en amont, probablement érodée par une interaction forte avec l'atmosphère ou l'océan. L'île se trouvant au centre d'importantes turbulences océaniques, la suite de l'enquête s'intéressa à l'influence des phénomènes océaniques sur les roches insulaires de Nuuk et aux liens potentiels entre l'évolution de l'île et l'impact des actions humaines sur la planète.



Echoes from the wandering continents,
(installation image, GV Art gallery, 2014)



Echos des continents à la dérive,
(vue de l'installation à GV Art Gallery, Londres, 2014)



Rock Fracture

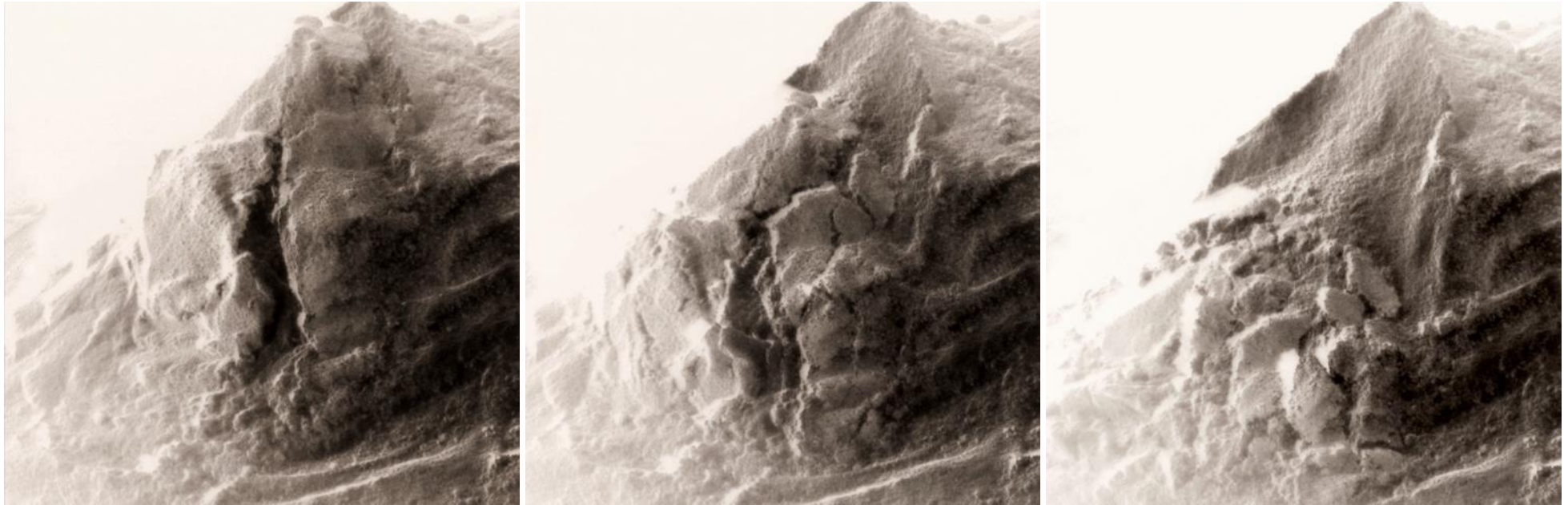
Released echoes from a geological chronicle
20 x 19 x 18 cm, Origin: Iceland

Fracture d'un morceau de basalte

Échos de l'histoire immémoriale de la naissance des continents
20 x 19 x 18 cm, Origine: Islande

Echogram Series I

Singular occurrence of a fall



Series I Singular Occurrence of a Fall

Frames from, HDV, colour, 2 minutes, looped

Produced during an art and science workshop at Cambridge University, UK during FDSE 2014

Séries I Occurrence singulière d'une chute

Extrait, HDV, couleur, 2 minutes, en boucle

Vidéo réalisée durant un projet art et science à l'École d'été FDSE 2014 à l'université de Cambridge, Royaume-Uni.



Singular Occurrence of a Fall is a series of video pieces that present a laboratory reconstruction of the various effects of an earthquake on the rock of an island. Filmed at 1000 to 2000 images per second, these videos were produced during a collective research project, at the DAMTP laboratory, in Cambridge. Over the course of 15 days, 24 PhD students and specialists in geophysics and fluid dynamics, took turn around a mountain of salt, on which they triggered several types of earthquakes .

View from the studio laboratory, Cambridge

Occurrence singulière d'une chute est une série de tableaux vidéo présentant la reconstitution en laboratoire des diverses conséquences d'un tremblement de terre sur la roche d'une île. Filmées entre 1 000 et 2 000 images par seconde, ces vidéos ont été réalisées à Cambridge, au cours d'un travail collectif, au laboratoire du DAMTP. En l'espace de 15 jours, 24 doctorants et spécialistes en géophysique et en dynamique des fluides se relayèrent autour d'une montagne de sel, sur laquelle furent déclenchés plusieurs types de séismes.

Vue de l'atelier-laboratoire, Cambridge

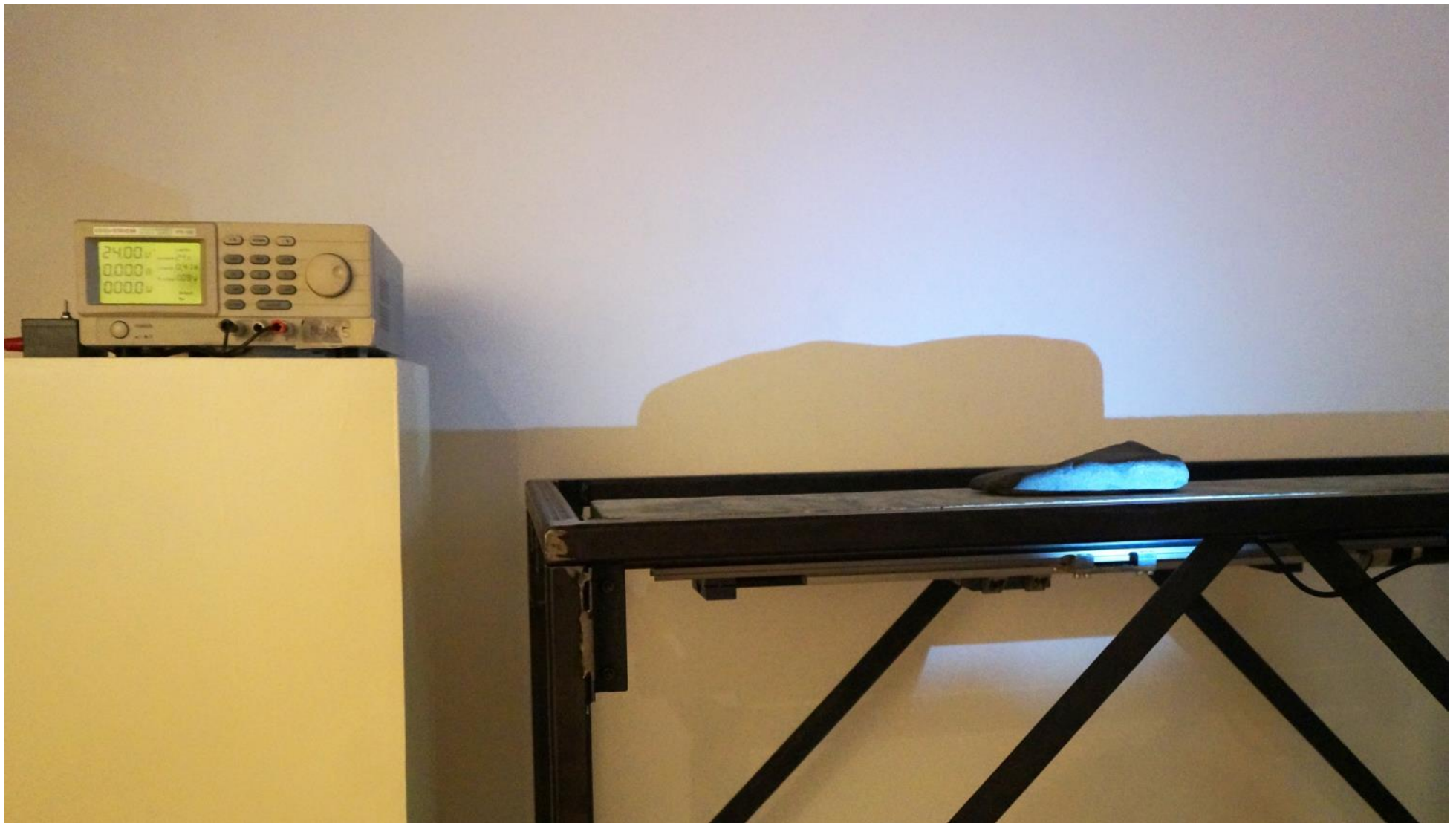
Echogram Series II

Earthquake machine or the possible
cause of land-falls



Series II Quakes from a wandering continent
 Frames from, HDV, colour, 6 minutes, looped
 (installation image, GV Art gallery, 2014)

Série II Les soubresauts d'un continent
 Extrait, HDV, couleur, 6 minutes, en boucle
 (vue de l'installation à GV Art Gallery, Londres, 2014)



Earthquake machine

Basalt rock on marble, stainless steel springs, iron and electric motor

(installation image, GV Art gallery, 2014)

La machine à tremblement de terre

Morceau de basalte sur marbre, ressorts en acier inoxydable, fer, moteur électrique

(vue de l'installation à GV Art Gallery, Londres, 2014)

