

# CHAOS

ENS Lyon  
30 janvier 2023

Damien Gayet  
Université Grenoble Alpes

Acte I : **Pax mathematica**

Acte I : **Pax mathematica**

Acte II : **Les problèmes**

**Acte I : Pax mathematica**

**Acte II : Les problèmes**

**Acte III - Les régularités du chaos**

**Acte I : Pax mathematica**

**Acte II : Les problèmes**

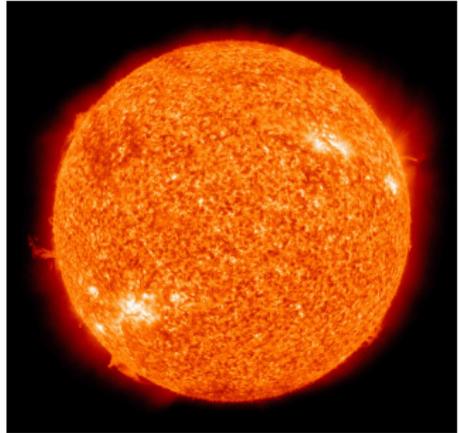
**Acte III - Les régularités du chaos**

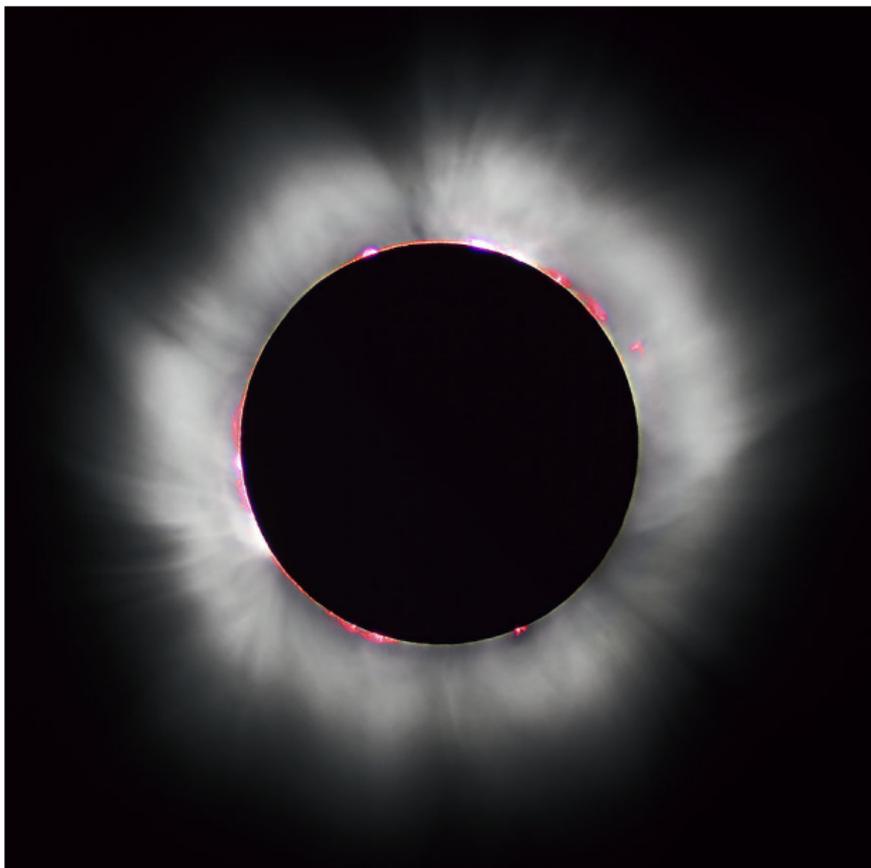
**Bonus track 1 - Du bon usage des sciences dures**

**Bonus track 2 - Poincaré versus Rimbaud**

## Acte I - Pax mathematica







Film *Spin*



Val Camonica (néolithique)



Mandala japonais du 9e siècle



Pierre aztèque (1479) 24 tonnes





Anneau unique (écriture en *black speech*)

# Le cercle parfait

*Apprends donc toutes choses,  
Et aussi bien le coeur exempt de tremblement  
Propre à la vérité bellement circulaire,  
Que les opinions des mortels, dans lesquelles  
Il n'est rien qui soit vrai ni digne de crédit*

