



construire **une œuvre d'art**  
sur des bases **scientifiques et technologiques**

L'exemple de *Modelling Poetry*, une œuvre de Melik Ohanian

Anthony Baillard  
18 janvier 2024  
Université Gustave Eiffel



# Plan de la présentation

Introduction

Le parcours de création de l'œuvre

La littérature scientifique et technique

Les données et les modèles

Le logiciel et le matériel

Conclusion et perspectives

# Position

Anthony Baillard, art, science et technologie

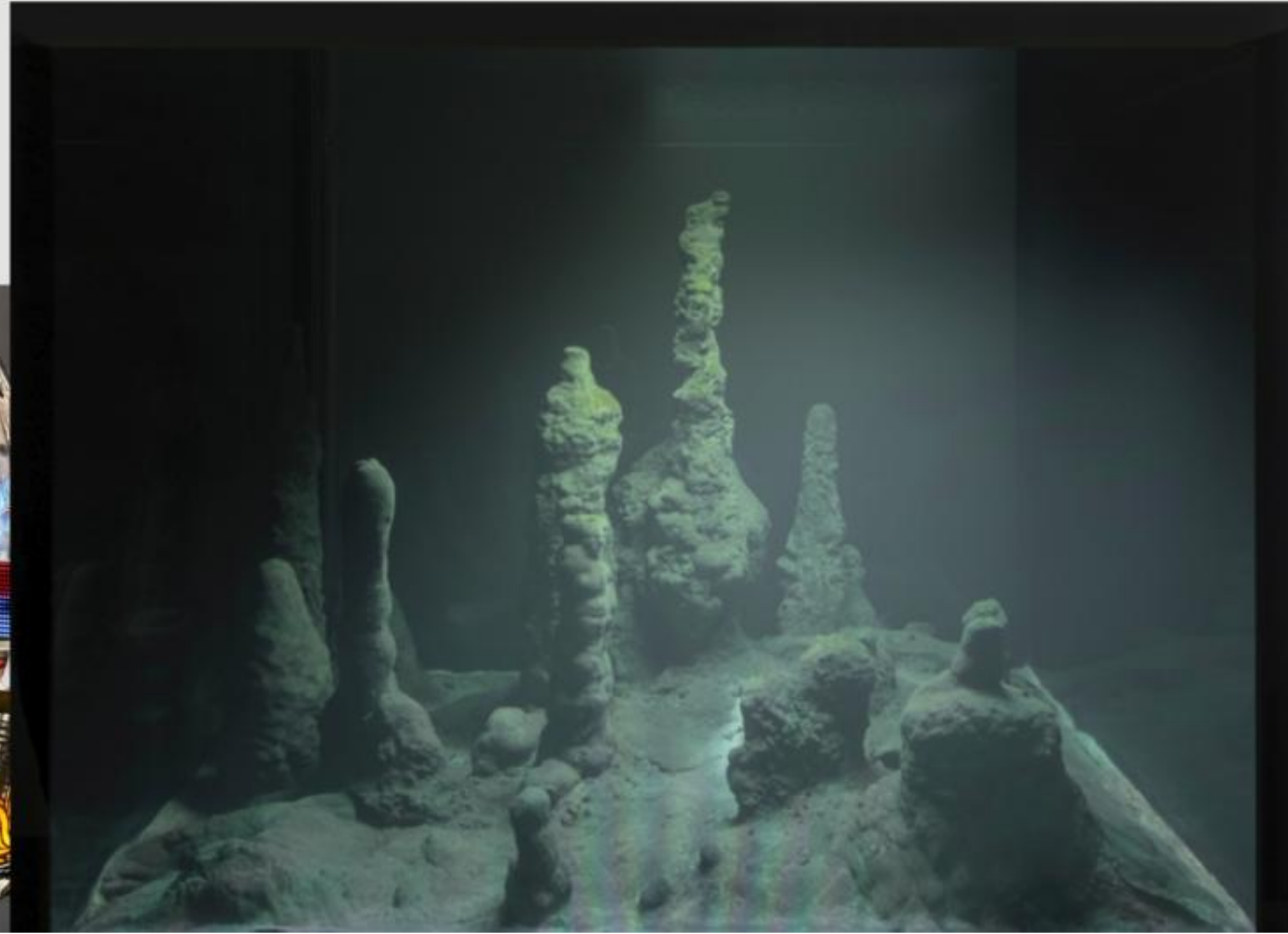


GALERIE  
CHANTAL CROUSEL

# Position

Anthony Baillard, art, science et technologie

Out of Pluto, entreprise pluridisciplinaire

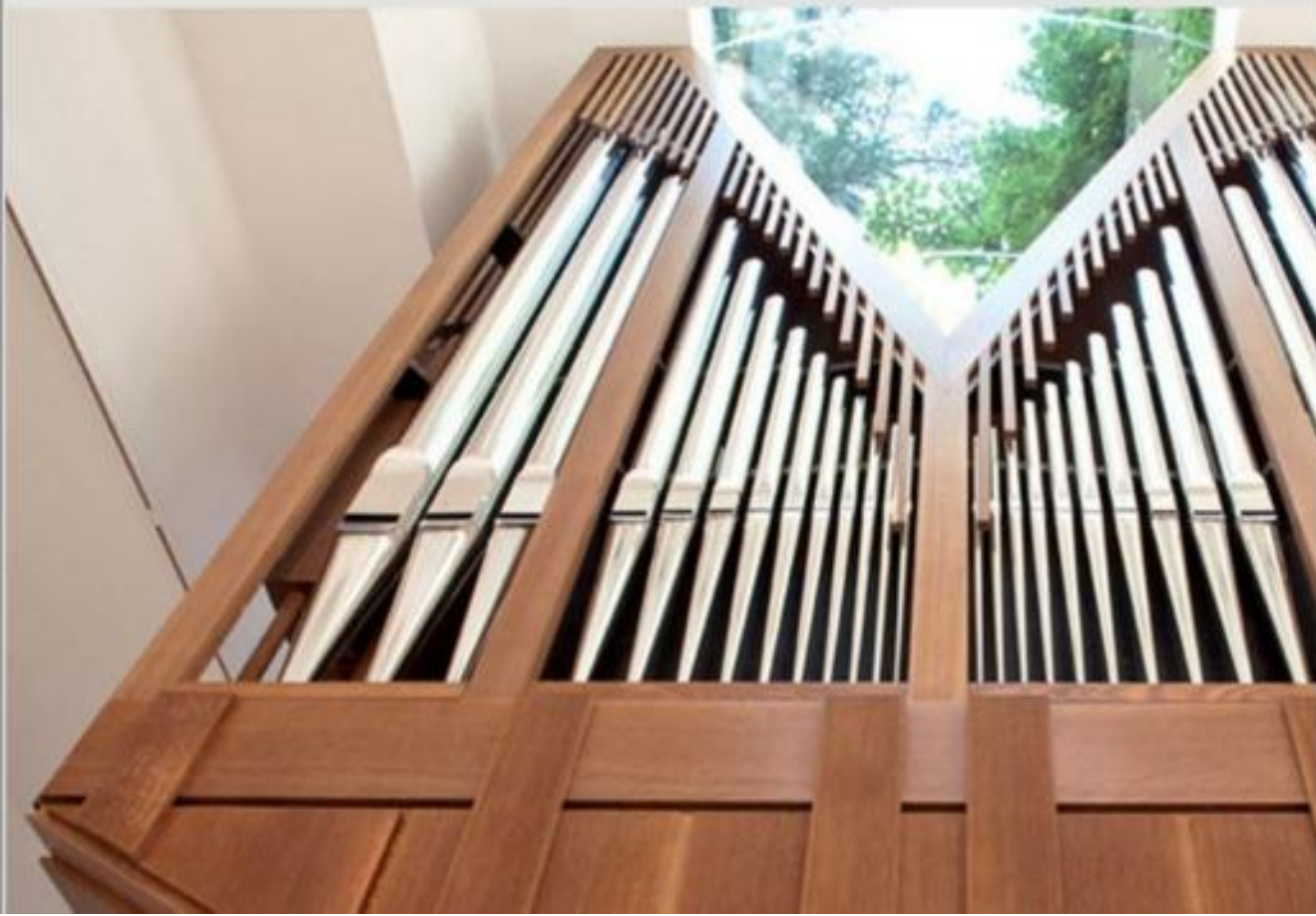




# Position

Anthony Baillard, art, science et technologie

Out of Pluto, entreprise pluridisciplinaire



# Position

Anthony Baillard, art, science et technologie

Out of Pluto, entreprise pluridisciplinaire

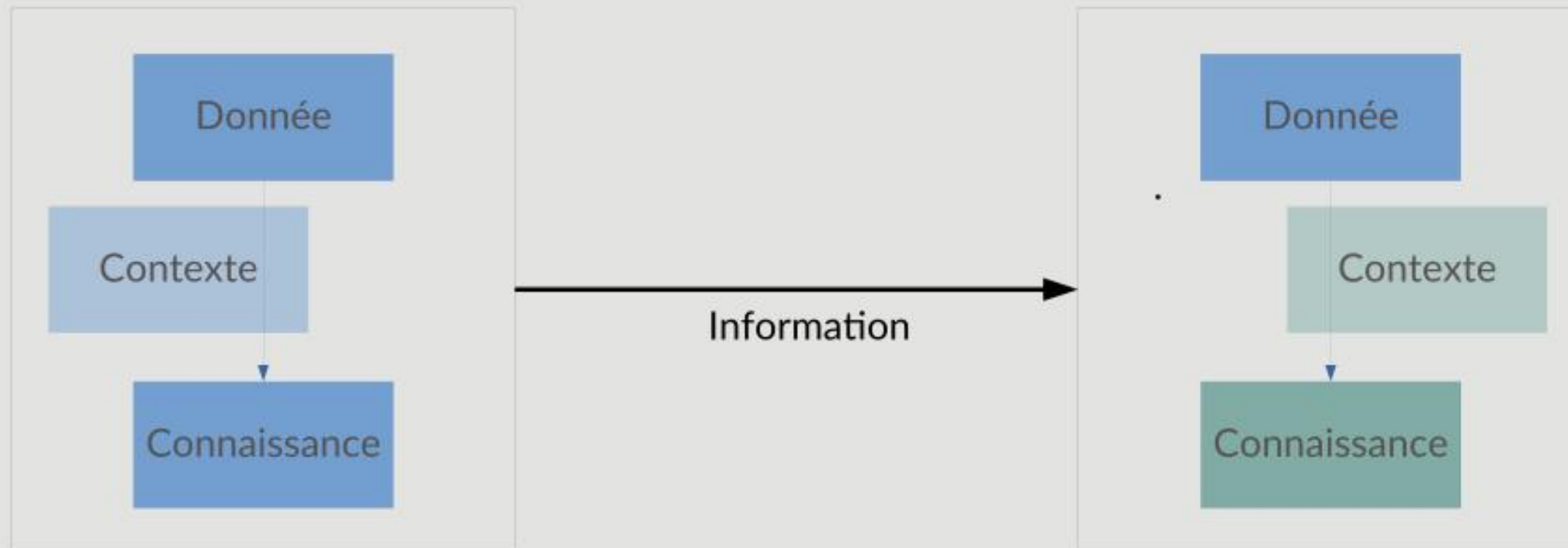




# Un peu de vocabulaire

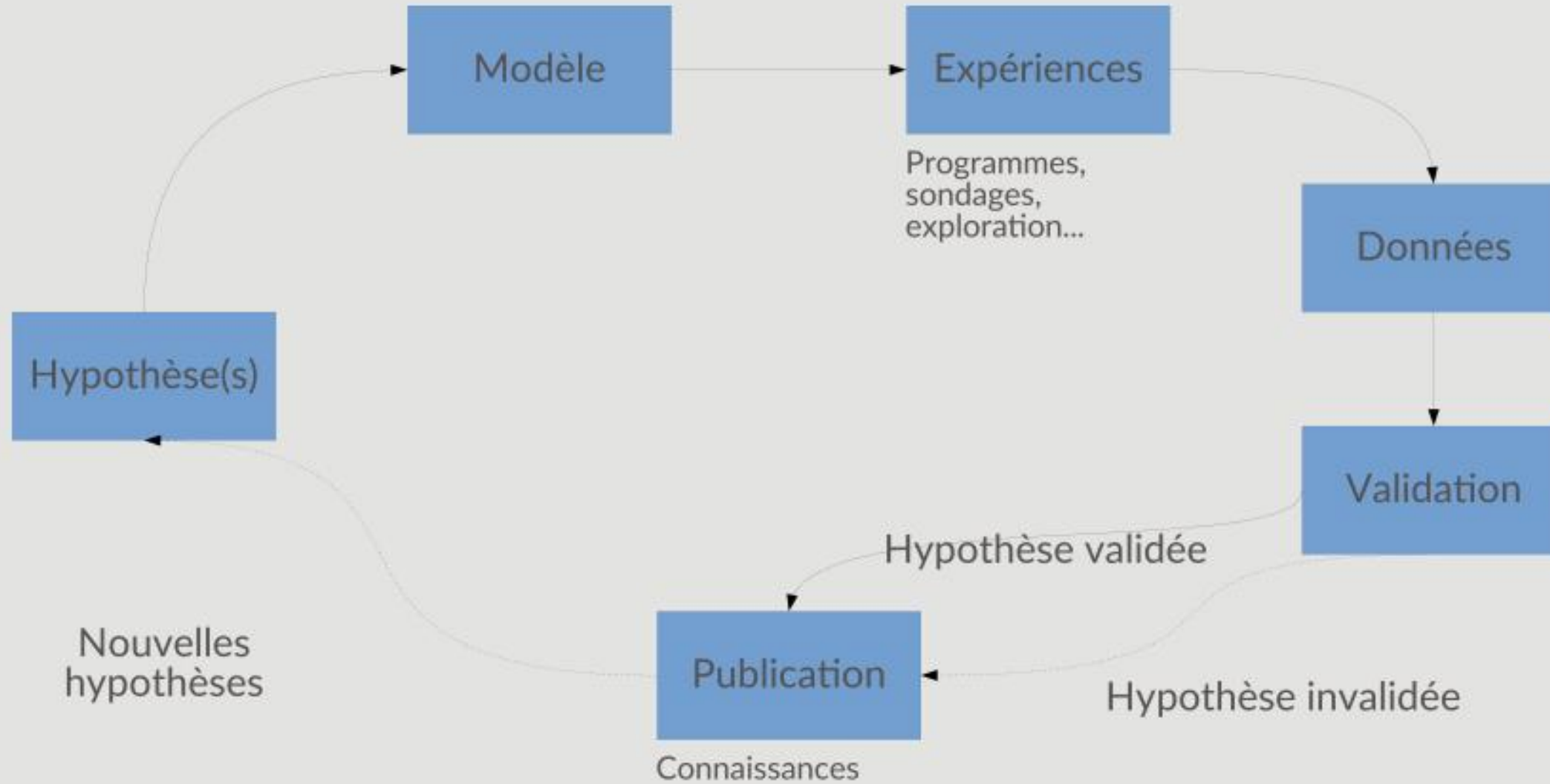
Damien Truffaut, expert en architecture des systèmes d'information :