Echogram Series III

When plates wander



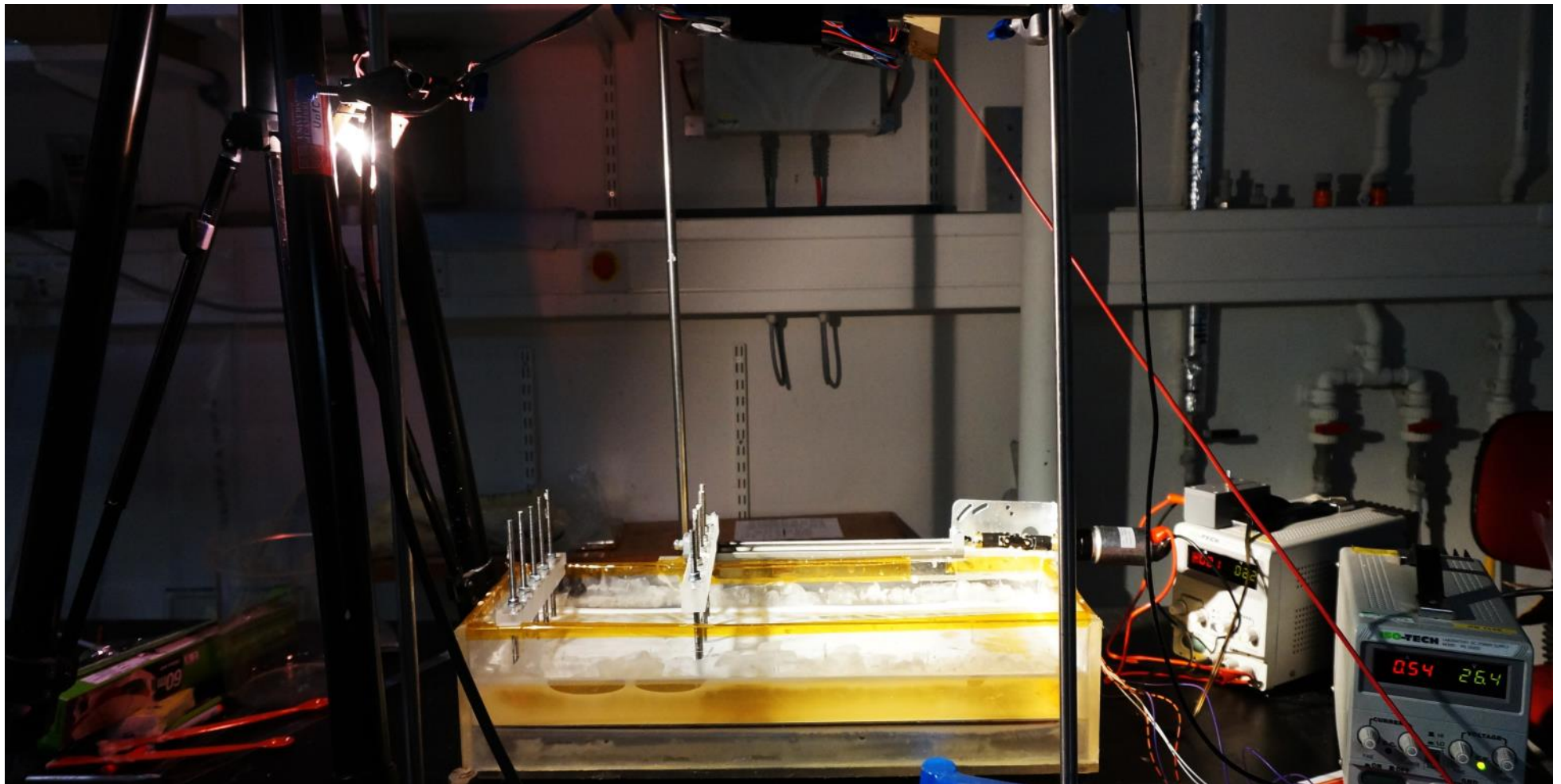
Series III When continents wander

Frames from, HDV, colour, 7 minutes, looped
Bees wax, controlled power supply

57

Série III Tandis que les continents dérivent

Extrait, HDV, couleur, 7 minutes, en boucle
Cire d'abeille, générateur de fonction



The wandering plates is a video installation composed of traces from a series of experiments carried out over the summer of 2014. The action consists of causing a tectonic fracture to appear at the surface of a wax planet, then reproducing its movement and simulating the accumulation of force that would normally take place over millennia and one day trigger an earthquake .

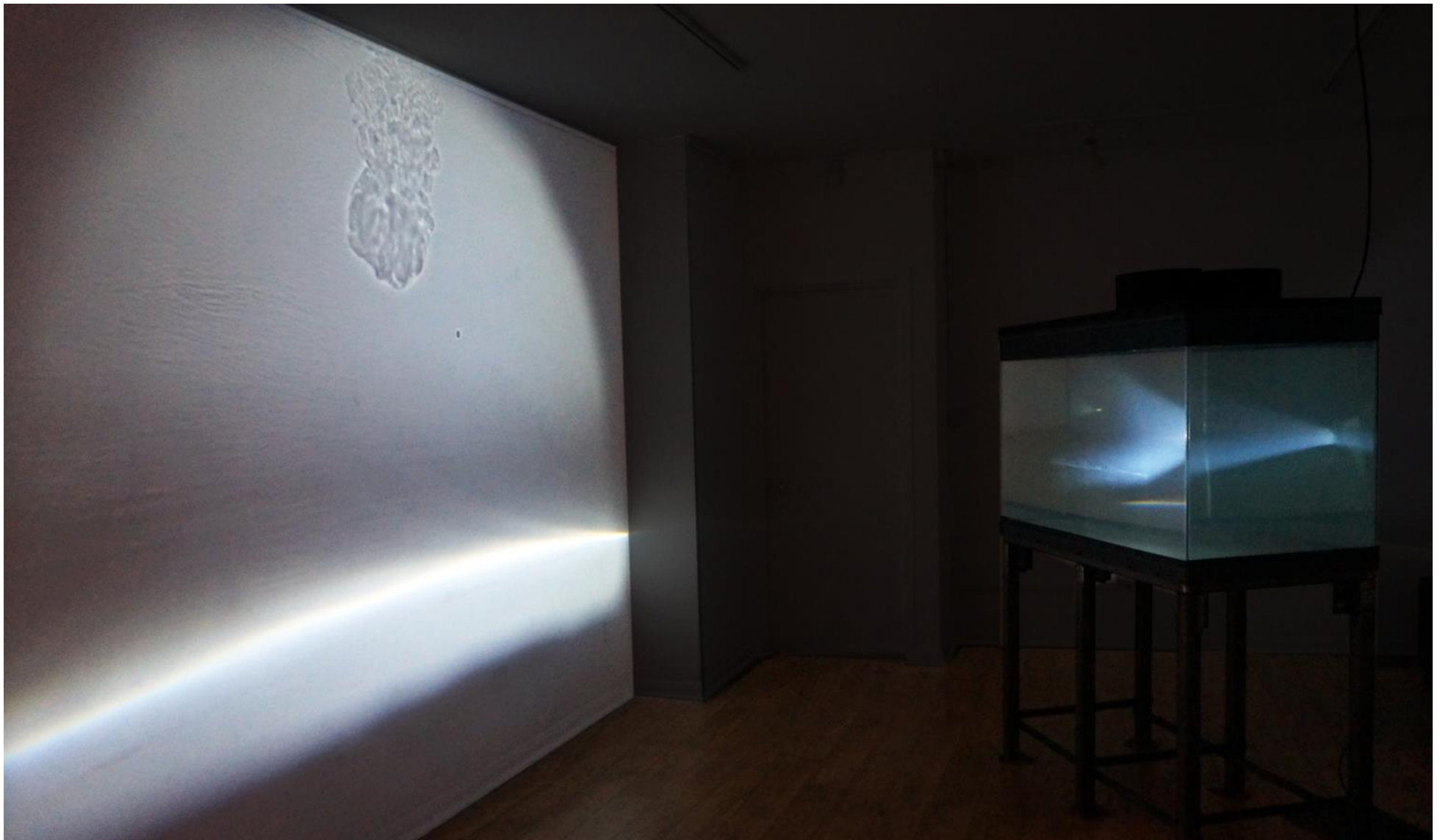
View from the studio laboratory, Cambridge

Tandis que les continents dérivent est une installation vidéo constituée des traces d'une série d'expériences réalisées au cours de l'été 2014. L'action consistait à faire apparaître une faille tectonique à la surface d'un paysage de cire, à reproduire son déplacement, à simuler l'accumulation de sa force sur des millénaires puis un jour, à provoquer un tremblement de terre.

Vue de l'atelier-laboratoire, Cambridge

Investigation II

Oceanic



MOC* Waterdive

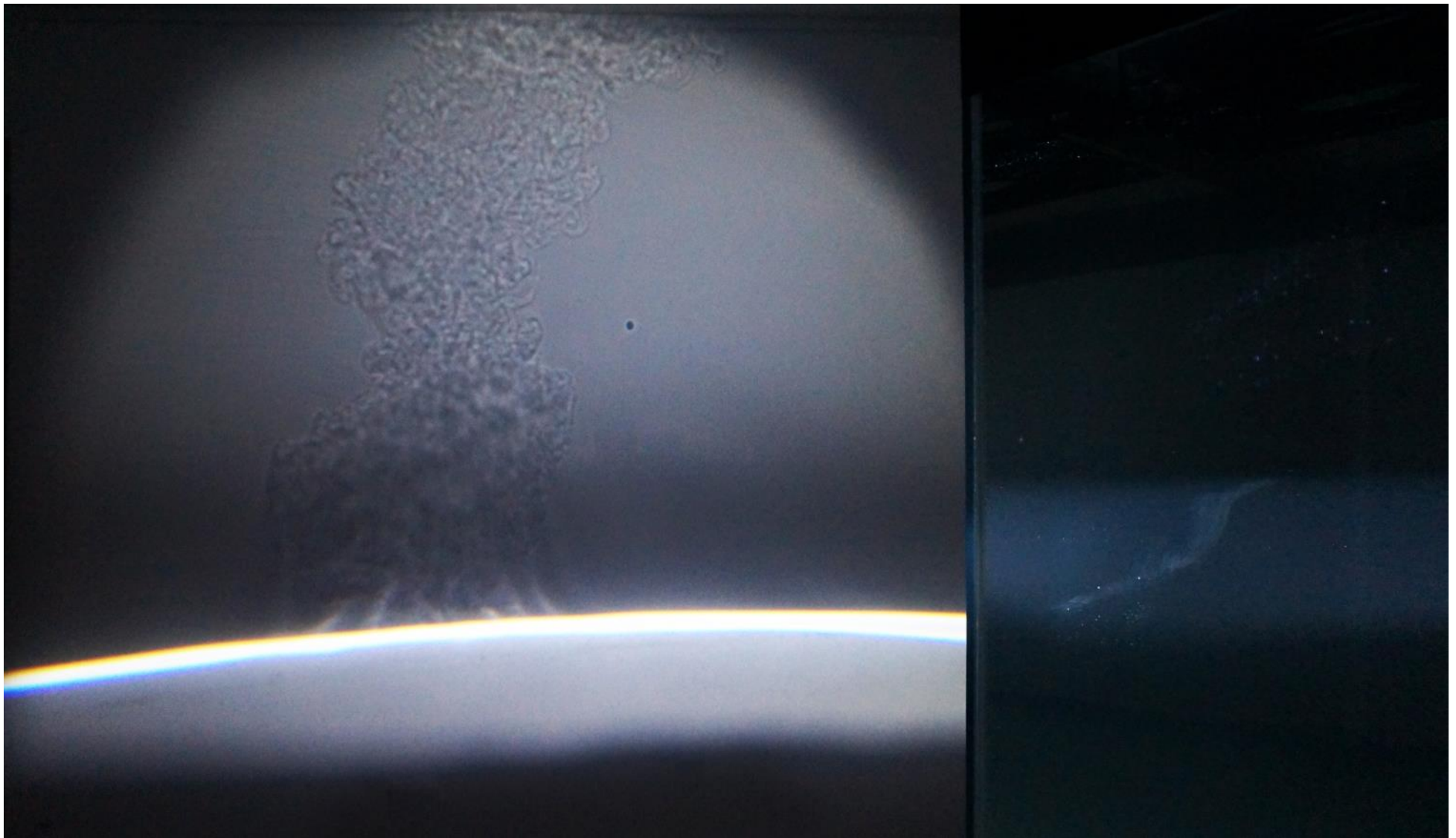
Water, LED light, speaker (installation image, GV Art gallery, 2014)

* MOC (Meridional overturning circulation)

La dernière vague de la MOC*

Eau, lumière, LED, haut-parleur (vue de l'installation, GV Art gallery, 2014)

* MOC Meridional overturning circulation



MOC* Waterdive

Water, LED light, speaker (installation image, GV Art gallery, 2014)

* MOC (Meridional overturning circulation)

La dernière vague de la MOC*

Eau, lumière, LED, haut-parleur (vue de l'installation, GV Art gallery, 2014)

* MOC Meridional overturning circulation

Memory of the Ocean

Despite its extreme climate, the immense stretches of water that surrounded Nuuk were devoid of ice. These masses of water shifted at the whim of the wind, which snaked the length of the Island's cliffs at a vertiginous speed. Sometimes, in the middle of these masses of water, strange whirlpools formed. Their centres, like bottomless vortices, led down into abysses. In one vertical movement, they connected the turbulent surface to the very depths of the ocean. These dense waters were thus dragged into the deep by their own weight.