Parménide (-520 -450?) *De la nature*

# L'énigme des astres errants

Film *Rétrogradation*





Hipparque (-190 -120) et Ptolémée (90-169)

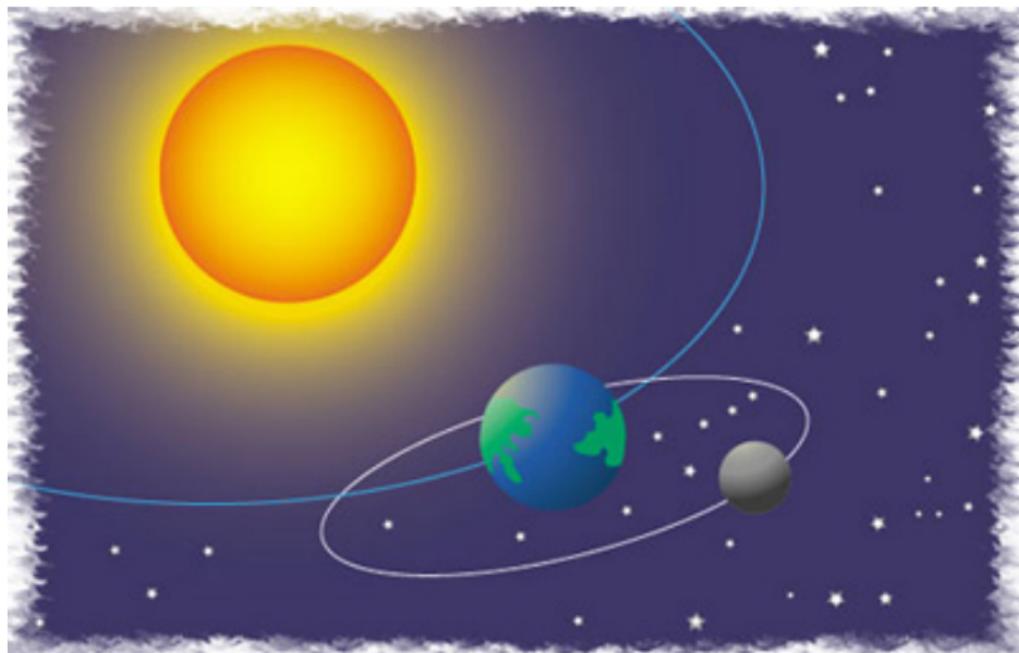
Film *Épicycles*

*Nous croyons que l'objet que le mathématicien doit se proposer et atteindre est le suivant : montrer que tout ce qui apparaît au Ciel est produit par des mouvements circulaires et uniformes.*