**“ La donnée, c'est bien ; l'information, c'est mieux ! ”**

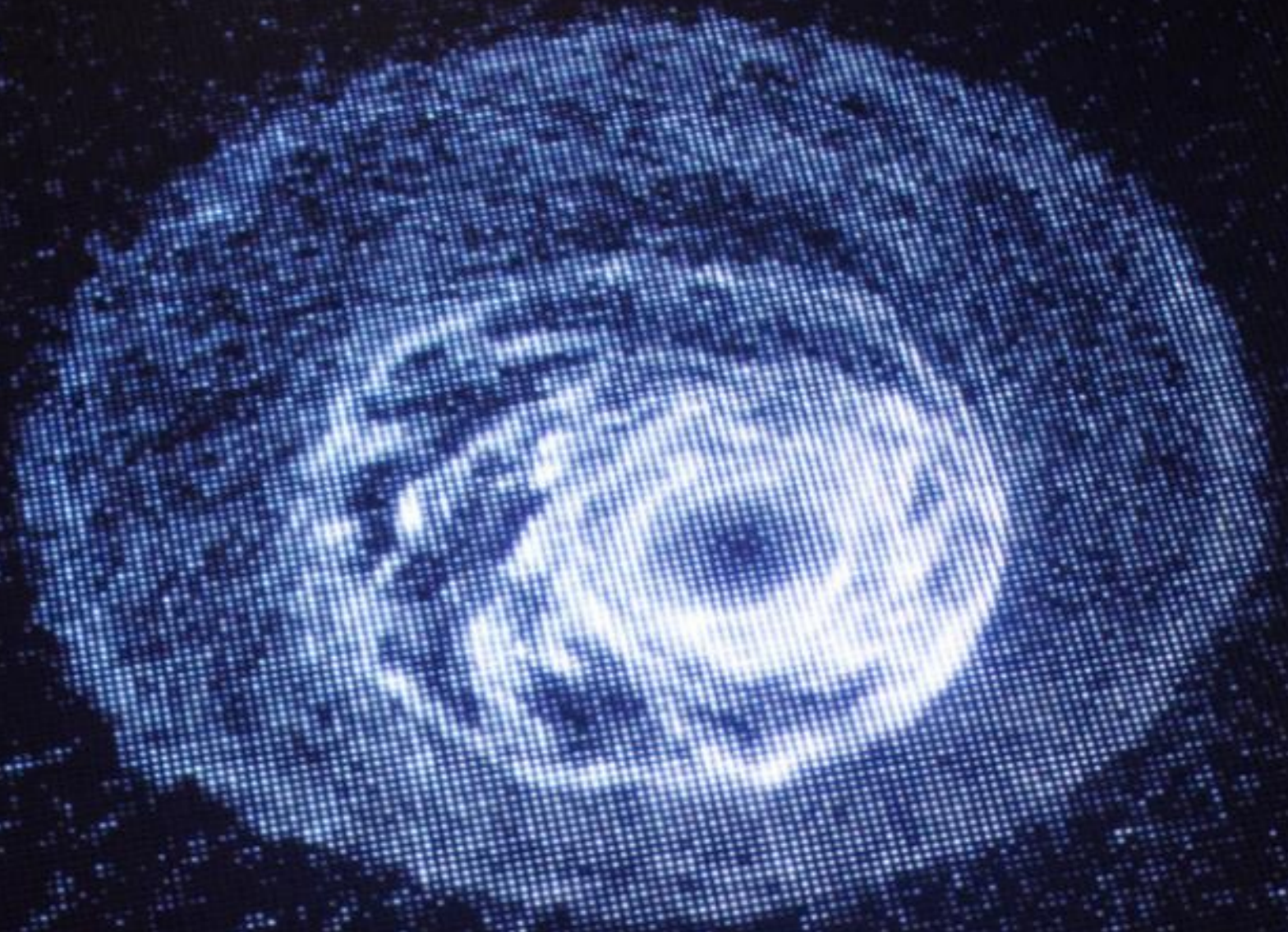


# La démarche scientifique

en très résumé pour notre propos







# Le parcours de création de *Modelling Poetry*

NASA  
L'œuvre  
Installations



# L'annonce de la NASA

(National Aeronautics and Space Administration)

31 Mai 2012

"Our findings are statistically consistent with a head-on collision between the Andromeda galaxy and our Milky Way galaxy"

"Nos découvertes sont statistiquement cohérentes avec une collision frontale entre la galaxie d'Andromède et notre galaxie La Voie Lactée"

La collision se produira dans 4 milliards d'années.



**Illustration Sequence of the Milky Way  
and Andromeda Galaxy Colliding**



# *Modelling Poetry, an Algorithm as a Screenplay, 2015*

## Melik Ohanian

**L'astrophysique** pour comprendre comment fonctionnent les galaxies et la gravité.

**L'ingénierie informatique** pour reproduire la collision grâce à un ordinateur.

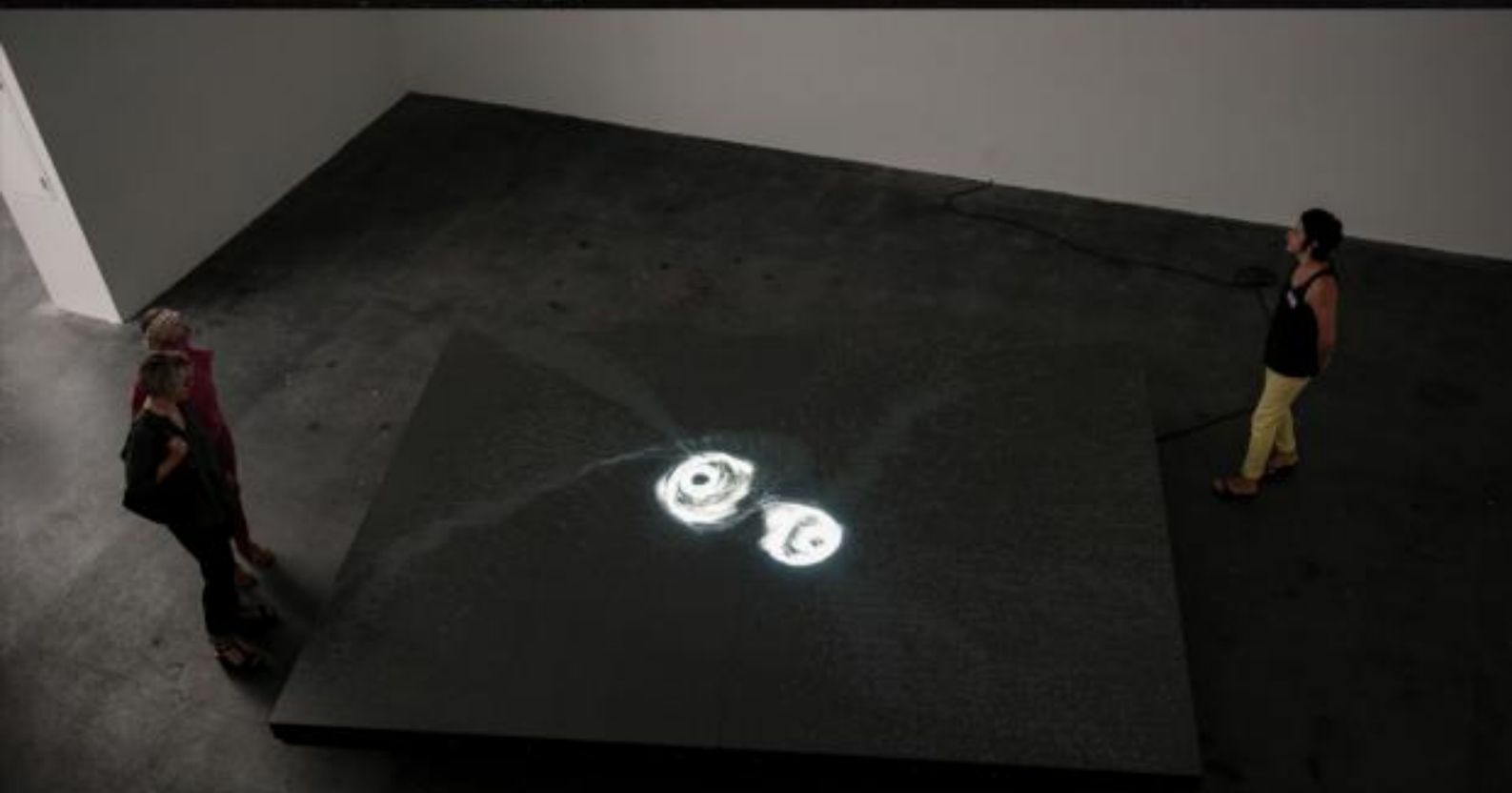
Et n'oublions pas qu'il est essentiel dans ce cadre de respecter la **vision artistique**.