Did this relentless turbulence eventually triumph over Nuuk Island and its crumbling rocks? Did the plunging cold water provoke storms and carry the Island away? Or had recent changes in the deep-ocean currents accelerated the rising of waters around the Island?

We conducted an investigation. We considered each hypothesis, each cause that may have caused Nuuk Island to disappear. In the course of this research, we captured a wave – the wave that had perhaps travelled down with the last cold and dense waters along Nuuk's shores.

Our investigation continued, with an appeal to the international community of oceanographers. Thanks to the contribution of 21 oceanographers from Southampton (UK), LOCEAN (Jussieu, FR), Alfred Wegener Institute (DE) and Woods Hole (USA) oceanographic laboratories, we collected water samples originating from different locations and depths of ocean currents and along the wave's projected route. Thirty three samples of water were collected.

The creation of this collection formed what we will call a memory of the ocean. It allowed us to retrace the wave's journey and to see how it became a part of the global oceanic circulation. Which had meant the wave, over the course of the last thousand years, had travelled through all the oceans of the planet.

Mémoire de l'océan

Malgré un climat extrême, d'immenses étendues d'eau dépourvues de glace encerclaient l'île de Nuuk. Ces masses d'eau se déplaçaient au gré des rafales de vent qui balayaient les pentes de l'île à une vitesse vertigineuse. Au milieu de ces masses d'eau se formaient parfois d'étranges tourbillons. Leur centre, tel un vortex sans fin, s'enfonçait dans les profondeurs, reliant la surface tumultueuse de l'océan aux abysses en un mouvement vertical. Ces eaux étaient entraînées toujours plus bas par leur propre poids.

Ces turbulences ont-elles eu raison de Nuuk et de sa roche friable ? La plongée de ces eaux froides vers les profondeurs a-t-elle provoqué des tempêtes et emporté l'île ? À moins que les courants océaniques profonds, affectés par les récents dérèglements, aient accéléré la montée des eaux autour de Nuuk ?

Une année durant, nous avons mené une enquête, étudiant chacune des hypothèses et des causes ayant pu entraîner la disparition de Nuuk. Au cours de ces recherches, nous avons capturé une vague, qui avait peut-être accompagné la dernière plongée des eaux denses et froides autour de Nuuk.

Notre recherche s'est poursuivie par un appel à la communauté internationale d'océanographie. Grâce à la contribution de vingt-et-un océanographes des laboratoires de Southampton (Royaume-Uni), LOCEAN (France), Alfred Wegener (Allemagne) et Woods Hole (États-Unis), nous avons pu collecter des échantillons d'eau prélevés à différentes profondeurs des circulations océaniques, suivant l'itinéraire plausible de cette vague. Trente-trois échantillons réels ont ainsi été collectés.

Cette collection d'échantillons d'eau constitue une sorte de mémoire de l'océan. Elle a permis de retracer le périple de cette vague et de prouver qu'elle était

In the vicinity of Nuuk, its water had cooled down while its salinity had increased. Along the edges of Nuuk's frozen coasts, the wave's waters became so dense that they left the ocean surface, plunging downwards in a titanic underwater cascade. Two thousand metres down, they continued their journey in the fathoms. From here, they crossed the Atlantic from North to South, and reached the Antarctic. From there, they escaped circumpolar currents, to find themselves in the Pacific Ocean, where, slowly, they rose up to the surface of the Indian Ocean. Under an eastern sky, they moved westwards, driving against the Cape of Good Hope, rising again in the Gulf of Mexico, and cooling down in the twistings of the Gulf Stream before finally preparing to dive once again beneath the frozen rocks of Nuuk.

However, in the meantime, the Island of Nuuk had disappeared.

This collection of samples demonstrate that the waters of this wave found themselves influenced by movements which impacted upon their route on a planetary scale: in the moment of a journey from one ocean to another, or jostled from whirlpool into whirlpool. The characteristics of these waters have been modified by significant changes in temperature and salinity. Denser and colder, the waters dragged the wave down into the depths. During their migrations towards the south, slowly leaving the depths, the waters from the wave became warmer, finding themselves several centuries later on a northbound route. They had created a loop: a vast oceanic movement known as thermohaline circulation ('thermo' for temperature and 'haline' for salinity), or MOC: Meridional Overturning Circulation.

This oceanic circulation takes around a thousand years to complete its full circuit. It is responsible for the transportation of heat, and therefore for the climatic equilibrium of the planet. However, at a time when the melting of the Arctic ice field and the resulting inflow of fresh water are altering the density of the surface water, the hypothesis that thermohaline circulation is slowing down or even stopping is being seriously examined by the scientific community¹.

The question to be answered then is whether the disappearance of Nuuk Island

solidaire d'un mouvement océanique global qui lui a fait traverser tous les océans du globe au cours du dernier millénaire. Aux environs de Nuuk, les eaux s'étaient refroidies et leur salinité avait augmenté. Près des côtes gelées de l'île, leur densité était devenue telle qu'elles avaient quitté la surface pour plonger et se transformer en une gigantesque cascade sous-marine. Deux mille mètres plus bas, elles avaient commencé leur traversée des abysses, du nord au sud de l'Atlantique. Atteignant l'Antarctique, elles s'étaient engouffrées dans l'océan Pacifique puis lentement, elles étaient remontées pour se réchauffer à la surface de l'océan Indien. Sous le soleil oriental, elles s'étaient lancées à l'assaut du cap de Bonne-Espérance pour remonter par le golfe du Mexique et, refroidies au passage dans les méandres du Gulf Stream, elles s'apprêtaient, en fin de course, à replonger sous la roche glacée de Nuuk. Or, entre temps, l'île avait disparu.

Cette série d'échantillons montre en effet que les eaux de la dernière vague de la MOC se sont retrouvées sous l'emprise de mouvements influençant leur trajectoire à l'échelle planétaire : lors du passage d'un océan à un autre, ou chahutées de tourbillons en tourbillons. Les caractéristiques de ces eaux ont ainsi été modifiées et présentent des écarts notables de température et de salinité. Devenues plus denses et plus froides, ces eaux ont entraîné la vague vers les profondeurs. Puis, lors de leur migration vers le sud en remontant des abysses, les eaux de la vague se sont réchauffées pour finalement dériver, quelques siècles plus tard, vers le nord, décrivant ainsi une boucle : ce vaste mouvement océanique est connu sous le nom de circulation thermohaline planétaire («thermo» pour température et «haline» pour salinité) ou circulation méridienne de retournement, ou encore « grand tapis roulant océanique ».

Cette circulation océanique, dont la durée s'étend sur une période d'environ dix siècles, participe à l'équilibre climatique de la planète. À l'heure où la fonte de la banquise arctique et son apport en eau douce modifient la densité des eaux de surface, l'hypothèse d'un ralentissement ou de l'arrêt de la circulation thermohaline est aujourd'hui sérieusement étudiée¹.

La question se pose alors de savoir si la disparition de l'île est liée aux

is linked to climate modifications affecting the planet – changes directly or indirectly caused by human activities? Or, did Nuuk's disappearance in fact disrupt the course and characteristics of deep-ocean currents to such an extent that it finally destabilised the planet's climatic equilibrium?

¹ H.L Bryden, *Variability in the deep circulation of the North Atlantic Ocean*, Talk 30 March 2012, Amphithéâtre Marguerite de Navarre - Marcelin Berthelot, Collège de France, Paris, France

modifications du climat qui affectent la planète, elles-mêmes directement ou indirectement liées à l'activité humaine. À moins que la disparition de l'île n'ait bouleversé le parcours et les propriétés des courants profonds, au point de déstabiliser l'équilibre climatique global.

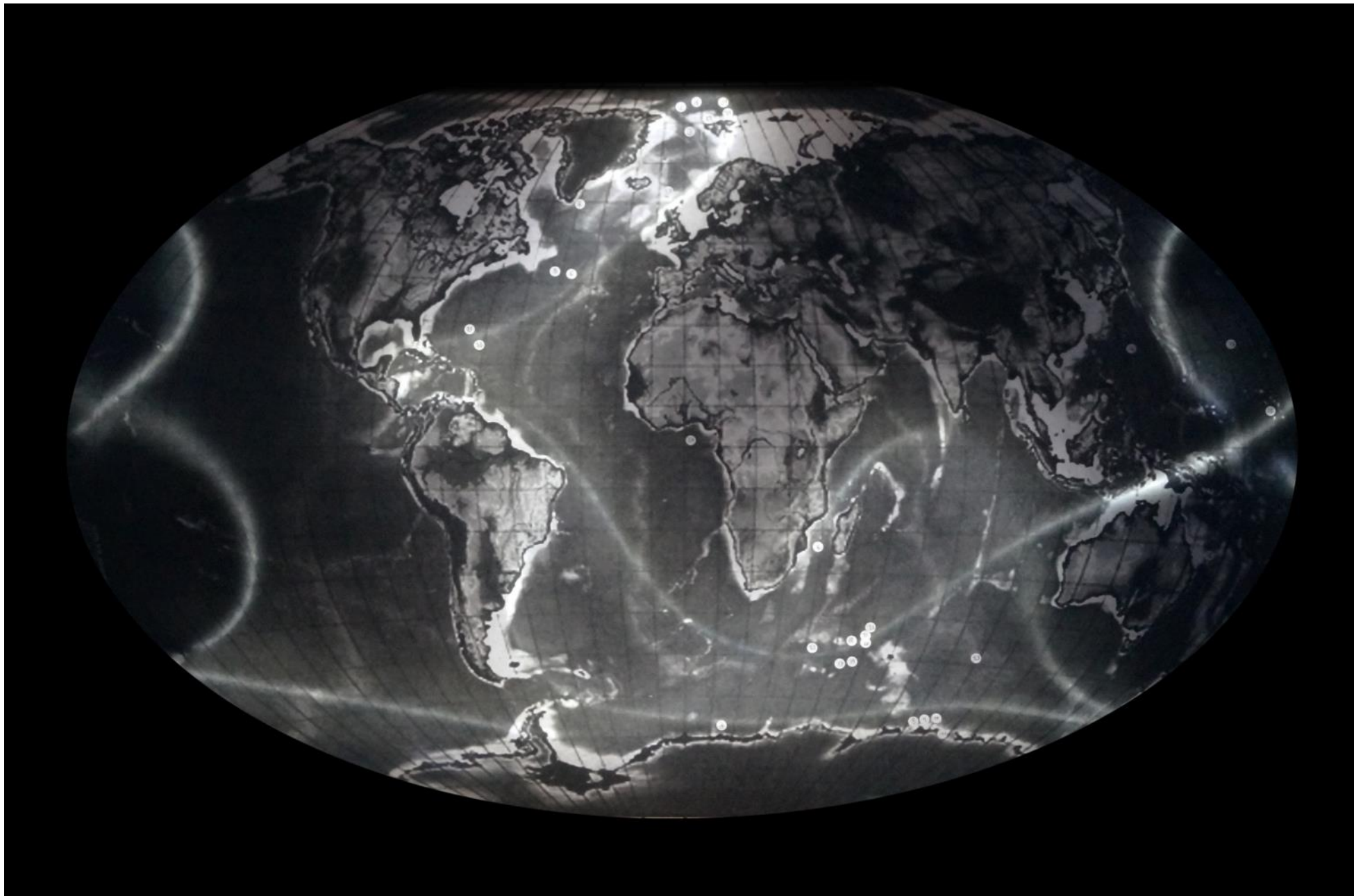
¹ H.L Bryden, *Variability in the deep circulation of the North Atlantic Ocean*, intervention du 30 mars 2012, amphithéâtre Marguerite de Navarre - Marcelin Berthelot, Collège de France, Paris, France.