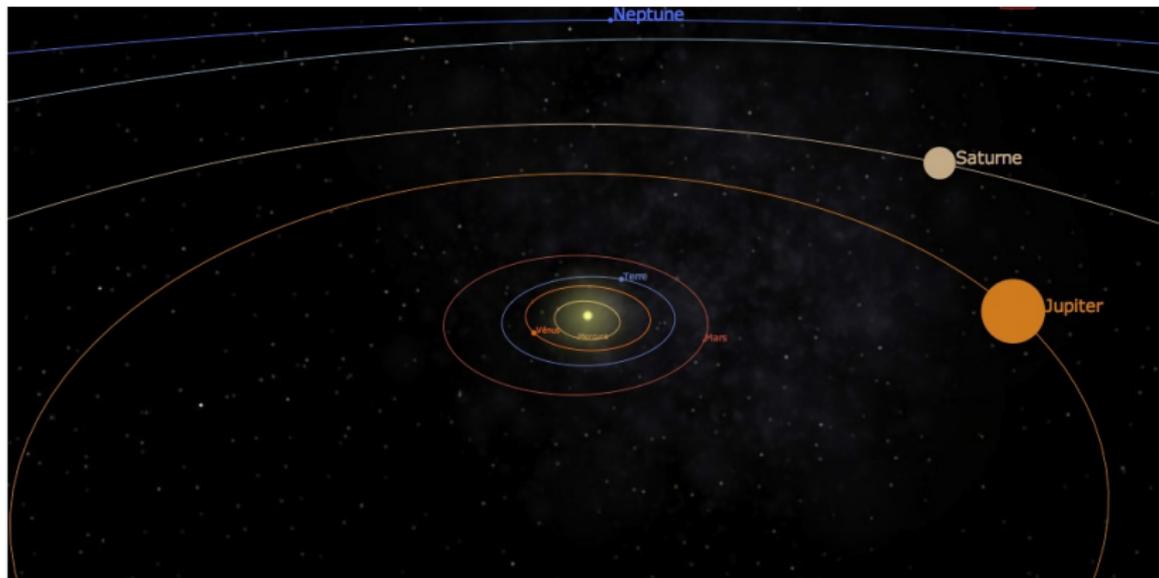
Ptolémée



# Trois corps



# Dix corps



# Le triomphe des mathématiques et du déterminisme



Simon Laplace (1749-1827)

*Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, [...] embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux.*

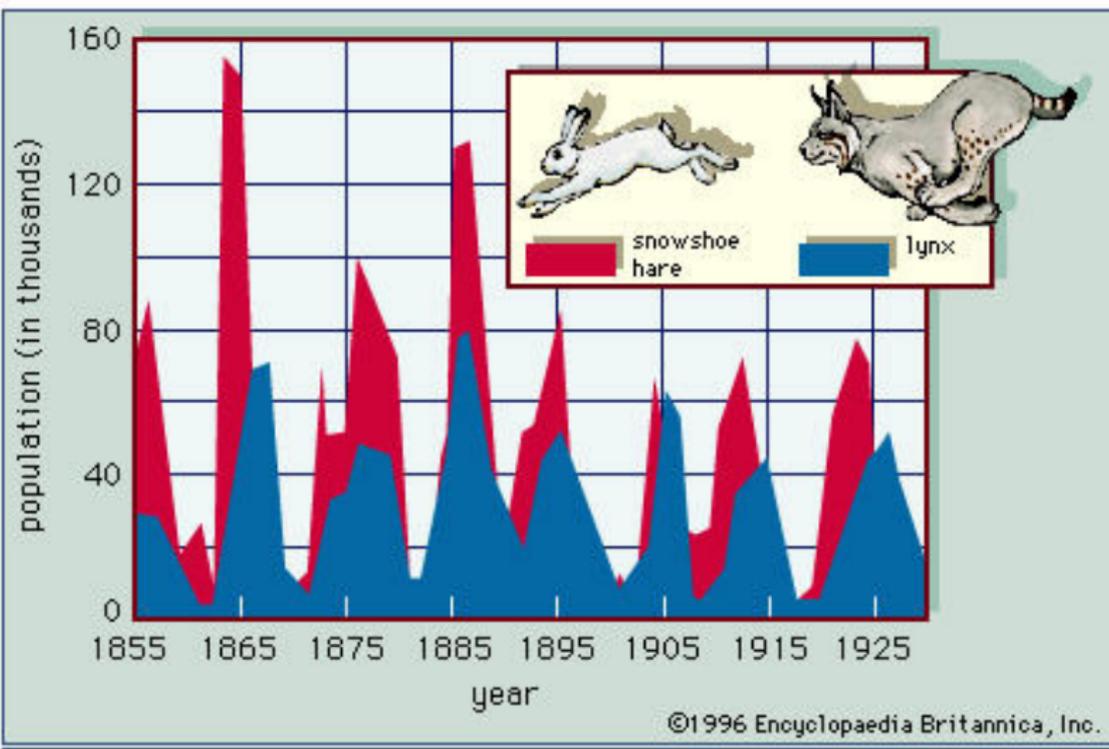
*Essai philosophique sur les probabilités (1814)*