Installation au Centre Pompidou en 2016  
Courtoisie de l'artiste et de la Galerie Chantal Crousel, Paris / Crédits photo : Out of Pluto



Installation à la Galerie Chantal Crousel en 2016  
Courtoisie de l'artiste et de la Galerie Chantal Crousel, Paris / Crédits photo : Martin Argyroglo

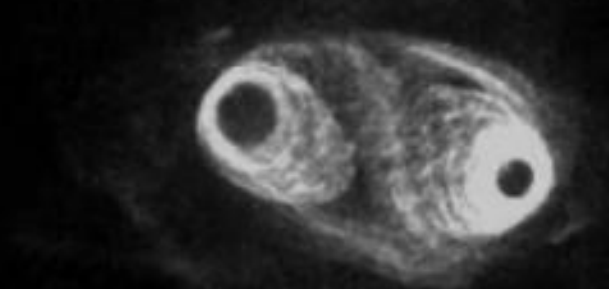


Installation au CRAC Languedoc-Roussillon en 2014  
Courtoisie de l'artiste et de la Galerie Chantal Crousel, Paris / Crédits photo : CRAC LR

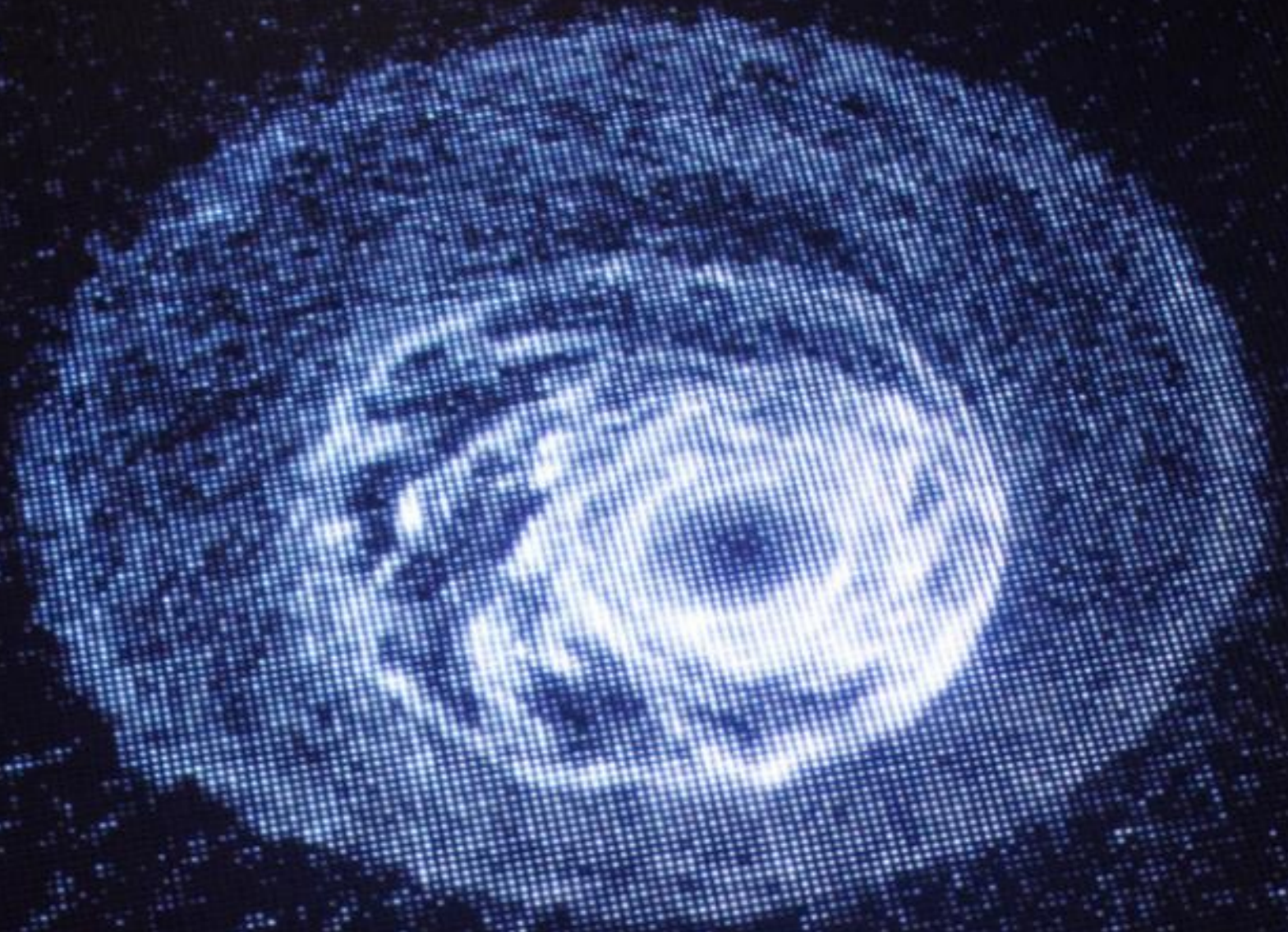


Installation à la Galerie Chantal Crousel en 2016  
Courtoisie de l'artiste et de la Galerie Chantal Crousel, Paris / Crédits photo : Martin Argyroglo









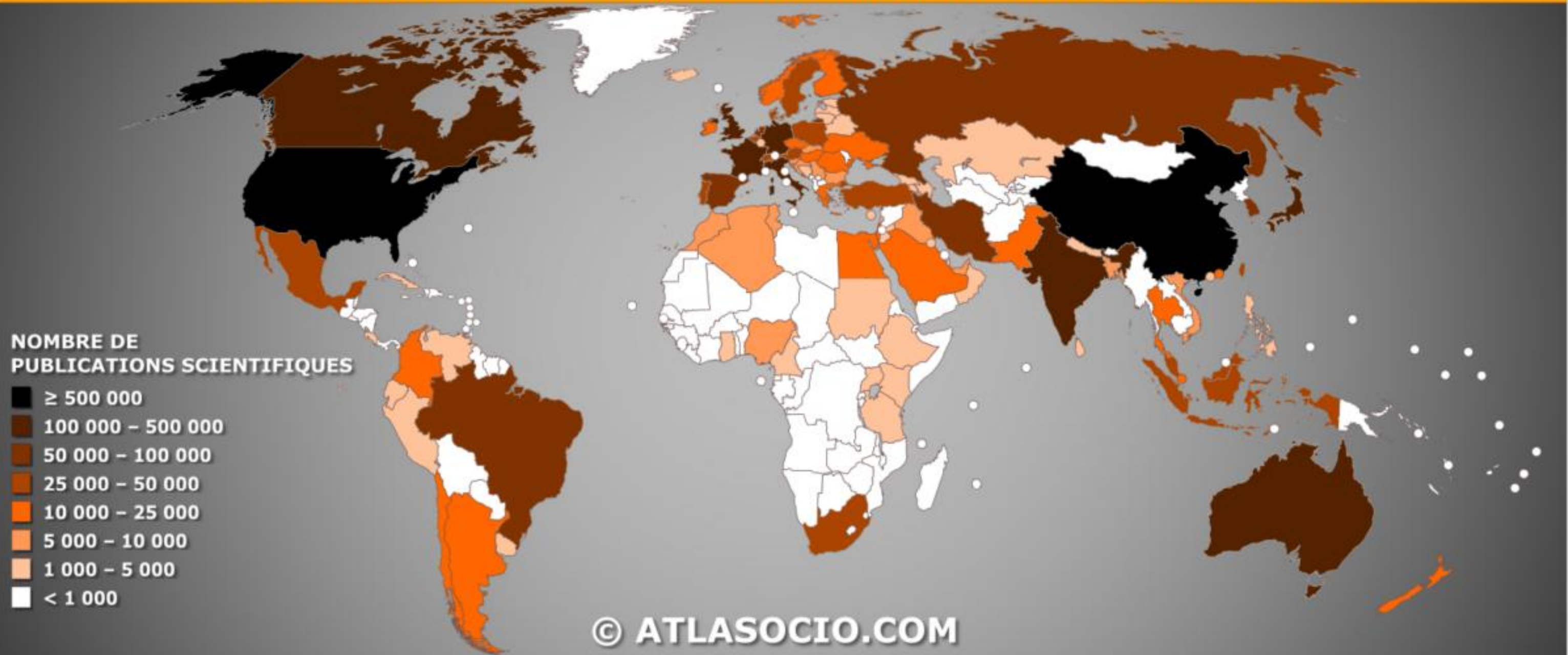
# La littérature scientifique et technique

Quelques chiffres  
Les éditeurs  
Les articles et l'IA



# Un aperçu

## PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PAR ÉTAT ET TERRITOIRE EN 2018



© ATLASOCIO.COM

Source : SCImago, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

# Quelques chiffres

Quelques chiffres d'une des principales publications mondiales, *Springer Nature* :

- ~17% du marché de la publication.
- Plus de **4 millions d'articles entre 2005 et 2021**. Dont environ **25% en libre accès**.
- 2,5 millions d'auteurs.
- 2,6 millions de téléchargements entre 2016 et 2021.
- 40% des articles en accès libre publiés en Europe.
- 34% des articles en accès libre téléchargés en Asie.

Chiffres de la plateforme *Research Gate* :

- +160 millions de pages de publications
- +75 mille pages de journaux
- 25 millions de membres

Articles sur Z-lib :

- +84 837 643 articles



# Collision de galaxies

Qu'est-ce qu'une galaxie, comment est-elle structurée ?

Andromède et la Voie Lactée ?

Quelles sont les interactions gravitationnelles à mettre en jeu ?

Comment simuler ces interactions ?

Quelle physique et quelles mathématiques utiliser ?

Existe-t-il déjà des algorithmes ?

# Collision de galaxies

Qu'est-ce qu'une galaxie, comment est-elle structurée ?  
Andromède et la Voie Lactée ?  
Quelles sont les interactions gravitationnelles à mettre en jeu ?  
Comment simuler ces interactions ?  
Quelle physique et quelles mathématiques utiliser ?  
Existe-t-il déjà des algorithmes ?

## Base de 2014

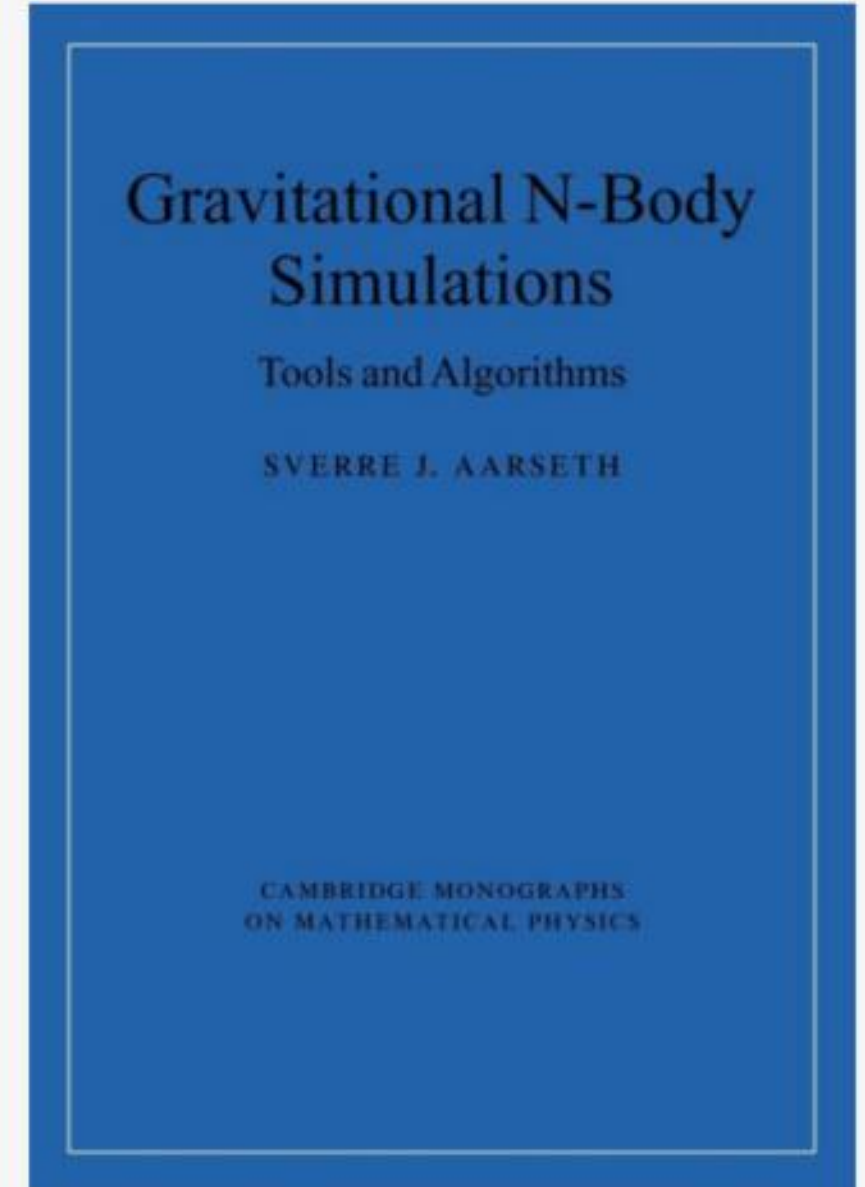
Bertschinger & Gelb 1991, *Cosmological N-Body Simulations*