Global oceanic circulation

MOC waterdive's projected route.
Back light photography, 70 x 105 cm

Circulation océanique globale

Itinéraire plausible de la dernière vague de la MOC.
Photographie sur caisson lumineux, 70 x 105 cm



Memory of the Ocean

23 water phials from the Global Oceanic Circulation (installation image, GV Art gallery, 2014).

Mémoire de l'Océan

23 ampoules d'eau provenant de la circulation océanique globale, (Vue de l'installation à GV Art Gallery, Londres)

Memory of the Oceanographer

11 water samples from the Global Oceanic Circulation (installation image, GV Art gallery, 2014).

Mémoire de l'océanographe

11 échantillons d'eau provenant de la circulation océanique globale, (Vue de l'installation à GV Art Gallery, Londres)



Each sample is presented in a transparent glass phial, created in collaboration with the glass blower Jean-Michel Wierniezy. Their shape was inspired by the phials of *Standard Water*, dating from the 1970s, discovered while visiting the archives of Jussieu oceanographic laboratory.

This collection was made possible thanks to the contribution of 21 oceanographers from Southampton (UK), LOCEAN (Jussieu, FR), Alfred Wegener Institute (DE) and Woods Hole (USA) Oceanographic Laboratories who shared these water samples they captured during the past years along the global oceanic circulation.

The 34 phials are exhibited vertically, in darkness. The only source of light is a LED underneath each phial, emphasising the presence of the water.

The older samples collected from 1985 to 1999, are presented in their original bottles, which were donated to the project by the oceanographer Harry L. Bryden.

Chaque échantillon est présenté dans une ampoule de verre transparente réalisée par le souffleur de verre Jean-Michel Wierniezy. Leur forme est inspirée par les ampoules *d'eau standard*, datant des années 1970 et découverte au cours de la visite de la réserve du laboratoire d'océanographie de LOCEAN, à Jussieu (France).

Cette collection a été réunie grâce à la contribution de 21 océanographes des laboratoires de Southampton (Royaume-Uni), LOCEAN (Jussieu, France), Alfred Wegener Institute (Allemagne) et Woods Hole (États-Unis).

Les 34 ampoules sont exposées à la verticale, dans l'obscurité, éclairées en dessous par une simple diode DEL fine soulignant la présence de l'eau.

Les échantillons les plus anciens, prélevés des océans entre 1985 et 1999 est une donation de l'océanographe Harry L. Bryden, sont présentés dans leurs bouteilles d'origine, encore fermées avec les moyens du bord.

The Fathoms' phials

Jean-Marc Chomaz

Under veins of silent dust
Traces of waters' lies
Once alive to fathom the sky
Now they draw the human eye
Down lines in science time
Flaws of thought and trial
Stood still the dowsing dives
Captured in the seeker's phials
A shimmering deep
The tears of one



A worldwide map of tidal dissipation

Caroline Muller & Adrien Lefauve

As much as one terawatt of tidal energy could be dissipated in the deep ocean, but where and when this energy dissipates remains unclear. The main mechanism believed to be responsible for the dissipation of tidal energy is the breaking of small-scale internal waves called internal tides. Internal waves exist because the ocean is stably stratified with denser water masses: cold and salty in the deep and warmer water at the surface. An internal gravity wave induces vertical oscillation of fluid particles, since gravity tends to bring back displaced particles at their original position where they have the same density as the surrounding water. Then, internal tides are generated at the seafloor, where tidal currents interact with the seafloor bathymetry imposing particles to be displaced vertically. Those waves carry energy as they propagate away from the seafloor, and dissipate it when they become unstable and break (fig.1).

The energy dissipation accompanying wave-breaking, induces diapycnal mixing – that is mixing across density surfaces. Consistently, high levels of diapycnal mixing have been observed over rough topography in particular along mid-ocean ridges, where internal tides are present. The spatial distribution of diapycnal mixing, both horizontal and vertical, has been shown to play an important role in the ocean circulation, including the strength of the Antarctic Circumpolar Current and the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) part of the planetary thermohaline circulation.

The goal of ongoing research worldwide is to derive a global map of the tidal energy dissipated through wave-breaking. In our model, the waves are generated and propagate upwards from the topography according to the wave linear theory. Wave-breaking and the associated energy dissipation are estimated from a simple, physically based model of wave breaking through overturning when heavier fluid is displaced above lighter fluid.

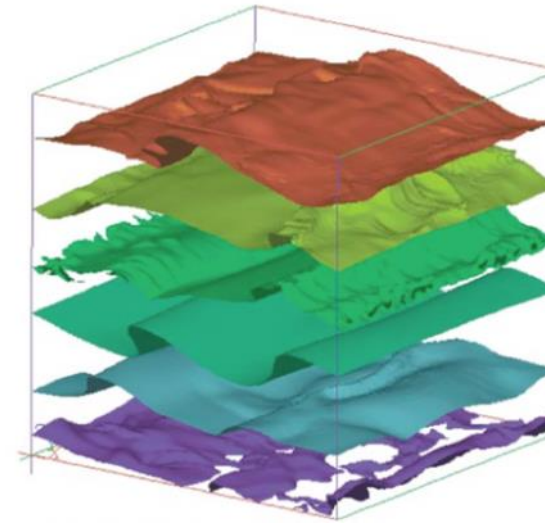


Figure 1: Illustration of an internal gravity wave breaking. Shown are six isopycnals (surfaces of constant density) from a numerical simulation of an internal gravity wave (from Koudella 1999).

Figure 1: Koudella CR. 1999. Ondes internes de gravité en fluide stratifié: instabilités, turbulence et vorticit  potentielle. PhD thesis. Ecole Normale Supérieure, Lyon, France

Large-scale topographic features, such as mid-ocean ridges, radiate large-scale waves which are believed to propagate away from their generation site without breaking. On the other hand, the local tidal dissipation that we are interested in, is dominated by small-scale waves generated by small-scale topography, with horizontal extent 10 km or smaller. At those small scales, the seafloor topography is not known deterministically because the oceans are opaque to

nearly all the electromagnetic wave. Only statistical features are known, such as sediment thickness, height covariance or anisotropic roughness from geological observations of ridge spreading rate. To determine the ocean mixing, Synthetic independent random topographic samples constrained by observed statistical features are randomly generated, and results are averaged over many samples.

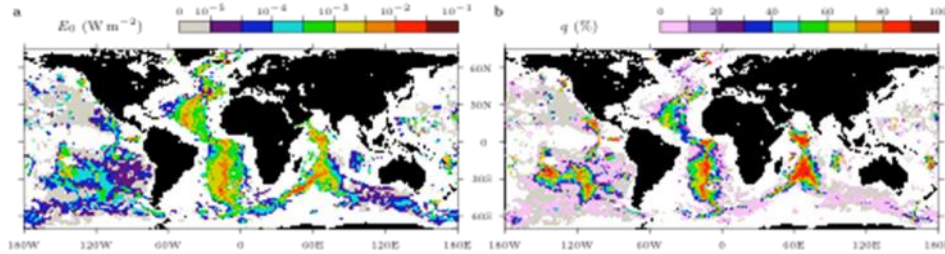


Figure 2: Horizontal distribution of internal tide energy and energy dissipation. (a) Energy E_0 carried by the waves generated at the bottom by small scale topography. Grey regions generate less than 10^{-5} W m^{-2} and will therefore not be taken into account in the dissipation calculation. White regions have no small-scale topography data. (b) Fraction q of the wave energy E_0 dissipated through wave breaking as the waves propagate from the bottom to the ocean surface.

Adrien Lefauve and Caroline Muller (LadHyX, CNRS, Ecole Polytechnique and Angélique Melet CNES/LEGOS, Toulouse, France)

Interestingly, the distribution of tidal dissipation that we obtain is far from homogeneous, and far from random (fig. 2). A few regions exhibit very high dissipation, as large as 90%, and those hotspots are mainly located in the southern hemisphere. The Mid-Atlantic and Central Indian Ridges as well as the Southern Pacific are among those hotspots. Given the central role of the Southern Ocean in mixing deep-water masses, the southern location of those hotspots could have implications for the global ocean deep waters. Away from these regions, dissipation decays to lower values of 20-50%, consistent with regional studies suggesting higher dissipation near rough topography. The spatial inhomogeneity of tidal mixing that this work suggests, could imply a radically different ocean circulation than that obtained with uniform mixing.

Does the world leave the attractor?

The extreme demographic and industrial proliferation of the human race is destabilising the delicate balance of the spheres (bio, atmo, cryo, aqua, litho and eventually geo - spheres). The impact is global, yet the difficulty of predicting the future comes from the fact, that these systems will respond as pairs, yet each particular dynamic will involve multiple time scales. The leading response times are known – generally speaking, a week for the atmosphere, a year for the ocean surface, a fraction of a millennium for the deep ocean, million years for the cryosphere, hundreds of millions of years for continental drift and mountain formation and four billion years for the first appearance of life. However, all these phenomena, even considered in isolation where possible, are complex and bring multiple other time scales into consideration.

Thus, tectonic plate movement is produced through very frequent tiny jolts that we call earthquakes. They entail a sudden release, on the scale of a fraction of a second, of a rock pressurised and warped by slow yet resolute movement of two plates with respect to one another. Laboratory analysis – which uses the pressure of a thousand bars (1000 atmospheric pressure) and an 80° temperature, in order to reproduce the conditions that prevail three kilometres below the earth's surface along the rifts – shows that this phenomenon of tectonic wandering involves the rupture of crystalline micro-grains, which occur in fractions of milliseconds. A sequence of cracks therefore precedes a shift on a grander scale. The vibrations emitted are on the level of detectable ultrasounds only in a laboratory, through putting in high frequency microphones, which are attached to the sample. We can only perceive this 'voice', the precursor to a shift on a greater level, once the microphone recordings have been reprocessed and slowed down. In this way, the release of microscopic grains can provoke the movement of an entire plate from tens of metres to hundreds of metres, liberating

Le monde quitte-t-il la sphère de l'attracteur ?

L'explosion démographique et industrielle de l'humanité place l'ensemble des sphères (biosphère, atmosphère, cryosphère, hydrosphère, lithosphère et éventuellement géosphère) hors équilibre. L'impact est général, or il est difficile de prévoir l'avenir, du fait que ces systèmes vont réagir de façon couplée mais avec leur propre dynamique impliquant de multiples échelles de temps. Les principaux délais de réponse sont connus : généralement de l'ordre de la semaine pour l'atmosphère, de l'année pour l'océan de surface, d'une fraction de millénaire pour l'océan profond, de la dizaine de milliers d'années pour la cryosphère, de millions d'années pour la dérive des continents et la formation de montagnes, de quatre milliards d'années pour l'apparition de vie. Mais tous ces phénomènes, même pris isolément lorsque cela est possible, sont complexes et font intervenir de multiples échelles temporelles.