**Aarseth et al 2003, *Gravitational N-Body Simulations, Tools and Algorithms***

Aarseth 2011, *NBODY Codes: Numerical Simulations of Many-body (N-body) Gravitational Interactions*

Baillard et al. 2011, *The EFIGI catalogue of 4458 nearby galaxies with detailed morphology*

Makarova et al. 2014, *3D structure of nearby groups of galaxies*





# La galaxie d'Andromède M31



# La Voie Lactée





# Simulation numérique

Le summum de la simulation numérique en astrophysique en 2015 :

Le Barcelona SuperComputing Center, Mare Nostrum et les simulations HORIZON





# Simulation N-corps

duction

possible to define arbitrary interaction force  
Particle-Particle Interaction feature. This tutorial mo  
particle-particle interaction force, the force due to gravitatio

## Model Definition

For each planet comprising the galaxy the following ordinary differential equation  
solved:

$$\frac{d}{dt}(m_i \mathbf{v}_i) = \mathbf{F}_i$$

where the force on the  $i$ th particle is given by:

$$\mathbf{F}_i = -Gm_i^2 \sum_{j=1}^N \frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|^3}$$

$N = 10^6$

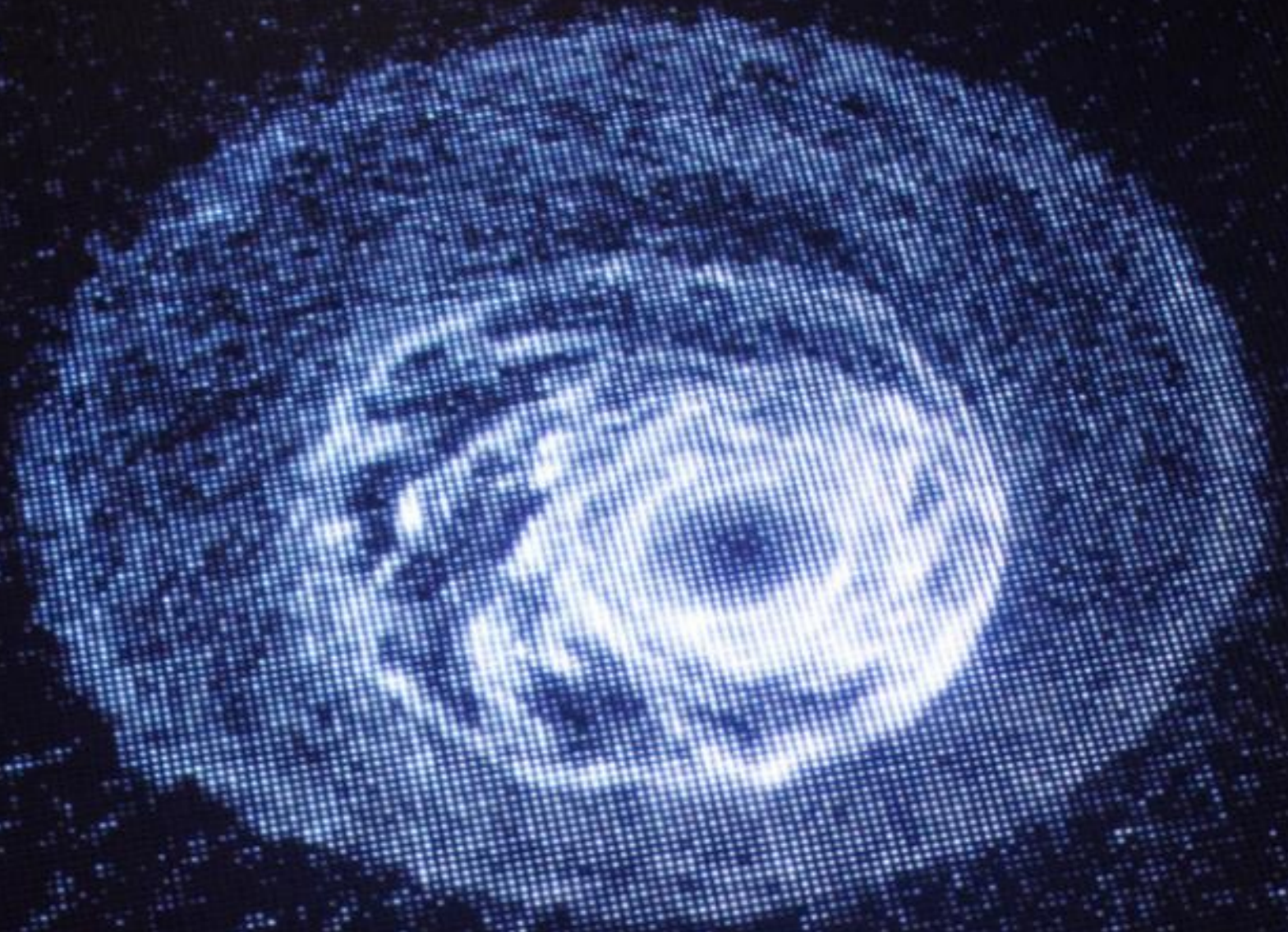
$\alpha(n^2)$

$10^{26}$  3 bodies  
(2) per file  
for 1, 10, 100

$G$  is the gravitational constant and  $m_i$  is the mass of the  $i$ th planet. The mass of  
same in this model. The variable  $\mathbf{r}_i$  is the position vector of particle:  
vector of particle  $j$ .

a rigid body with initial position vector:  
 $q_{x,i} = \frac{1}{2} + R \cos \theta$





# Les données et les modèles

La démarche scientifique  
Les données  
Les modèles



# Les données (brutes)

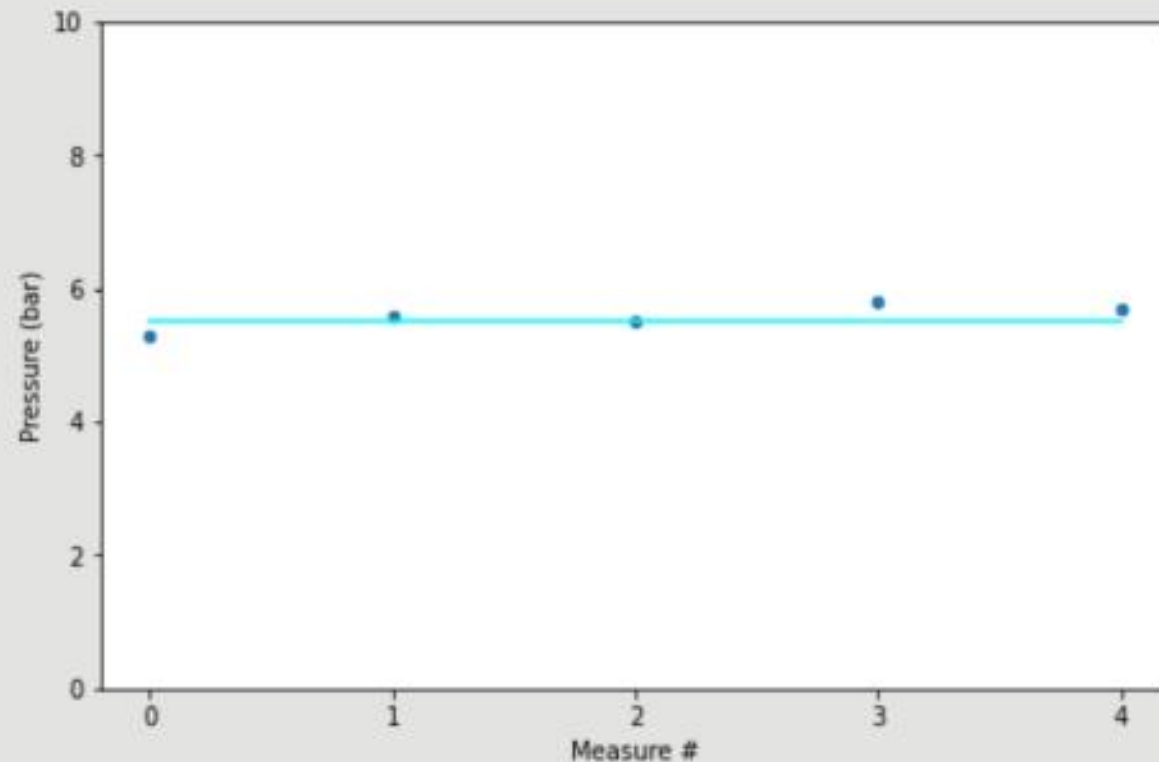
Une donnée n'a aucune valeur :

- Sans unité
- Sans estimation de sa qualité (mesure d'erreur, environnement)

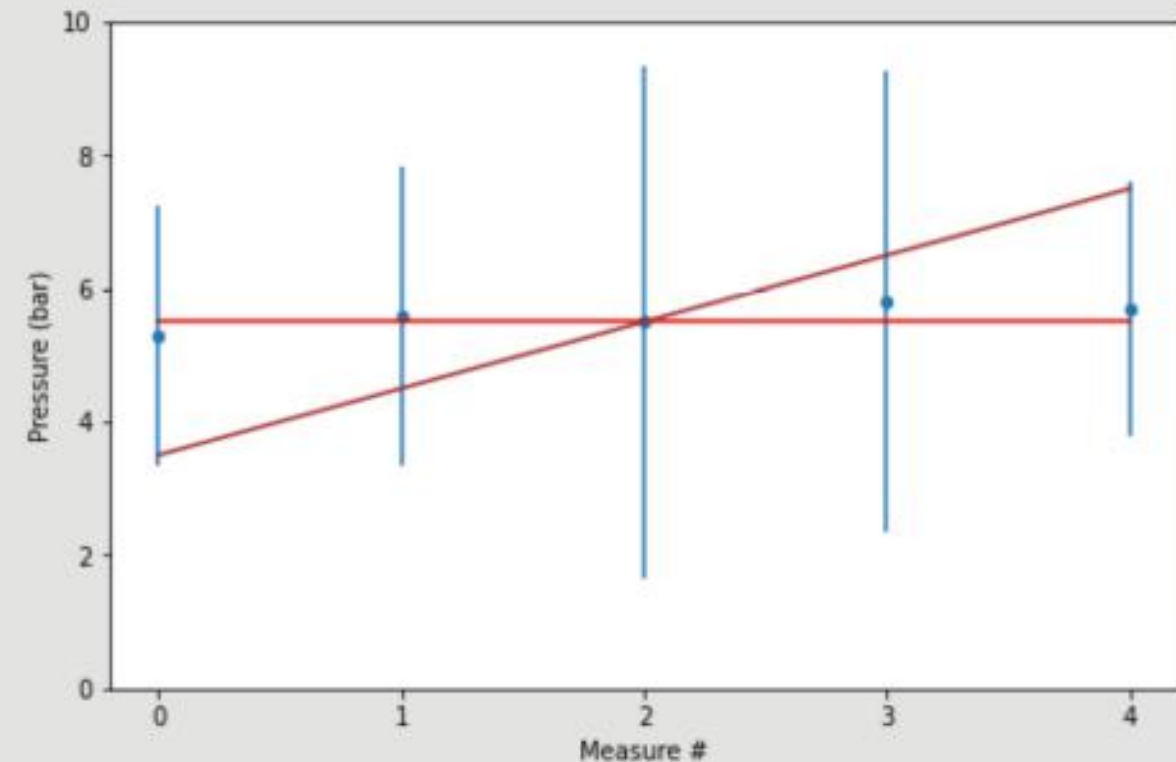
Les données peuvent avoir différents usages : statistiques, modélisation/validation

Elles peuvent être quantitatives ou qualitatives, plus ou moins parcimonieuses, publiques ou non

Pressure sensor measures



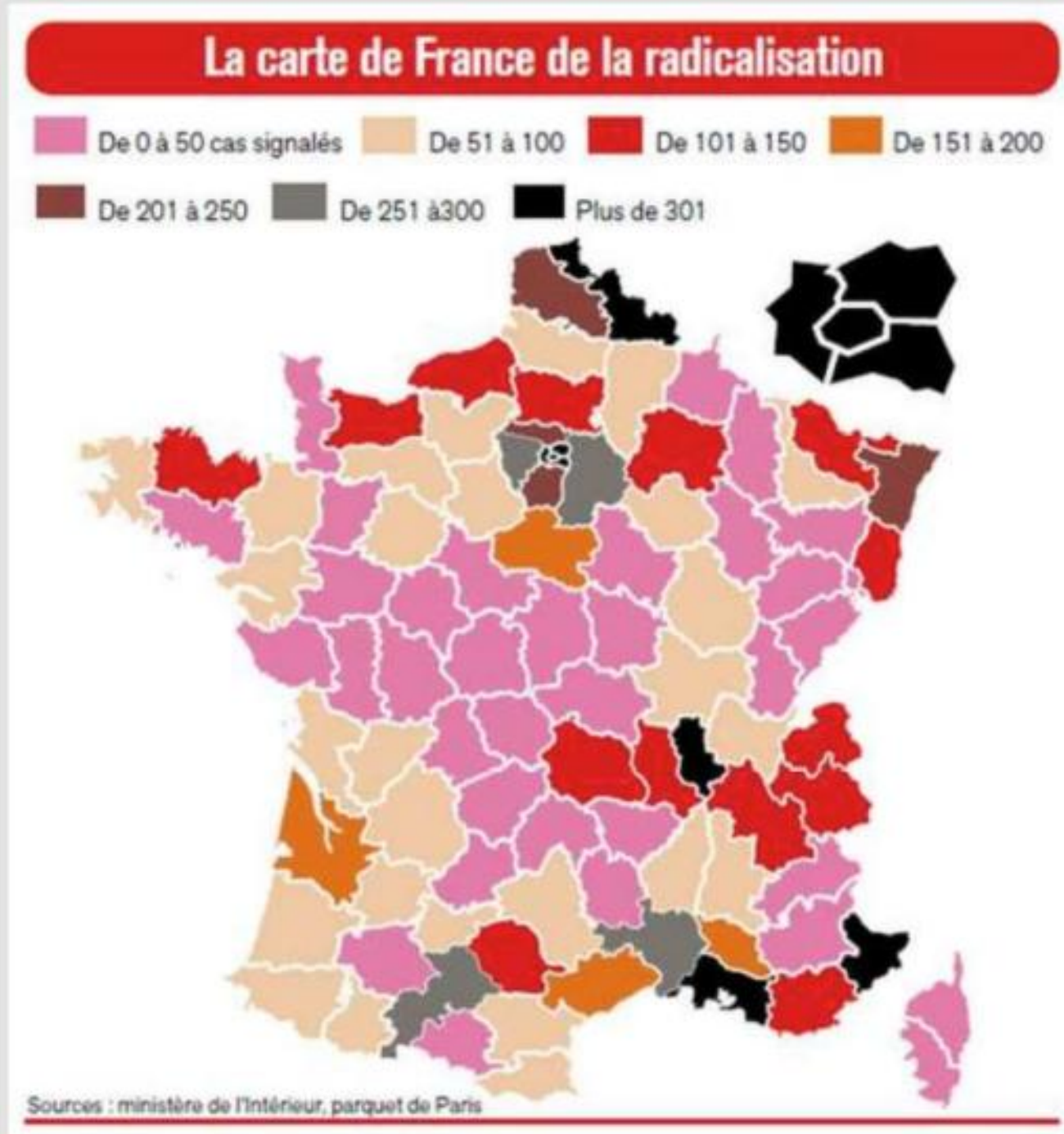
Pressure sensor measures





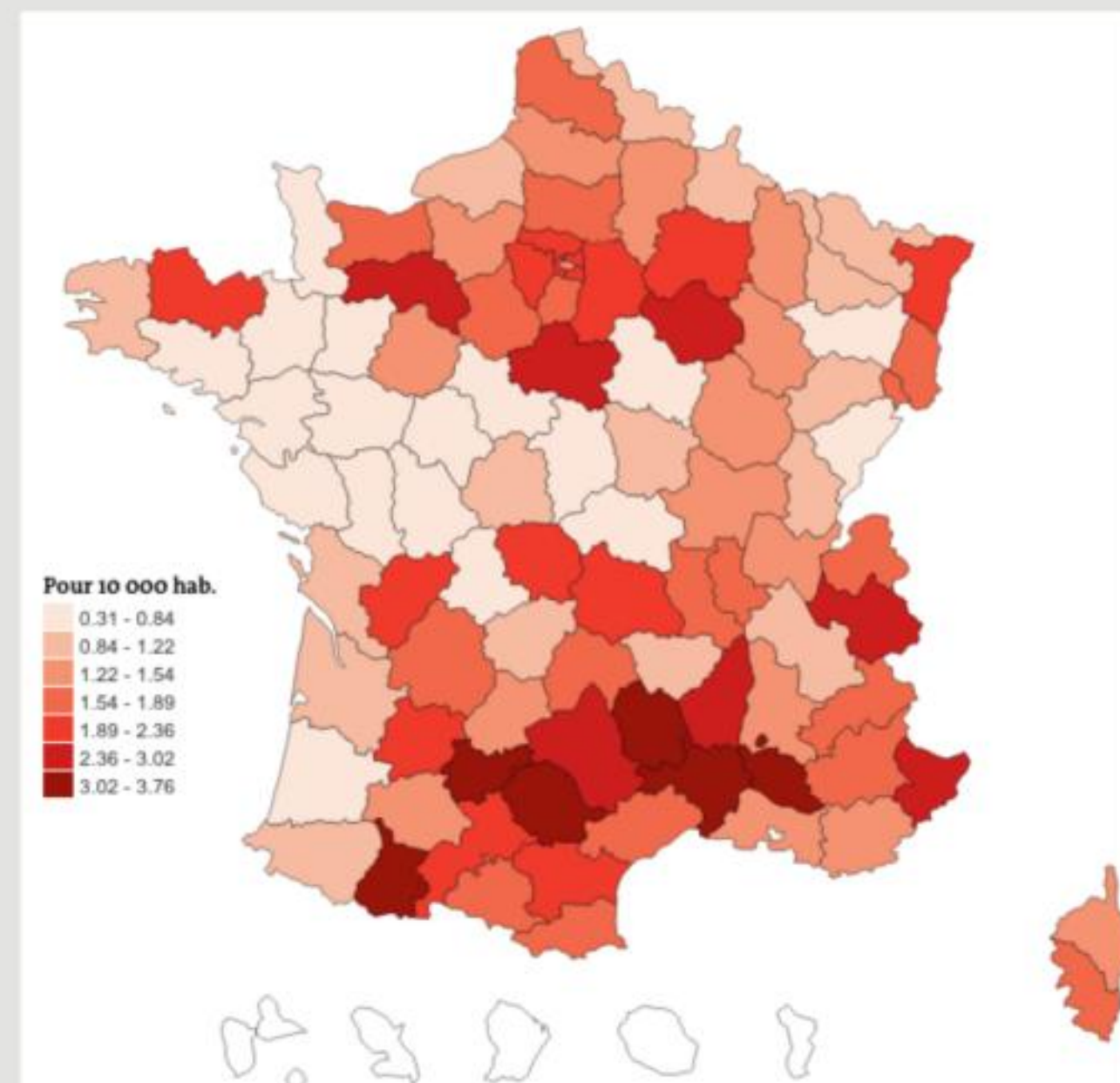
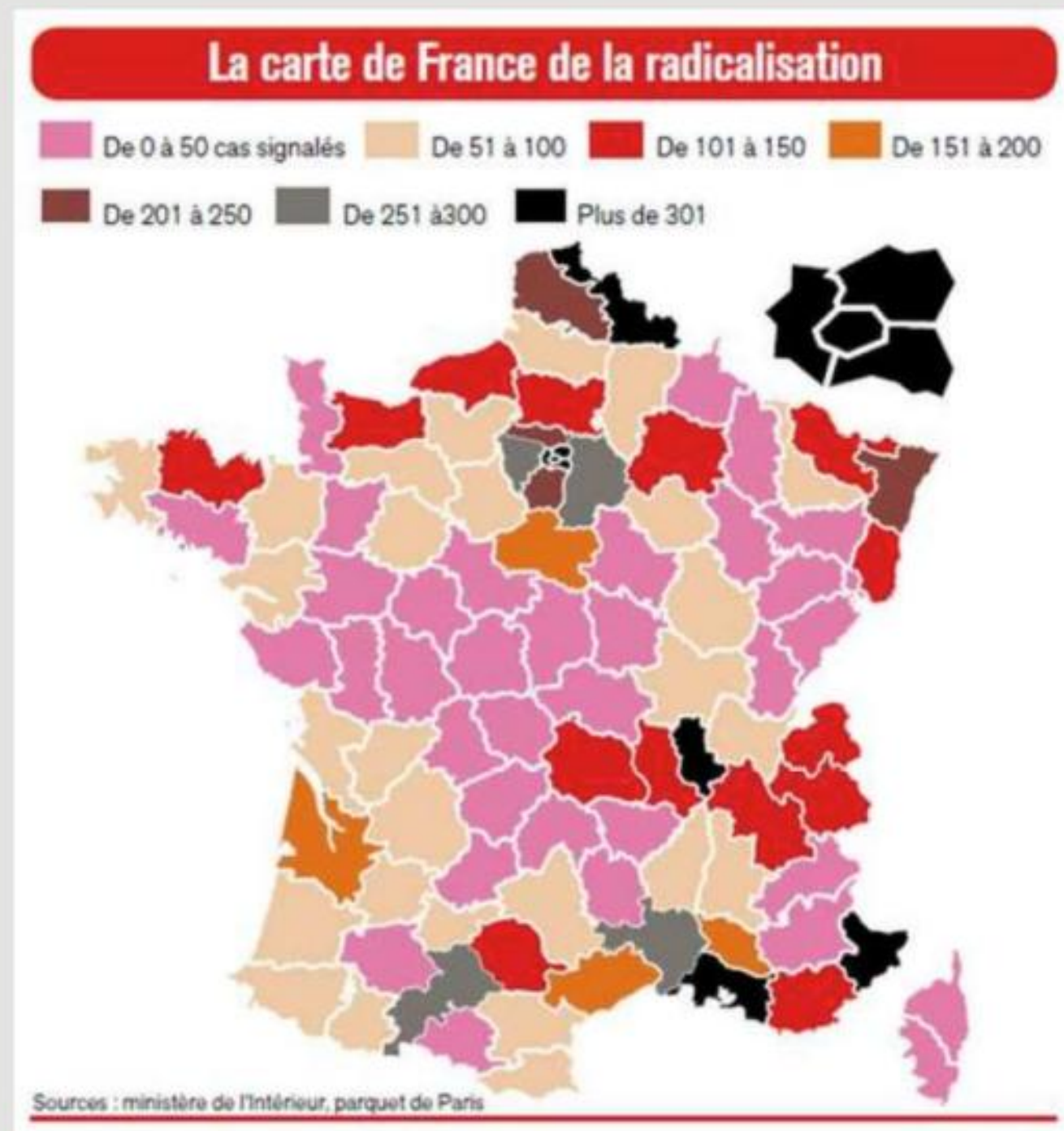
# La représentation des données

Le choix d'un titre et d'une représentation change complètement l'information transmise.