Ainsi, la tectonique des plaques se manifeste par de minuscules soubresauts très fréquents, que nous appelons tremblements de terre. Ils résultent du lâcher soudain, sur des échelles de l'ordre de la fraction de seconde, d'une roche mise sous contrainte et déformée par le mouvement, très lent mais obstiné, de deux plaques entre elles. L'analyse en laboratoire¹ qui reproduit une pression de mille bars (soit 1 000 fois la pression atmosphérique) et une température de 80° pour simuler les conditions qui règnent à trois kilomètres sous la surface terrestre le long des failles, montre que ce phénomène de glissement met en jeu des plastifications de micrograins cristallins intervenant sur des fractions de millisecondes. Un tremblement de terre est alors précédé d'une cascade de craquements annonciateurs d'un glissement à plus grande échelle. Les vibrations émises font partie de la gamme des ultrasons détectables seulement en laboratoire, en plaçant des microphones haute fréquence sur les échantillons.

in an instant the energy produced through continental drift, which has accumulated throughout hundreds of years. The movement that results from it requires hundreds of millions of years in order to shape continents and mountain ranges.

These movements were used to make no cases of human restlessness, yet still the present melting of kilometres thick ice caps in Greenland and Antarctica has started to release enormous pressure and will continue to do so over a time period of hundreds of years – remarkably short in relation to the usual time scales of the lithosphere. Northern Canada and Northern Eurasia have not, even now, completed their post-glacier rebound following the end of the last Ice Age, 11,000 years ago. The current accelerated ice cap melt will revive the phenomenon of the rise of land masses because of the imbalance of pressure between the surface and the upper mantle, through a process known as isostasy. This will, momentarily, cause a change in earthquake distribution². Longer term, it may also change the deep convection currents in the mantle, with the thickness of the crust at the poles diminishing by ten or so per cent if all the ice upon them melts. A change on the scale of millions of years, to the pattern of continental drift and to the distribution of earth hot points is therefore possible. However, for all that, there will be no change to the dynamic of the lithosphere, in the sense that the statistics of the drift-phenomenon will be the same – only the realisation, or possible future, will be altered. That is to say, these impacts will be significant but not necessarily signifying, since they will affect the detail of the movements, due to their sensitivity – which is in turn associated to the unstable and chaotic dynamic of the lithosphere – but not the attractor onto which this dynamic is inscribed. The plates will continue to shift, pushed by the swell of magma along the oceanic ridges.

The oceanic ridges are also a distinctive region for the dynamic of the ocean owing to the specific morphology of their fracturing on multiple scales: a fractal surface of rifts and valleys produced by colossal drifting forces, linked to convection currents in the deep mantle. These are the most complex yet mysterious reliefs on the planet, since most electromagnetic waves (radio, radar,

Cette « voix » annonçant le grand lâcher prise est rendue perceptible en repassant au ralenti les enregistrements des micros. Ainsi la fracturation de grains microscopiques peut-elle engendrer le glissement de toute une plaque sur des dizaines de mètres à des centaines de kilomètres, libérant en quelques secondes l'énergie de la dérive des continents accumulée pendant des centaines d'années. Le mouvement qui en résulte demande des centaines de millions d'années pour former les montagnes.

Ces mouvements faisaient jusqu'à présent peu de cas des agitations humaines, cependant la fonte actuelle des calottes (inlandsis) du Groenland et de l'Antarctique, chacune épaisse de plusieurs kilomètres, relâchera une pression énorme sur des siècles à venir, temps remarquablement court par rapport aux échelles habituelles de la lithosphère. Le nord du Canada comme le nord de l'Eurasie n'ont pourtant toujours pas achevé leur rebond postglaciaire consécutif à la fin de la dernière glaciation, il y a onze mille ans. La fonte accélérée en cours va relancer le phénomène de remontée des terres du fait du déséquilibre isostatique entre la surface et le manteau supérieur (l'asthénosphère).

Ceci modifiera momentanément la distribution des tremblements de terre². À plus longue échéance, cela peut aussi changer la convection mantellique profonde, l'épaisseur de la croûte diminuant au pôle d'environ dix pour cent dans l'éventualité d'une fonte totale des glaces. Une modification de la dérive des continents et de la distribution des points chauds sur la planète est donc probable à l'échelle de millions d'années, sans pour autant modifier la dynamique de la lithosphère ou du manteau, dans le sens où la statistique du phénomène de dérive sera la même, seule changeant la réalisation, l'avenir possible. Ces impacts seront donc significatifs mais non signifiants car ils affecteront le détail des mouvements, de par leur sensibilité liée à la dynamique instable et chaotique de la lithosphère, mais non l'attracteur sur lequel s'inscrit cette dynamique : les plaques continueront à bouger, poussées par la montée du magma le long des dorsales océaniques.

Les dorsales océaniques sont aussi une région particulière dans la dynamique de

visible, UV or X rays) cannot penetrate the oceans. Thus even the position and depth of the great rifts remain indeterminate by lack of topographic measurements. Only their statistical distribution has been recently predicted from rift formation and sediment transport models³. Yet the thousands of kilometres along the edges of the rifts constitute the site where the movement of planetary tides is converted into small-scale turbulence through interaction with the rugged seabed, and permit the mixing and rise of deep-ocean waters⁴. To determine this mixing, current researches compute the series of internal tidal flows induced not by the real seabed but by a set of realistic ridges randomly generate, thus creating imaginary planets matching our own, which have the same distribution of undersea mounts and valleys but different patterns. The mixing predicted for each of these virtual reality is then averaged out in order to obtain a statistical value of the rate of mixing in the ocean, according to latitude and longitude, but also to the depth. Deep water originates primarily close to the poles, as the cold, salt water descends, displaced by the formation of the ice flow and the cooling of the warm, salt water of the Gulf Stream. The distribution of the mixing coefficient all over the oceans of the planet then determines the vertical flux by which the deep water journeys back to the surface.

The deep-ocean circulation, mentioned above – for which the characteristic time scale is a millennium – is a result of the equilibrium between the two effects of localised descent and more diffuse rise. This thermohaline circulation regulates the climate and has evolved over the course of millennia. Currently, it forms a great main loop, which runs through all the oceans round the planet and links the two poles. It has already been divided in the past into separate loops. The effect of climate change on its shape and intensity and in return the feedback on the global warming are especially difficult to predict, as our knowledge of the processes that control both the descent and rise of deep-ocean waters is still preliminary. But recent observations from field campaigns with sea borne measurement suggest that this great deep current is slowing down, eventually coming to a halt⁵.

In the way that bubbles of air trapped in ice cores drilled from the polar ice cap

l'océan, du fait de leur morphologie spécifique, constituée de craquelures à multi-échelles : un ensemble fractal de failles et d'effondrements produits par les forces colossales de poussée liées à la convection mantellique profonde. Ce sont les reliefs les plus méconnus et les plus complexes de la planète, de par l'opacité des océans à la plupart des ondes électromagnétiques (ondes visibles, radio, radar, UV et rayons X). Ainsi, faute de mesures topographiques, la position des grandes failles et leur profondeur restent elles-mêmes indéterminées. Seule leur distribution statistique vient d'être évaluée à partir de modélisations de la formation des failles et du transport de sédiments³. Or, c'est sur les milliers de kilomètres qui bordent ces failles que le mouvement de marées planétaires se change en turbulences à petite échelle par interaction avec ce fond rugueux, et permet le mélange et la remontée des eaux abyssales⁴. Pour déterminer la teneur de ce mélange, les recherches actuelles s'appuient sur des simulations informatiques du flux des marées, induit non par un fond marin réel mais par un ensemble de crêtes rocheuses réalistes générées de façon aléatoire (dressant de nouvelles cartes bathymétriques près des dorsales) et créant ainsi des planètes imaginaires jumelles de la nôtre qui auraient le même nombre de monts et de failles sous-marins, mais disposés différemment. Le mélange prédit pour chacune de ces réalisations virtuelles est alors moyenné afin d'obtenir une valeur statistique du taux de mélange dans l'océan, en fonction de la latitude, de la longitude mais aussi de la profondeur, l'importance de ce coefficient déterminant le flux vertical des eaux profondes lors de leur remontée en surface. Ces eaux profondes proviennent des régions polaires, dans lesquelles les eaux froides salées, produites par la formation de la banquise et le refroidissement des eaux chaudes salées du Gulf Stream, ont amorcé leur descente.

La circulation océanique profonde mentionnée plus haut et dont le temps caractéristique est le millénaire, vient de l'équilibre de ces deux effets de plongée localisée et de remontée diffuse. Cette circulation thermohaline régule le climat et a évolué au cours des millénaires. Actuellement, elle forme une seule grande boucle qui parcourt les océans de la planète et relie les deux pôles. Elle s'est déjà fractionnée par le passé en des boucles séparées, et son évolution

are traces of past atmospheres⁶, the oxygen dissolved in deep water informs us of their age, and about the conditions that prevailed at the time of their descent⁷. This shows that the time period of this current, a memory of the past climate, is in the order of a millennium.

This oxygen from the deep-ocean waters also allows life to persist in the abysses and impacts upon the two other spheres most affected by human activity – the atmosphere and the biosphere.

The biosphere facilitates life out of the water through photosynthesis, which produces oxygen from carbon dioxide (CO₂). Even today, more than a half of the CO₂ that we emit is converted by phytoplankton and phyto bacteria still present in the oceans, but which are themselves disturbed and put out of equilibrium by anthropogenic changes (raise of temperature and acidification or more exactly lowering of the PH of the surface water). The biosphere contributes to the planetary dynamic within the time scale of a billion years, having modified and maintained the composition of the air – the oxygen content in particular. Yet the life cycle of each of its constituent parts (from a few days to a few years), and the collective evolution of the marine biosphere in particular can be very rapid (from a few weeks to a few months) – as in the ‘green tides’ – and especially hard to establish a model owing to their intrinsic dynamic and the interaction with human activity, in the ocean as well as on land.

The atmosphere is an extremely thin layer of gas; seen from space the clouds appear but like a skin on the surface of a painted sphere. Humans only realised the impermanence of air though the invention of the vacuum and of atmospheric pressure by Blaise Pascal in particular, with his observation of the variation in Torricelli’s mercury column, between the plain and the summit of Puy de Dôme. This idea passed into the collective imagination through experiments, driven by the curiosity aroused by the invention of the vacuum pump, as depicted in Joseph Wright of Derby’s famous painting. This painting represents an experiment on the vacuum, inspired by the work of Robert Boyle in 1768. The idea of the impermanence of the fraction of oxygen, which forms part of the air, is not yet in

sous l’impact du changement climatique et en retour, son action sur le réchauffement est particulièrement difficile à prédire, tant notre connaissance des processus qui contrôlent aussi bien la plongée que la remontée des eaux abyssales est embryonnaire. Mais les observations récentes de campagne en mer suggèrent un ralentissement, voire un arrêt de ce grand courant profond⁵.

Un peu comme les bulles d’airs emprisonnées dans la glace des carottes forées dans la calotte polaire⁶ sont la mémoire des atmosphères passées, l’oxygène dissous dans l’eau profonde renseigne sur les conditions qui régnaient lors de leurs plongées ainsi que sur leur âge⁷, montrant que le temps de cette circulation, mémoire du climat passé, est de l’ordre du millénaire.

Cet oxygène des eaux abyssales permet aussi la vie des profondeurs et affecte les deux autres sphères les plus fortement impactées par l’activité humaine, l’atmosphère et la biosphère.