# La représentation des données

Le choix d'un titre et d'une représentation change complètement l'information transmise.





# Big data ?

data.gouv.fr c'est

**47 519**

Jeux de données

**276 291**

Fichiers

**3 702**

Réutilisations

**114 126**

Utilisateurs

**4 926**

Organisations

**13 089**

Discussions

Le LHC stocke plus de 30 pétaoctets (3 millions de Go) par an.

Plus de 500 millions de tweets sont publiés chaque jour sur Twitter/X.

D'ici 2025, la quantité de données générées chaque jour dépassera 400 exaoctets (400 000 pétaoctets).

D'ici 2025, la quantité totale de données dans la *datasphere* atteindra 175 zettaoctets (175 000 exaoctets).

# Les modèles

Les modèles sont des ensembles de paramètres, d'équations et d'algorithmes permettant d'obtenir de la connaissance à partir de données.

Exemples :

- Modèles prédictifs (CMIP, LAPD Pred-Pol)
- Modèles physiques (la gravité, la relativité)
- Modèles de reconstruction (architecture et LIDAR)
- Modèles de langages (text-to-speech, chatGPT)

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

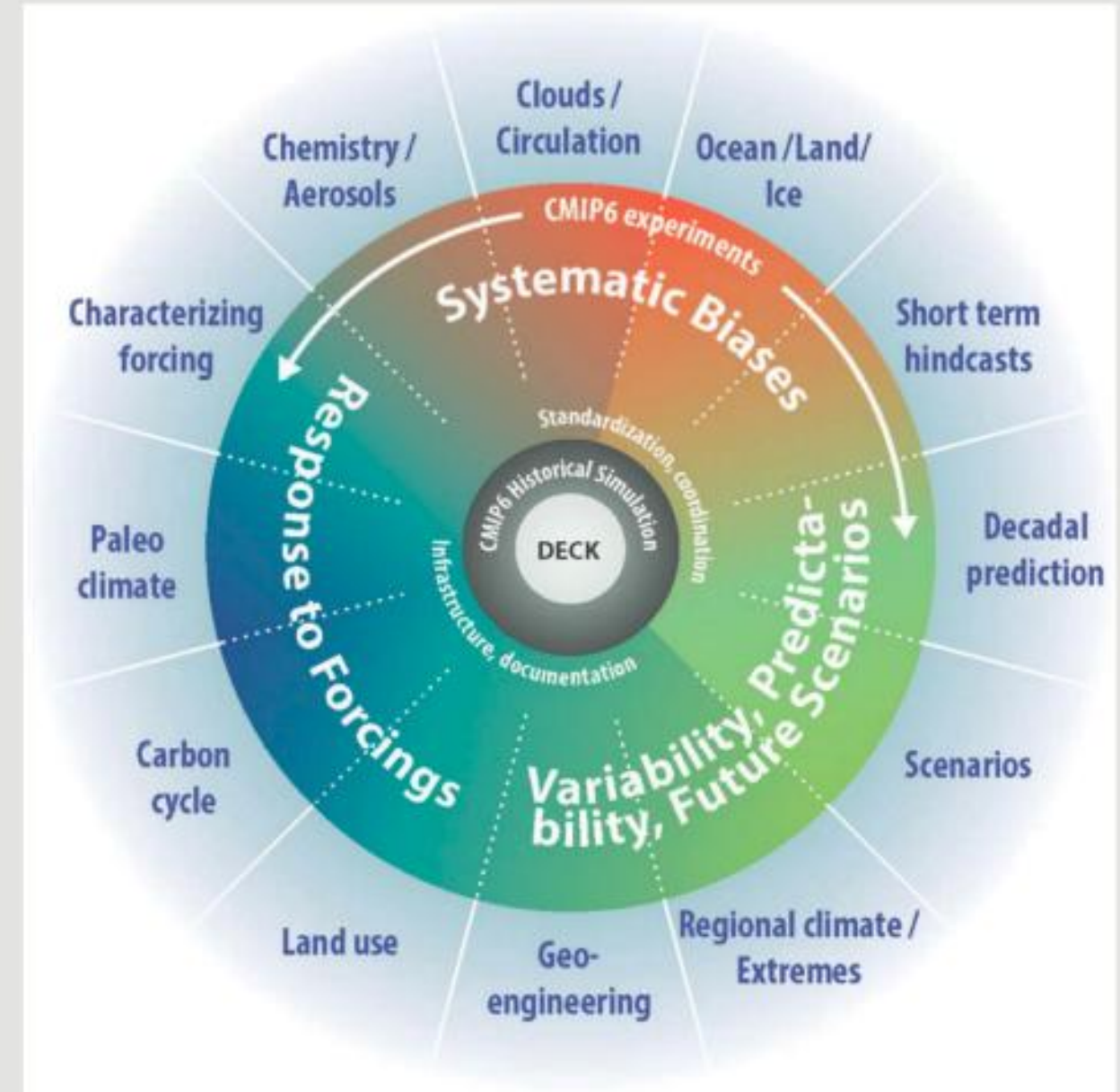
$m_1$  la masse du corps ponctuel 1 (kg)

$m_2$  la masse du corps ponctuel 2 (kg)

$d$  la distance entre  $m_1$  et  $m_2$  (m)

$F$  la force de gravitation (N)

$G$  la constante gravitationnelle ( $\sim 6,67 \times 10^{-11} \text{N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ )



Source : <https://wcrp-cmip.org/>

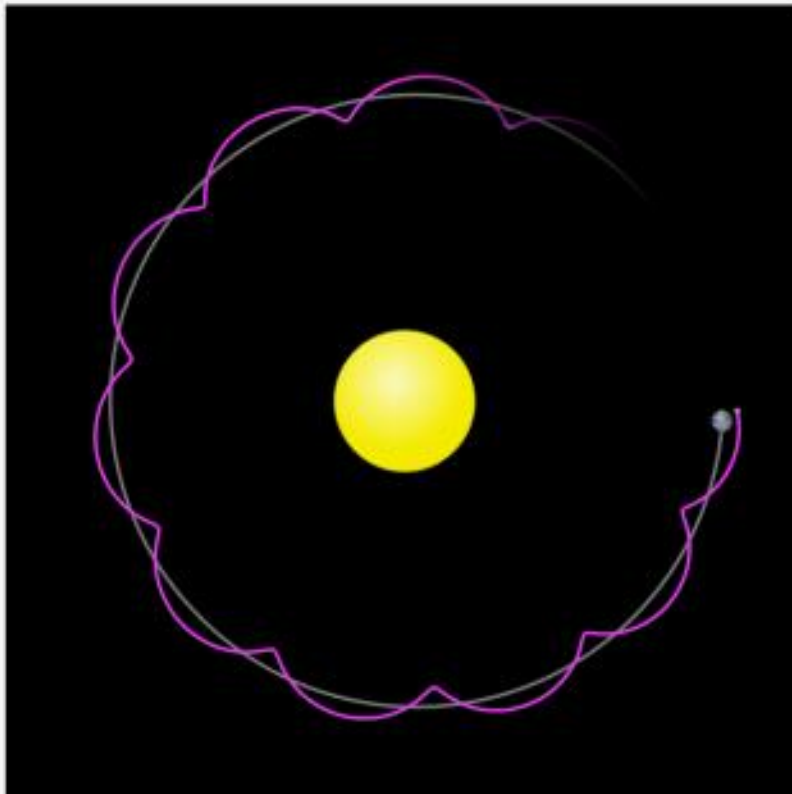


# Simulation N-corps

Simulation d'un ensemble de particules soumises à la gravité, dite simulation N-corps (N-body en anglais).

Le problème est le suivant

Etant données les positions et vitesses initiales de  $n$  particules subissant des forces d'interaction par paires, simuler le mouvement de ces particules pour déterminer leurs positions dans le futur.



Exemple avec 3 corps :  
le Soleil  
la Terre et  
la Lune

# Les données de *Modelling Poetry*

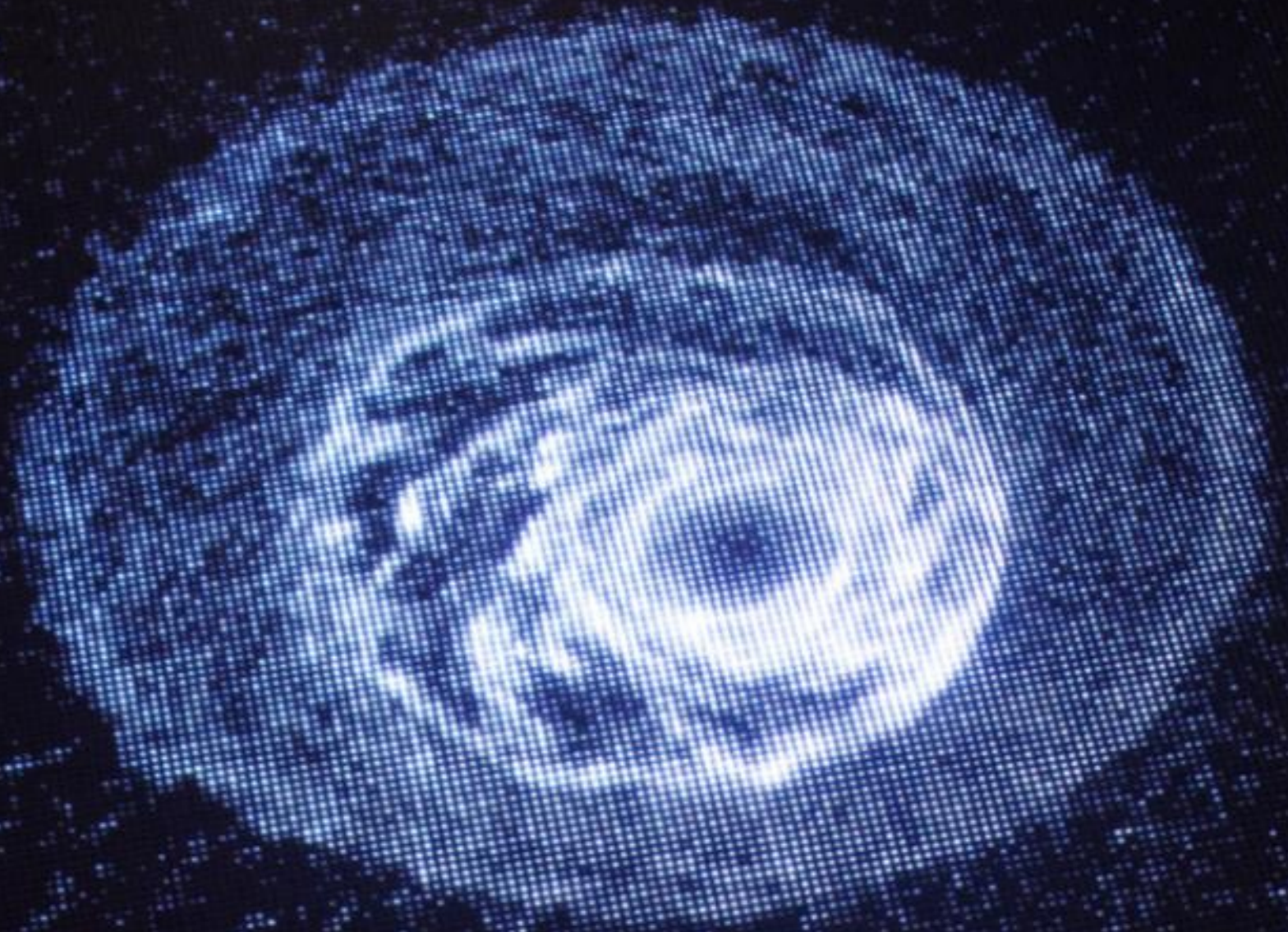
Le paramétrage de la situation de départ nous est fourni par les connaissances acquises en astronomie/astrophysique :

	Andromède	Voie Lactée	Rapport
Nombre d'étoiles	$10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	Facteur 10 (4 fois moins d'étoiles)
Masse totale	$10^{12} M_{\odot}$	$0,8 \cdot 10^{12} M_{\odot}$	Facteur 1 (1,25 fois moins massif)
Diamètre	$1,41 \cdot 10^5$ al	$10^5$ al	Facteur 1 (1,4 fois plus petit)
Masse du trou noir	$2 \cdot 10^8 M_{\odot}$	$3,5 \cdot 10^6 M_{\odot}$	Facteur 100 (60 fois moins massif)

Il y a donc environ  $1,25 \times 10^{12} = 1\,250\,000\,000\,000$  particules dans la simulation.