La biosphère a permis la vie hors de l’eau grâce à la photosynthèse qui produit l’oxygène à partir du dioxyde de carbone (CO₂). Aujourd’hui encore, plus de la moitié du CO₂ que nous émettons est transformé par les phytoplanctons et phyto bactéries toujours présents dans les océans mais qui sont eux aussi bousculés, placés hors équilibre par les modifications d’origine anthropique (réchauffement et acidification ou plus exactement, abaissement du pH de l’eau de surface). La biosphère, en modifiant et en maintenant la composition de l’air, et en particulier sa teneur en oxygène, contribue à la dynamique de notre planète sur une échelle d’un milliard d’années. Or, le cycle de vie de chacun de ses constituants (de quelques jours à quelques années) et l’évolution collective de la biosphère marine, en particulier, peuvent être très brefs (de quelques semaines à quelques mois), comme dans le cas des marées d’algues vertes (*green tides*), et particulièrement difficiles à modéliser de par leur dynamique intrinsèque et leur interaction avec l’activité humaine, aussi bien dans l’océan que sur terre.

L’atmosphère est une couche de gaz extrêmement fine vue de l’espace, où les nuages apparaissent comme une peau tendue à la surface d’une sphère peinte. L’homme n’a compris la non-pérennité de l’air que depuis l’invention du vide et

the public consciousness since, paradoxically, oxygen is not yet thought of as an unsustainable resource and no country has yet proposed a tax on the consumption of oxygen. Only certain multinational corporations like Air Liquid, who commercialise this public property in compressed or liquefied form, raise the question of a sustainable economy and the exhaustion of regeneration capacity (carried out for the most part by phytoplankton), which could result in the development of certain new energy production processes.

The atmosphere plays an important role in the transfer of energy from the equator to the poles; it guarantees its continuation working in tandem with the ocean surface currents. For the most part this transfer entails convection currents of humid air and the evaporation and condensation of water. This convection current is vertical on the equator and inclines toward the west in the lower layers, since the air, which becomes concentrated on the equator, turns less rapidly than the rest of the planet. Meanwhile, in the higher levels, the air that rises towards the poles, which turns more rapidly than the planet surface, turns towards the east. The convection current creates trade winds. Along the mid-latitudes, it tilts vertically and diffuses horizontally (baroclinic instability). These movements generate clouds through condensation; clouds, which owing to their density and distribution in size of droplets, allow the sun's rays and infrared radiation to pass through from the earth to space (the greenhouse effect). But vapour can only condense on particles (traditionally, dust particles taken up by the wind, which gives a reddish colour to drops of evaporated rain, grains of salt released from the crests of waves whipped up by storms and organic fragments, often from the ocean) – except that, through their various activities, humans release particles into the atmosphere which multiply the nuclei of condensation (nuclei of anthropic origin) and alter the physical characteristics of the clouds.

The trade winds, through friction with the surface water, create great currents such as the Gulf Stream or the black water stream Kuroshio. The distribution of the clouds modifies the thermal balance of each region of the planet and so influences the atmosphere's movements. An alteration in the winds induces a change in the pattern of the currents on the surface of the oceans and seas

de la pression atmosphérique par Blaise Pascal et avec l'observation des variations de la colonne de mercure de Torricelli entre la plaine et le sommet du Puy de Dôme. Cette idée est passée dans l'imaginaire collectif avec des expériences nées de la curiosité que suscita l'invention de la pompe à vide, comme figuré dans le célèbre tableau du British Museum de Joseph Wright of Derby. Ce dernier représente une expérience sur le vide inspirée de travaux de Robert Boyle datant de 1768. L'idée de non-pérennité de la part d'oxygène qui compose l'air n'est pas encore entrée dans la conscience collective, car paradoxalement l'oxygène n'est pas encore perçu comme une ressource non durable et aucun pays n'a encore proposé d'en taxer la consommation. Seules les multinationales comme Air Liquide qui commercialisent ce bien commun, comprimé ou liquéfié, se posent la question de son économie durable ainsi que de l'épuisement de sa capacité de régénération (effectuée en grande partie par le phytoplancton) que pourrait induire le développement de nouveaux procédés de production d'énergie.

L'atmosphère a un rôle important de transfert d'énergie de l'équateur vers les pôles qu'elle assure, à parts presque égales, avec les courants océaniques de surface. Ce transfert implique principalement la convection humide, l'évaporation et la condensation de l'eau. Cette convection est verticale au niveau de l'équateur et s'incline vers l'ouest dans les basses couches, l'air équatorial tournant moins vite que la planète. En revanche, dans les hautes couches, l'air remontant en direction des pôles tourne plus rapidement que la surface de la planète et se déplace vers l'est. Cette convection crée les alizés. Aux latitudes moyennes, cette convection s'incline verticalement et se déphase horizontalement (instabilité barocline). Ces mouvements génèrent, par condensation, des nuages qui, en fonction de leur densité et de leur distribution en gouttes de tailles variables, seront plus ou moins perméables aux rayons du soleil et au rayonnement infrarouge de la Terre vers l'espace (effet de serre). Or la condensation de la vapeur ne peut se faire que sur des particules (traditionnellement, des poussières arrachées aux déserts par le vent et donnant une couleur rouge aux gouttes de pluie évaporées, des grains de sel que

driven mechanically by friction with the air. The intensity of the descent deep waters is also affected, since the density of the surface water varies; its salinity and temperature depends on evaporation, which is in turn caused by the wind and the direct heat of the sun. In this way, the large-scale movements in the atmosphere, operating within time-scales of a week or so, determine the distribution of the clouds through a process of condensation, introducing time periods lasting from a minute to a day, which react upon the movements of the atmosphere. The slowly varying components of these dynamics (the atmosphere and the clouds), in return influence the circulation in the ocean's surface within time periods of a year or so – for example, the reversal of the trade winds over the Pacific, caused by the backward surge warm waters amassed in the west during El Nino episodes. These components alter deep-ocean currents over hundreds of years. But again, as already discussed on the various dynamics involved in earthquakes, each of these phenomena bring into play a whole range of temporal and spatial scales making the couple system trajectory complex folding on a multiple scale attractor in a fractal and chaotic manner.

Human activity affects each of these phenomena and their interaction with one another. Its impact spreads itself over time scales, from the second second – for the processes of condensation, to the millennium – for deep-ocean circulation and the cryosphere. Knowing if these ancient equilibriums have shattered under the pressure of humankind, if the vessel of the earth broken free of the attractor on which its history is inscribed, is therefore particularly difficult since the structure of the attracting trajectory introduces a whole sequence of temporal and spatial scales. In order to do so, one would have to visualise, as a fantastic automat machine of mechanically interacting Armillary rings, the evolution of the spheres (bio, atmo, cryo, aqua, litho and eventually geo-spheres) and predict their particular movements.

The sudden disappearance of Nuuk Island, concomitant with the birth of the 'Anthropocene' question, demands our attention. Is it a manifestation of the revolt of earth-forces against humans declaring themselves on the level of the titans, with the self-allocated right to shape the planet – over which it claims a physical

libèrent la crête des vagues échevelées par les tempêtes et des fragments organiques souvent d'origine océanique, comme le sel), mais au cours de ses diverses activités, l'homme rejette des particules dans l'atmosphère qui multiplient les noyaux de condensation (noyaux d'origine anthropique) et changent les caractéristiques physiques des nuages.

Les alizés, par friction avec l'eau de surface de l'océan, créent les grands courants tel le Gulf Stream ou le Kuroshio aux eaux noires. La distribution des nuages modifie l'équilibre thermique de chaque région de la planète et donc influence les mouvements de l'atmosphère. Toute altération des vents induit une modification de direction des courants à la surface des océans et des mers, courants produits mécaniquement par la friction de l'air. L'intensité de la plongée des eaux profondes est à son tour affectée, car la densité de l'eau de surface varie, sa salinité et sa température dépendant de l'évaporation due au vent et à la chaleur solaire directe. Ainsi les grands mouvements de l'atmosphère, soumis à des cycles à peu près hebdomadaires, déterminent la distribution des nuages par le biais d'un processus de condensation et font intervenir des temps variant de la minute à la journée, lesquels rétroagissent sur les mouvements de l'atmosphère. Les composantes à variabilité lente de ces dynamiques (atmosphère et nuages) influencent en retour la circulation de l'océan de surface sur des échelles de temps de l'ordre de l'année, avec par exemple le renversement des alizés sur le Pacifique par reflux des eaux chaudes accumulées à l'ouest, lors des passages d'El Niño. Ces composantes modifient les courants océaniques profonds sur des centaines d'années. Mais encore une fois, comme pour l'exemple des tremblements de terre impliquant des dynamiques variées, chacun de ces phénomènes en isolation fait intervenir tout une gamme d'échelles de temps et d'espace. La complexité de tels systèmes couplés résulte du repliement à l'infini des trajectoires chaotiques qui se rabattent pour former une surface fractale, un attracteur à échelles multiples.

L'action humaine affecte chacun de ces phénomènes et leurs interactions. Sur l'ensemble des échelles de temps, son impact va de l'ordre de la seconde pour les processus de condensation au millénaire pour la circulation profonde

and moral ownership – by planting a flag and establishing a scientific research centre? Is it the oracle announcing the planet's destiny at the crossroads of the route to Thebes? Is it a digital utopia, the materialisation of an abstract world that has come out of the silicon imagination of a computer programme, which had by chance drawn its form from the unknown depths of the ocean? Perhaps the island was real, and its retreat back into the abyss altered the deep-ocean circulation, dragging the world into a new age, which humankind, blinded by its electric glow, dared to call its own.

océanique et la cryosphère. Savoir si les équilibres anciens ont rompu sous la pression des hommes, si le vaisseau terrestre quitte l'attracteur sur lequel s'inscrivait son histoire, est donc particulièrement difficile à analyser car la structure de la trajectoire de l'attracteur fait intervenir une cascade d'échelles de temps et d'espace. Il faudrait pour cela pouvoir visualiser, comme sur un automate géant doté de sphères armillaires interagissant de façon mécanique, l'évolution des sphères (biosphère, atmosphère, cryosphère, hydrosphère, lithosphère et éventuellement géosphère) afin de prévoir leurs mouvements particuliers.

La disparition soudaine de l'île Nuuk, concomitante à la naissance de la question de l'Anthropocène, nous interpelle. Est-elle la manifestation de la révolte des forces telluriques suite à l'auto-proclamation de l'homme au rang de titan s'arrogeant le droit de modeler la planète, dont il revendique la possession physique et morale en plantant un drapeau et en établissant une base scientifique ? Est-elle la voix de l'oracle annonçant le destin de la planète au carrefour de la route de Thèbes ou une utopie numérique, matérialisation d'un monde abstrait sorti d'un imaginaire de silicium, d'un programme informatique qui aurait généré par hasard la forme des fonds marins inconnus ? Peut-être cette île était-elle réelle et son rappel vers les abysses aurait-il modifié la circulation profonde de l'océan, entraînant le monde vers un nouvel âge que l'homme, aveuglé par le halo de ses lumières électriques, aurait osé appeler le sien.

¹ As realised in the geology laboratory of the Ecole Normale Supérieure, Paris in the Jérôme Fortain group.

² Bill McGuire, *Waking the Giant: How a changing climate triggers earthquakes, tsunamis, and volcanoes*, (2013), Oxford University Press

³ Goff, A. J. & Arbic, B. K. *Global prediction of abyssal hill roughness statistics for use in ocean models from digital maps of paleo-spreading rate, paleo-ridge orientation, and sediment thickness*. **Ocean Modell.**, Vol. 32, 36-43 (2010).