Et donc environ  $8 \times 10^{23}$  calculs d'interaction de paires par itération (sans optimisation).





# Logiciel et matériel

La technologie propriétaire  
La technologie libre



# La ressource informatique

Le code informatique et la documentation.

Les quatre libertés logicielles :

- exécution du logiciel pour tout type d'utilisation
- accès au code source
- distribution de copies
- modification du code source

Extension aux autres domaines technologiques et informatiques :  
*software, middleware, firmware, hardware*  
(processeurs, périphériques, pilotes)

·点击硬件，出现如图对话框：



图表 24



# La technologie propriétaire

*La technologie propriétaire englobe un large éventail d'innovations, y compris les logiciels, le matériel, les algorithmes et les processus. Elle se caractérise par son caractère unique et l'avantage concurrentiel qu'elle procure à son propriétaire. Contrairement à la technologie à source ouverte, la technologie propriétaire n'est pas librement disponible pour une utilisation ou une modification par le public.*

Source : <https://www.vornews.com/what-is-proprietary-technology/>

- Propriété intellectuelle
- Brevets et licences
- Compétitivité
- Monopoles ou positions dominantes

# La technologie propriétaire

La technologie propriétaire est une innovation, y compris les logiciels, le matériel, les algorithmes et les procédés, qui est protégée par des droits de propriété intellectuelle à son propriétaire. Cette technologie propriétaire n'est pas librement disponible pour une utilisation non autorisée.

Source : <https://www.>

Propriété intellectuelle  
Brevets et licences  
Compétitivité  
Monopoles ou...



# L'open hard/software

	Schematics & gerber published	Free to copy & modify	Business friendly license	Open processor & drivers	Industry Usage
Raspberry Pi	YES	NO – Proprietary	NO – Proprietary	Proprietary (Broadcom)	Demos & technology testing
mBed HDK	YES	NO – Proprietary	NO – Proprietary	Proprietary (ARM)	ARM dev kit
Arduino	YES	YES	CC share-alike*	Atmel + Arduino certified procs	Build open source product upon it
BeagleBoard	YES	YES	CC share-alike*	Proprietary (TI)	Build open source product upon it
Particule (Spark)	YES	YES	CC share-alike*	Proprietary variants (TI, ...)	Build open source product upon it
Tessel	YES	YES	CC share-alike*	Proprietary (ARM)	Build open source product upon it
openPicus	Partly (no gerbers)	YES	Yes – CC attribution	FlyPort interface OSS framework	Build commercial product upon it
mangOH	YES	YES	Yes – CC attribution	CF3 socket OSS framework	Build commercial product upon it

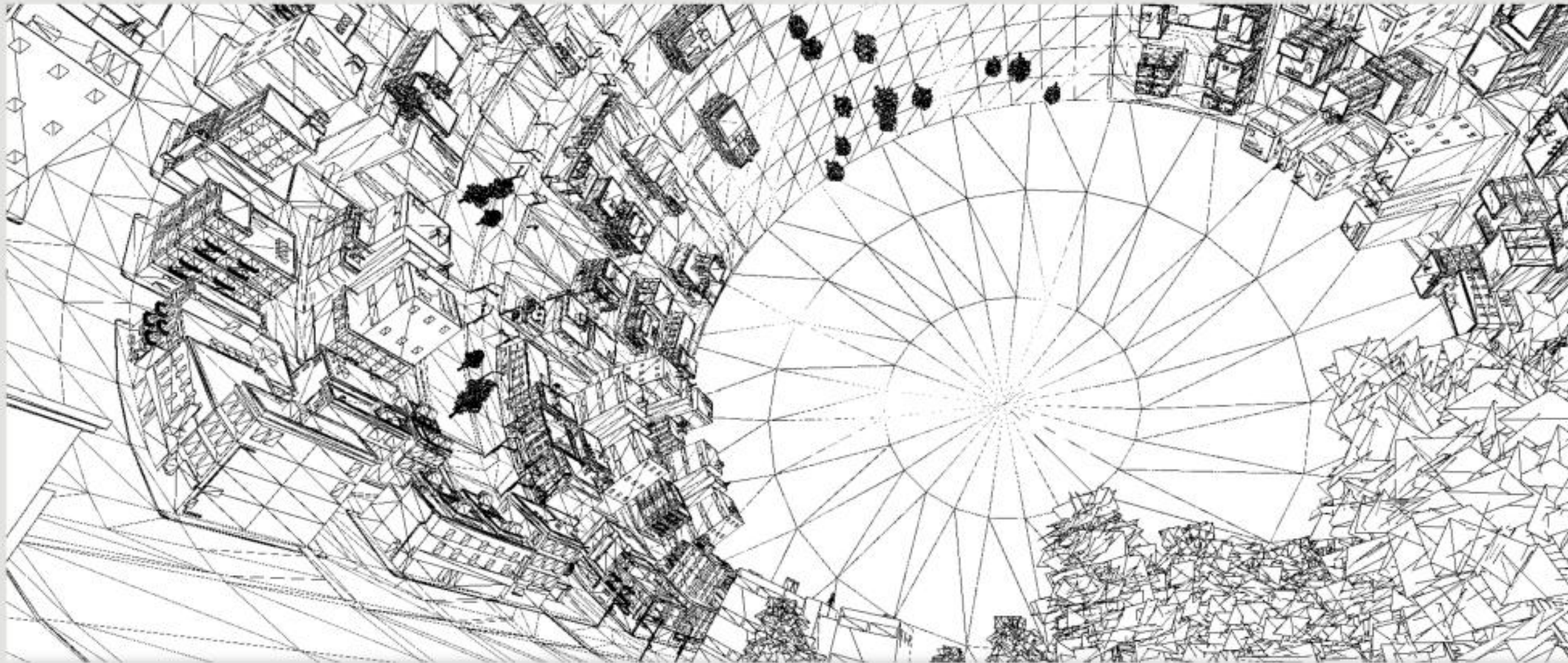


# Processing

*Processing is an open project initiated by Ben Fry and Casey Reas. It is developed by a team of volunteers around the world.*

<https://processing.org/>

Initialement orienté vers l'apprentissage des fondamentaux de la programmation dans un contexte visuel : *visual artists.*



Source : <https://openprocessing.org/sketch/2112512>



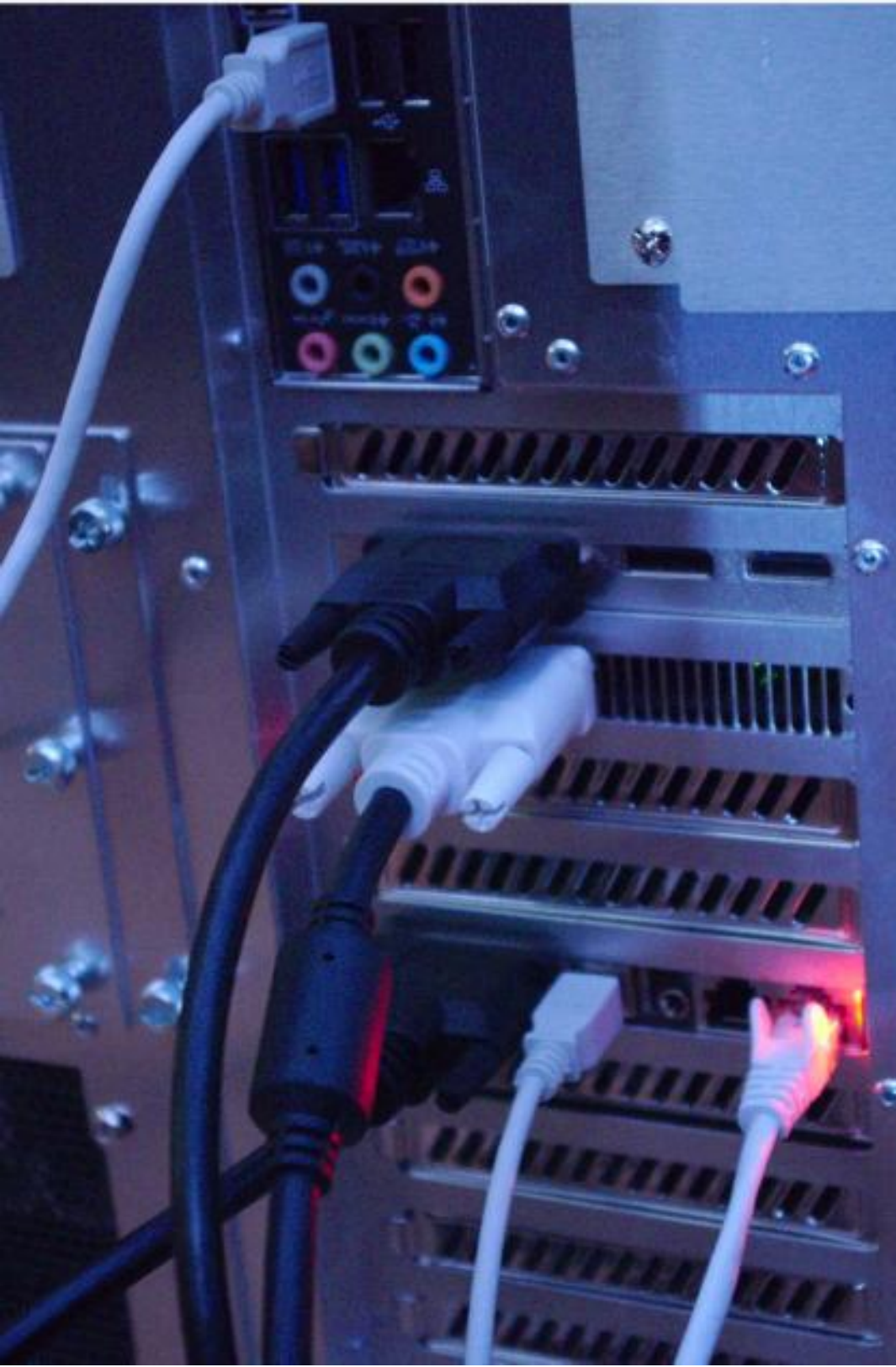
# L'écran de LED

Deux prestataires successifs sont intervenus pour les 3 versions de l'œuvre.  
Les deux sont des distributeurs de la technologie LINSN LED <https://www.linsnled.com>