⁴ Garrett C. & Kunze E. *Internal Tide Generation in the Deep Ocean*. **Annual Review of Fluid Mechanics** Vol. 39, 57-87 (2007)

Wunsch C. & Ferrari R. *Vertical Mixing, Energy, and the General Circulation of the Oceans*. **Annual Review of Fluid Mechanics** Vol. 36, 281-314 (2004).

⁵ Bryden HL, Longworth HR, Cunningham SA. *Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25° N*. **Nature**, Vol 438, 655–657 (2005)

⁶ Jouzel, Jean; Masson-Delmotte, V.; Cattani, O.; Dreyfus, G.; Falourd, S.; Hoffmann, G.; Minster, B.; Nouet, J. et al. *Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years*. **Science** Vol. 317, 793–796 (2007).

⁷ Cooper, L.W., T.T. Whitedge, J.M. Grebmeier and T. Weingartner, 1997. *Nutrient, salinity and stable oxygen isotope composition of Bering and Chukchi Sea in and around the Bering Strait*. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 102, 563–12, (2007).

¹ Comme réalisées au laboratoire de Géologie de l'École Normale supérieure, Paris dans le groupe de Jérôme Fortin

² Bill McGuire, *Waking the Giant: How a changing climate triggers earthquakes, tsunamis, and volcanoes*, (2013), Oxford University Press

³ Goff, A. J. & Arbic, B. K. *Global prediction of abyssal hill roughness statistics for use in ocean models from digital maps of paleo-spreading rate, paleo-ridge orientation, and sediment thickness*. **Ocean Modell.**, Vol. 32, 36-43 (2010).

⁴ Garrett C. & Kunze E. *Internal Tide Generation in the Deep Ocean*. **Annual Review of Fluid Mechanics** Vol. 39, 57-87 (2007)

Wunsch C. & Ferrari R. *Vertical Mixing, Energy, and the General Circulation of the Oceans*. **Annual Review of Fluid Mechanics** Vol. 36, 281-314 (2004).

⁵ Bryden HL, Longworth HR, Cunningham SA. *Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25° N*. **Nature**, Vol 438, 655–657 (2005)

⁶ Jouzel, Jean; Masson-Delmotte, V.; Cattani, O.; Dreyfus, G.; Falourd, S.; Hoffmann, G.; Minster, B.; Nouet, J. et al. *Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years*. **Science** Vol. 317, 793–796 (2007).

⁷ Cooper, L.W., T.T. Whitedge, J.M. Grebmeier and T. Weingartner, 1997. *Nutrient, salinity and stable oxygen isotope composition of Bering and Chukchi Sea in and around the Bering Strait*. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 102, 563–12, (2007).



The Studio
 (installation image, GV Art gallery, 2014)
 83

Vue de l'atelier
 (vue de l'installation à GV Art Gallery, Londres, 2014)

Biography

Anaïs Tondeur

Anaïs Tondeur is a visual artist. She works and lives in Paris. Her art practice draws on an exploration of the interface between art and science, senses and cognition, fact and fiction. Through an inter-disciplinary practice including installations, drawings, early techniques of photography and new media processes, her work is carried by a sense of history, time and perception. Her installations bring into narrative questions stemming from the evolution of knowledge and the impact of human living on the environment, through expeditions in physical or fictional territories. To this end, she often collaborates with scientists in the fields of geo-sciences, physics or astrophysics in both collaborative and consultative roles.

She is currently artist in residence in the Hydrodynamics laboratory (LadHyx, CNRS, Polytechniques School) in France where she researches on the notion of multiple time scales and the time contraction represented by the Anthropocene, confrontation of human eagerness and the geologic ages.

Anaïs Tondeur graduated with a Master in Mixed-Media from the Royal College of Art (London, 2010) after completing a Bachelor (Hons) Textiles at Central Saint Martin's School (London, 2008).

She has also been commissioned to work as an artist in residence at Space Observatory, CNES, Paris, France 2015, Les 26 Couleurs, Centre for New Media Arts (2013, France), Audax Textiel Museum (2011, Netherlands), Cité Internationale de la dentelle (2011, Calais, France).

Her work has been presented in solo exhibitions in Paris and London and group exhibitions shown nationally and internationally.

GV Art gallery, London represents Anaïs Tondeur.

Biographie

Anaïs Tondeur

Anaïs Tondeur vit et travaille entre Paris et Londres. Son travail artistique s'appuie sur une exploration de l'interface entre art et science, mémoire et perception, espace et temps. Dans une pratique prédominée par les techniques de dessins, des débuts de la photographie, d'installations et des nouveaux médias, son travail met en récit des questions liées à l'évolution des savoirs et à l'impact de l'humain sur son environnement, au travers d'expéditions réelles ou fictives. À cette fin, elle collabore avec des scientifiques dans les domaines de la physique, des sciences de la Terre et de l'ingénierie mais également avec des compositeurs, écrivains et artistes, tel que le collectif d'artistes international Sensory Site.

Elle est actuellement en résidence au Laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyx, École Polytechnique, CNRS, France) où elle explore les changements d'échelle de perception temporelle et la contraction des temps que représente l'Anthropocène, traces de l'impatience humaine perceptibles au niveau géologique.

Anaïs Tondeur est diplômée du Royal College of Art de Londres où elle acheva son Master en 2010, après avoir obtenu un Bachelor en design textile à l'école Central Saint Martins de Londres en 2008.

Elle a été choisie comme artiste en résidence à l'Observatoire de l'Espace (Paris, France, 2015), aux 26 Couleurs, centre axant sa programmation sur les nouveaux médias (France, 2011), à l'Audax Museum (Pays-Bas, 2011) et à la Cité internationale de la dentelle (Calais, France, 2011).

Son travail a été présenté lors d'expositions personnelles et collectives en France et à l'étranger.

La galerie GV Art, Londres représente Anaïs Tondeur



Making an island collapse

Experiment N° 12 with FDSE students, Cambridge, 2014

La disparition d'une île

Expérience N° 12 avec les étudiants FDSE, Cambridge, 2014

Biography

Jean-Marc Chomaz

Jean-Marc Chomaz is the Director of Research at CNRS, Professor at École Polytechnique, and Chair of the Laboratory of Excellence LaSIPS de University Paris Saclay. He is the co-founder of the Hydrodynamics Laboratory (LadHyX) which he co-directed from 1990 to 2013. Alumnus of the École Normale Supérieure, he got his PhD from the University Pierre and Marie Curie in 1985, he advises or has advised on 23 PhDs and co-authored more than 170 publications including 105 in peer reviewed international journals. He received DRET the Young Investigator Award in 1995, the CNRS Silver Medal in 2005 and the Ampere Grand Prize of the Academy of Sciences in 2012, was appointed "Fellow" of the American Physical Society in 2001, "Overseas Fellow" Churchill College Cambridge in 2008. His research concerns the dynamics of soap films, the theory of global instability, the vortex breakdown, geophysical fluids and biomechanics. Since 1992, he has been involved with Antoine Garcia in research in "Art and Science". He is co-founder of the Labofactory artist collective and the Diagonal Paris-Saclay project. His latest artistic co-creations are "Fluxus" Labofactory, Cutlog, Paris 2012, Paris Nuit Blanche (NBP) 2013 Artsciences Factory Days (DFSA) Palaiseau 2014, "Moving Mind" Curiositas, Orsay, NBP 201, "A path that walks" and "time trace" DFSA 2012, salon des réalités nouvelles, Paris 2014 and with the artist duo HeHe "Fleur de Lys", Domaine de Chamarande 2012, EXIT festival in 2013, "domestic Disaster No. 3, planet Lab" Carbon 12, Espace Fondation EDF, Paris 2012,. Since 2013 he has collaborated with Anaïs Tondeur on the creation of the exhibition "Lost in Fathoms" at the GV Art gallery, London 2014.

Biographie

Jean-Marc Chomaz

Artiste et scientifique, il est directeur de recherche au CNRS, professeur à l'École Polytechnique, directeur du Laboratoire d'excellence LaSIPS de l'université Paris Saclay. Il est le co-fondateur du Laboratoire d'Hydrodynamique (LadHyX) qu'il a co-dirigé de 1990 à 2013. Ancien élève de l'École Normale Supérieure, il est docteur ès sciences de l'université Pierre et Marie Curie depuis 1985, habilité à diriger des recherches depuis 1996. Il dirige ou a dirigé vingt-trois thèses et co-écrit plus de 170 publications, dont 105 articles dans des revues internationales à comité de lecture. Il a reçu le Prix Jeune Chercheur DRET en 1995, la médaille d'argent du CNRS en 2005 et le Grand Prix Ampère de l'Académie des Sciences en 2012, a été Nommé "fellow" de l'American Physical Society en 2001, « Overseas Fellow » du Churchill College de Cambridge en 2008, a été admis chevalier de l'ordre national du Mérite en 2011 et de l'ordre des Palmes académiques en 2013. Ses domaines de recherche concernent la dynamique des films de savon, la théorie de l'instabilité globale, l'éclatement tourbillonnaire, les fluides géophysiques et la biomécanique.

Depuis 1992, il s'est investi avec Antoine Garcia dans une démarche de recherche en « Art et Science ». Cofondateur du collectif d'artistes Labofactory et du projet *Diagonale Paris-Saclay*, ses dernières réalisations artistiques sont *Fluxus*, *Labofactory*, *Cutlog*, Paris 2012, *Nuit Blanche Paris* (NBP) 2013, *Artsciences Factory Days* (ASFD) *Palaiseau* 2014, *Moving Mind* *CURIOSITAS*, Orsay, NBP 2013, *Un chemin qui chemine* et *Time trace*, ASFD 2012, salon des réalités nouvelles, Paris 2014 et avec le Duo d'artistes HeHe « Fleur de Lys », Domaine de Chamarande, 2012, festival EXIT 2013, *Catastrophe domestique n°3*, *Planète Laboratoire Carbon 12*, Espace Fondation EDF, Paris 2012. Depuis 2013 il collabore avec Anaïs Tondeur sur la réalisation de l'exposition *Lost in Fathoms* à la GV Art gallery, Londres 2014.