# L'écran de LED



## Contexte

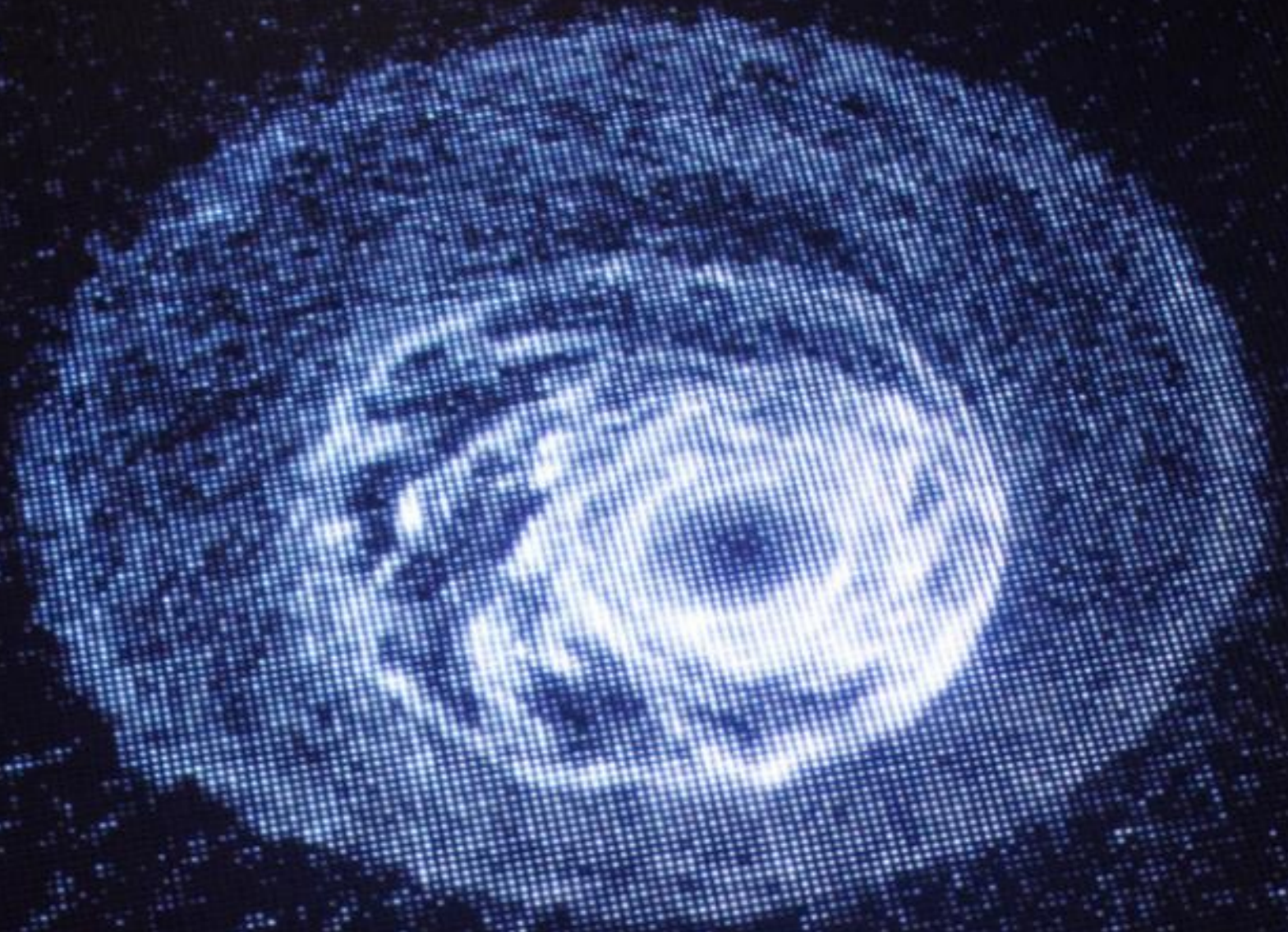
- Prestataire spécialisé
- Carte graphique dédiée
- OS imposé (Windows 🤒)
- Logiciel fermé (LEDStudio)
- Assemblage et configuration
- Fichiers de configuration binaires

## Maintenabilité

- Coûts élevés
- Autonomie quasi nulle
- Forte dépendance à un produit et un fournisseur
- Risques d'obsolescence

```
87654321 0011 2233 4455 6677 8899 aabb ccdd eeff 0123456789abcde
00000000: 2602 1320 0100 0000 0000 0000 0100 0000 &.. .....
00000010: 0100 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000020: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000030: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000040: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000050: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000060: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000070: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000080: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
00000090: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
000000a0: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
000000b0: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
000000c0: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 .....
000000d0: 0000 0000 0100 ffff 0000 0e00 4353 6372 .....CSc
000000e0: 6565 6e43 6f6e 6e65 6374 2602 1320 6400 eenConnect&.. d
000000f0: 0000 6400 0000 6400 0000 6400 0000 3200 ..d...d...d...2
00000100: 0000 0000 0000 0100 0000 0000 0000 0100 .....
00000110: 0000 0000 0000 0080 0000 0000 0000 1508 .....
00000120: 0000 0000 0000 0100 0100 0100 0200 0300 .....
00000130: 0300 0400 0500 0600 0600 0700 0800 0900 .....
00000140: 0a00 0b00 0c00 0d00 0e00 0f00 1000 1100 .....
00000150: 1200 1400 1500 1600 1700 1800 1900 1b00 .....
00000160: 1c00 1d00 1e00 2000 2100 2200 2400 2500 .....!. "$.%
00000170: 2700 2800 2900 2b00 2c00 2e00 2f00 3100 '. (.).+,.../.1
00000180: 3200 3400 3500 3700 3900 3a00 3c00 3e00 2.4.5.7.9...<.>
00000190: 3f00 4100 4300 4500 4600 4800 4a00 4c00 ?.A.C.E.F.H.J.L
000001a0: 4e00 5000 5200 5400 5600 5800 5a00 5c00 N.P.R.T.V.X.Z.\
000001b0: 5e00 6000 6200 6400 6700 6900 6b00 6d00 ^.`.b.d.g.i.k.m
000001c0: 7000 7200 7500 7700 7a00 7c00 7f00 8100 p.r.u.w.z.|...
000001d0: 8400 8600 8900 8c00 8f00 9100 9400 9700 .....
000001e0: 9a00 9d00 a000 a300 a600 a900 ac00 af00 .....
000001f0: b300 b600 b900 bd00 c000 c300 c700 ca00 .....
00000200: ce00 d200 d500 d900 dd00 e100 e400 e800 .....
00000210: ec00 f000 f400 f800 fd00 0101 0501 0901 .....
00000220: 0e01 1201 1701 1b01 2001 2401 2901 2e01 .....$.)..
00000230: 3201 3701 3c01 4101 4601 4b01 5001 5601 2.7.<.A.F.K.P.V
00000240: 5b01 6001 6501 6b01 7001 7601 7c01 8101 [.`.e.k.p.v.|..
00000250: 8701 8d01 9301 9901 9f01 a501 ab01 b101 .....
00000260: b701 bd01 c401 ca01 d101 d701 de01 e501 .....
00000270: ec01 f301 f901 0002 0802 0f02 1602 1d02 .....
00000280: 2502 2c02 3402 3b02 4302 4b02 5202 5a02 %.,.4.;.C.K.R.Z
00000290: 6202 6a02 7302 7b02 8302 8b02 9402 9c02 b.j.s.{.....
000002a0: a502 ae02 b602 bf02 c802 d102 da02 e402 .....
000002b0: ed02 f602 0003 0903 1303 1c03 2603 3003 .....&.0
000002c0: 3a03 4403 4e03 5803 6303 6d03 7803 8203 :.D.N.X.c.m.x..
000002d0: 8d03 9803 a203 ad03 b803 c403 cf03 da03 .....
000002e0: e503 f103 fd03 0804 1404 2004 2c04 3804 .....8
000002f0: 4404 5004 5d04 6904 7604 8204 8f04 9c04 D.P.].i.v.....
```





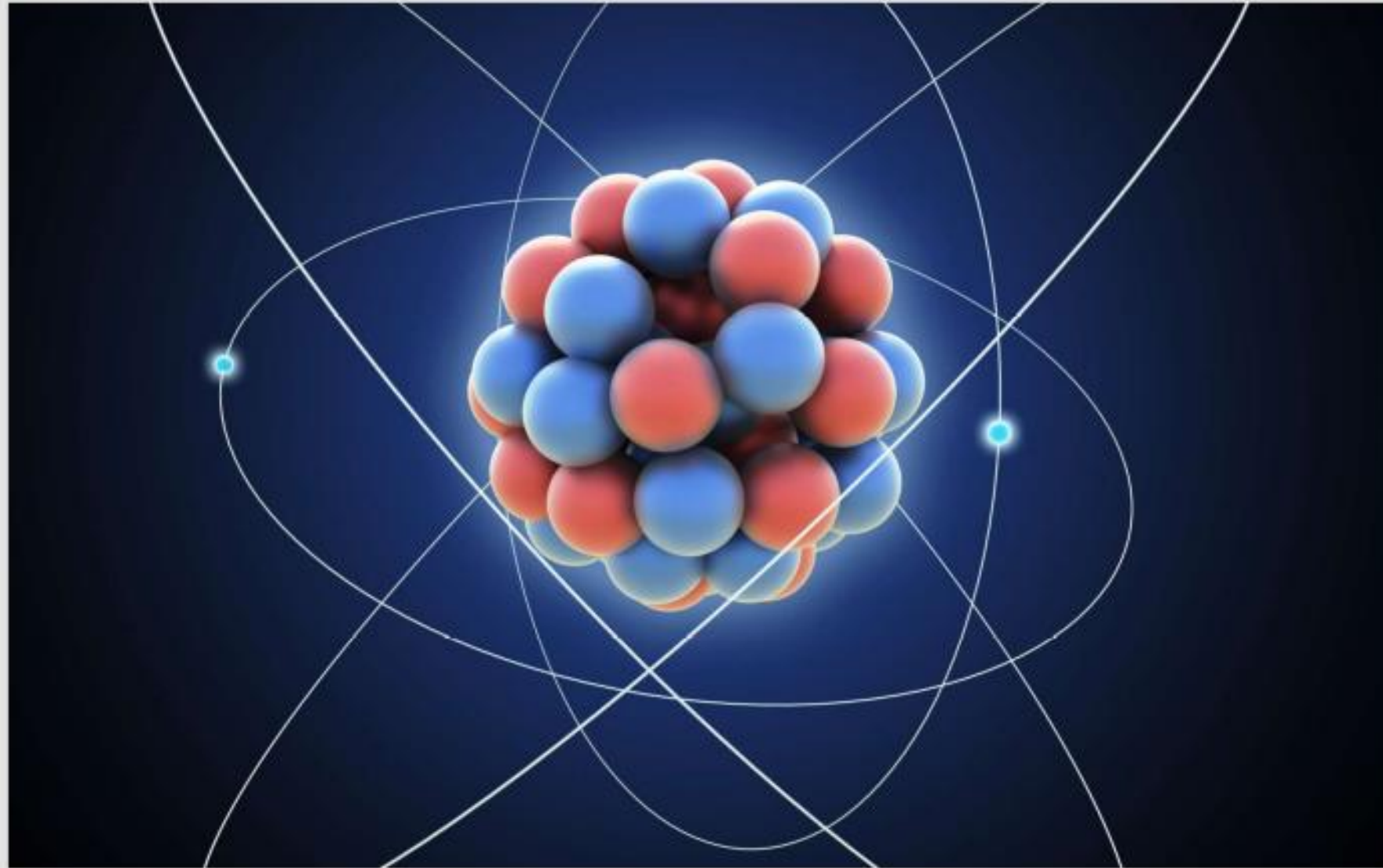
# Conclusion

Les dialogues arts et sciences



# Les dialogues arts et sciences

L'art comme forme de représentation pour la communication scientifique





# Les dialogues arts et sciences

Un propos artistique basé sur de la science



Laurent Grasso, *Solar Wind*, 2016

# Les dialogues arts et sciences

L'utilisation d'outils communs



Les “mélanges” et le “reste”...



# Et Modelling Poetry ?

*Modelling Poetry, an algorithm as a screenplay* est avant toute la vision de Melik Ohanian.

Pour la représenter au mieux, plusieurs "ajustements" ont été concédés à la réalité ou la physique.

- Les galaxies sont présentées toutes les deux de face.
- Les galaxies sont représentées en blanc.
- Les paramètres de vitesse et de position dépendent de l'écran.
- Les trous noirs "fusionnent" rapidement lors de la collision.
- Uniquement des étoiles et un trou noir dans le modèle N-corps.
- Distribution aléatoire des étoiles dans le disque.
- Un seul modèle d'étoile (masse).

Merci !

Questions ?