Making an island collapse

Experiment N° 54 with FDSE students, Cambridge, 2014

La disparition d'une île

Expérience N° 54 avec les étudiants FDSE, Cambridge, 2014

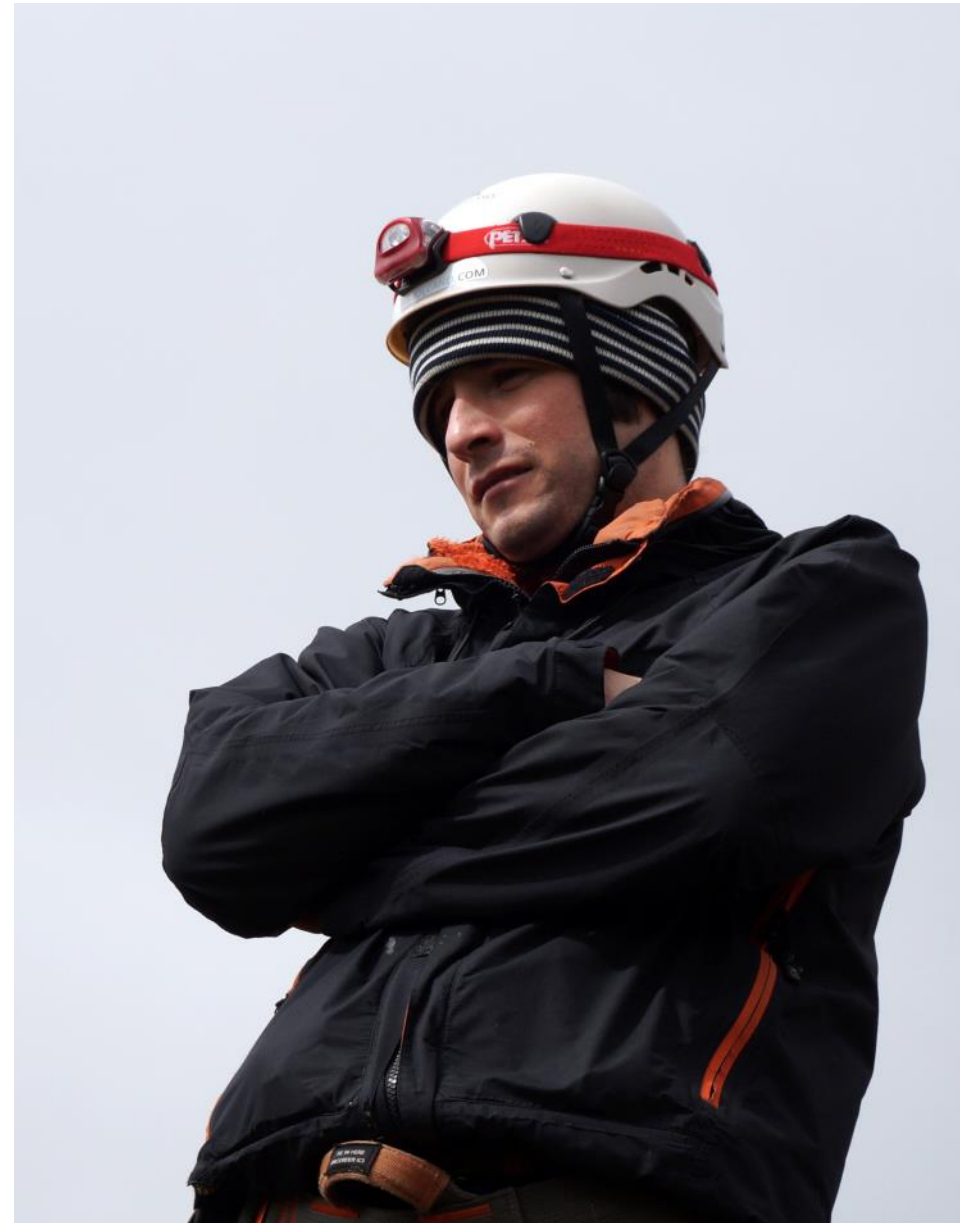
The Hydrodynamics Laboratory of the Ecole Polytechnique (LadHyX) was established in 1990 by Patrick Huerre and Jean-Marc Chomaz. It conducts theoretical, numerical and experimental research in fundamental fluid dynamics. LadHyX activities initially focused on instabilities and transition to turbulence in shear flows, and have gradually diversified to include new topics: spatiotemporal chaos, geophysical flows, fluid-structure interactions, flow at low Reynolds number, aeroacoustics, microfluidic, flow control, mechanical and living systems and hydrodynamics at interfaces. Since its creation, the Laboratory has developed an open lab model and in this context has hosted and produced works with more than a dozen artists.

Le laboratoire d'hydrodynamique de l'école Polytechnique (LadHyX) a été créé en 1990 par Patrick Huerre et Jean-Marc Chomaz. Il permet des recherches théoriques, numériques et expérimentales en dynamique des fluides fondamentale. Les activités du LadHyX, initialement centrées sur les instabilités et la transition vers la turbulence dans les écoulements cisailés, se sont progressivement diversifiées pour inclure des thèmes nouveaux : désordre spatio-temporel, écoulements géophysiques, interactions fluide-structure, écoulements à faible nombre de Reynolds, aéroacoustique, microfluidique, contrôle des écoulements, mécanique & systèmes vivants et hydrodynamique aux interfaces. Dès sa création, LadHyX a fonctionné sur un modèle de laboratoire ouvert et dans ce cadre, a accueilli et réalisé des œuvres en collaboration avec plus d'une douzaine d'artistes.

GV Art gallery, London

Is a contemporary art gallery which aims to explore and acknowledge the inter-relationship between art and science, and how the areas cross over and inform one another. The gallery produces exhibitions and events that create a dialogue focused on how modern man interprets and understands the advances in both areas and how an overlap in the technological and the creative, the medical and the historical are paving the way for new aesthetic sensibilities to develop.

Est une galerie d'art contemporain qui vise à explorer et à reconnaître l'interrelation entre l'art et la science, et la façon dont ces champs se traversent et s'informent les uns les autres. La galerie présente des expositions et des événements qui créent un dialogue axé sur la façon dont l'homme moderne interprète et comprend les avancements dans ces deux domaines, et dont le chevauchement de la technologie et de la créativité, du médical et de l'historique ouvre la voie à de nouvelles sensibilités esthétiques.



Gabriel Grandry, Expedition companion, Mid Atlantic Ridge, 2014

Acknowledgments

With thanks to

LaSIPS (centre de recherche et de formation en sciences de l'ingénierie et des systèmes), the Foundation Daniel and Nina Carasso and the Chaire de Development durable for their kind support.

Antoine Garcia and Nil Tondeur for their precious participation in the development and production of the installations. Robert Devcic and Charles Gollop for their unique presence and dedicated support. Gabriel Grandry for his tireless attention, his dedication and courage which were key to the expedition on the traces of Nuuk. Luc and Nicole Tondeur for their love and unconditional support. Joanna Zylinska for her insightful contribution on reflecting on the Anthropocene. Caspar Henderson for his stimulating discussions. Jérôme Fortin for his help to capture the echo from the wandering plates. Harry L. Bryden for his donation of half of his deep waters collection and also for taking us on a journey through his memories of sea campaigns and his research on the actual evolution of the oceans. The glass blower Jean-Michel Wierniezky for his expertise. Pierre Grandry and Matthew Birch for their support and attentive edits. Caroline Muller for her enthusiasm and generously sharing her research. Sabine Ortiz for suggesting *The Possibility of an Island* by Michel Houellebecq. Laurent Kartz for discussion. Poets Ruth Padel and Declan Ryan. Grace Linden for her translations. Sarah Kennedy and Keith Moffatt for giving their word for the poems. Thanks to Rose Collis for proofreading the English texts and to Nathalie Barrié for the French texts.

The Ecole Polytechnique (France) and the Hydrodynamics laboratory (LadHyX), Chirtophe Clanet, the staff and PhD students for supporting the project through discussions, much advices and help, in particular Caroline Frot, Delphine

Remerciements

Avec nos remerciements à :

LaSIPS (centre de recherche et de formation en sciences de l'ingénierie et des systèmes), la fondation Daniel et Nina Carasso et à la chaire de développement durable pour leur soutien essentiel.

Antoine Garcia et Nil Tondeur, sans qui aucune des installations de cette exposition n'auraient vu jour. Robert Devcic et Charles Gollop pour leur soutien et leur présence inégalable. Gabriel Grandry pour son attention bienveillante et dévouée ainsi que pour son courage décisif dans l'expédition sur les traces de Nuuk. Luc et Nicole Tondeur pour leur tendre écoute et leur soutien inconditionnel. Joanna Zylinska pour son regard affûté sur l'Anthropocène. Caspar Henderson pour les discussions stimulantes. Jérôme Fortin pour nous avoir aidé à capturer le son de la dérive des continents. Joël Somméria pour l'envoi de particules afin de visualiser la plongée des eaux dans notre océan de verre. Harry L. Bryden pour le don de la moitié de sa collection d'eaux profondes ainsi que pour le voyage qu'il nous a offert à travers ses souvenirs de campagnes en mer et ses recherches sur l'évolution actuelle des océans. Le souffleur de verre Jean-Michel Wierniezky pour sa collaboration tout au long de la création des installations. Pierre Grandry et Matthew Birch pour leurs regards et lectures attentives. Caroline Muller pour son enthousiasme et le partage généreux de ses recherches. Sabine Ortiz pour avoir suggéré *La possibilité d'une île* de Michel Houellebecq. Laurent Karst pour sa conversation stimulante. Les poètes Ruth Padel et Declan Ryan. Grace Linden pour ses traductions. Sarah Kennedy et Keith Moffatt pour avoir prêté leurs mots au poème. Merci à Rose Collis pour la relecture des textes en anglais et Nathalie Barrié pour les textes en français

L'Huiller, Daniel Guy, Adrien Lefauve and Gaétan Lerisson and Ecole Polytechnique students Alexandre Breant, Antoine Regimbeau, Clement le Priol, Loucas Pillaud-Vivien, Sebastián Illanes and Ruben Zakine

All the faculty staff from DAMTP (Departments of the Faculty of Mathematics of Cambridge University) (UK) in particular Stuart Dalziel, Mark Hallworth, Jamie Partirdge and Paul Linden for their essential help as well as the PhD students who participated in the art and science workshop of the Fluid Dynamics of Sustainability and the Environment summer school 2014.

A particular thanks to the oceanographers who opened their white rooms and their ocean samples archives to retrace the journey of MOC Waterdive: Marion Benetti, Bernard Boulès, Damien Cardinal, Ivia Closset, Mohamed Herbal, Violaine Jacq, Hervé Le Goff, Pascale Lherminier, Claire Lo Monaco, Herlé Mercier, Claude Mignon, Gilles Reverdin at Laboratoire d'océanographie et du climat (LOCEAN), Université Pierre et Marie Curie, France. Dr Gereon Budeus and Stefanie Klebe at Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Germany.

L'École Polytechnique (France) et le Laboratoire de dynamiques des fluides (LadHyX), Christophe Clanet, le personnel et les doctorants pour leur accueil chaleureux ainsi que leur aide, les discussions et multiples conseils tout au long de la résidence d'artiste et en particulier Caroline Frot, Delphine L'Huiller, Daniel Guy, Adrien Lefauve and Gaétan Lerisson ainsi que les étudiants polytechniciens Alexandre Bréant, Antoine Regimbeau, Clément le Priol, Loucas Pillaud-Vivien, Sebastián Illanes et Ruben Zakine.

Tous les membres de la faculté de mathématiques de l'université de Cambridge et en particulier Stuart Dalziel, Mark Hallworth, Jamie Partirdge et Paul Linden pour leur soutien essentiel, ainsi que les étudiants qui ont participé à l'atelier *Art et Science* de l'école d'été 2014 (Dynamique des fluides et pour le développement durable et l'environnement).

Nous remercions aussi chaleureusement les océanographes qui ont ouvert leurs chambres blanches, leurs archives d'eau des océans et nous ont permis d'effectuer un voyage millénaire sur les traces de la dernière vague de la MOC, en particulier : Marion Benetti, Bernard Boulès, Damien Cardinal, Ivia Closset, Mohamed Herbal, Violaine Jacq, Hervé Le Goff, Pascale Lherminier, Claire Lo Monaco, Hervé Mercier, Claude Mignon, Gilles Reverdin du laboratoire d'océanographie et du climat (LOCEAN), université Pierre et Marie Curie, France. Le Dr. Gereon Budeus et Stefanie Klebe de l'institut Alfred Wegener du centre Helmholtz pour la recherche marine et polaire, Allemagne.