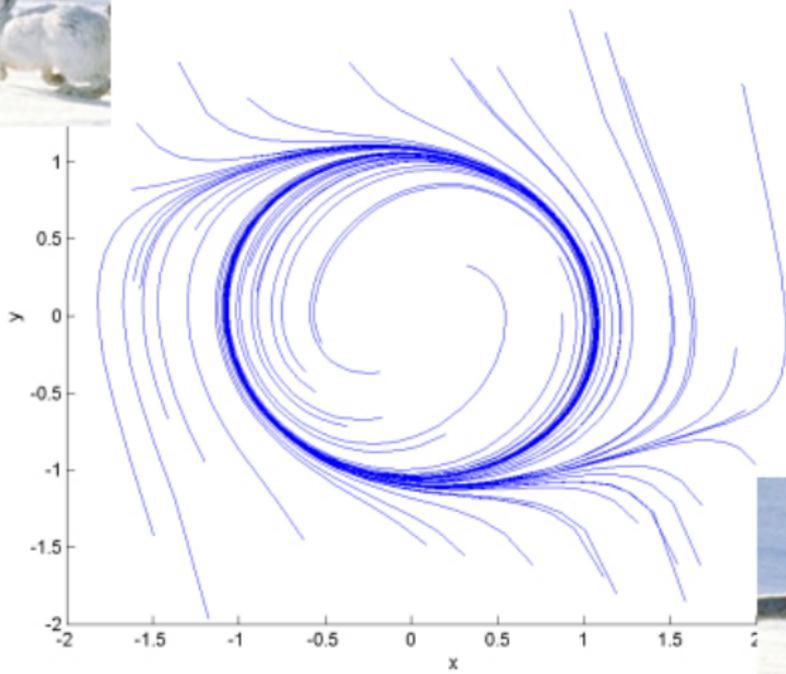
Vito Volterra

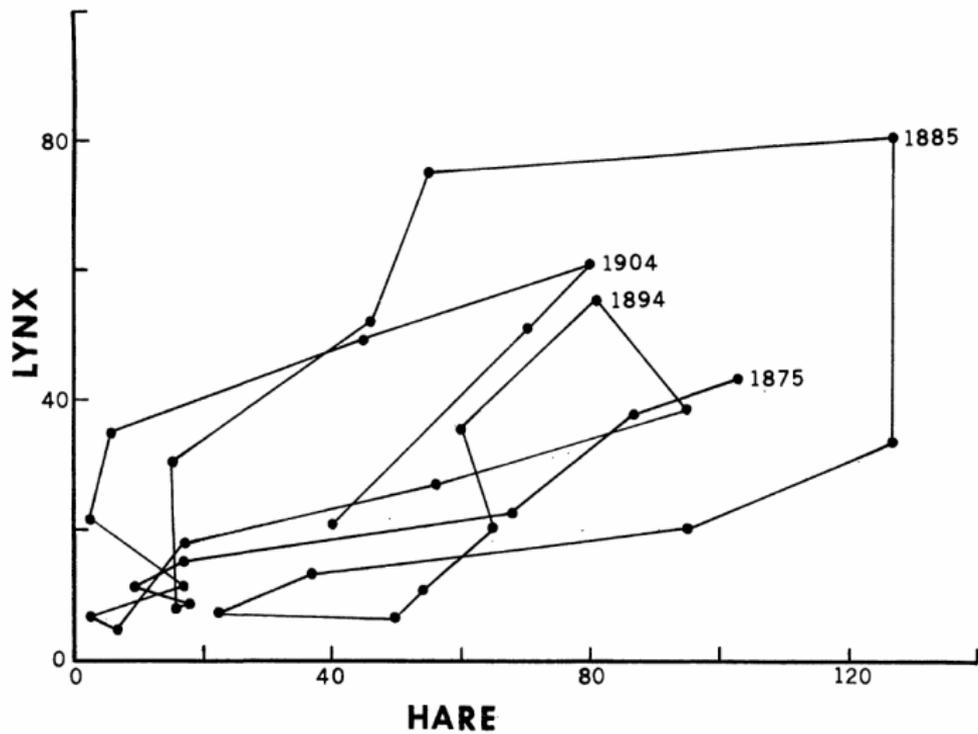
Ancône (États pontificaux)1860 - Rome 1940

- ▶ Famille pauvre juive, père vendeur de chiffon
- ▶ Un obus italien détruit son berceau, sans qu'il soit blessé



- ▶ 1923 : prise de pouvoir de Mussolini
- ▶ 1925 : signe le *Manifeste des intellectuels antifascistes*
- ▶ 1931 : refuse de prêter l'allégeance au pouvoir et doit quitter l'Université de Rome, puis l'Accademia nazionale dei Lincei
- ▶ 1938 : démis de l'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere parce qu'il est juif.





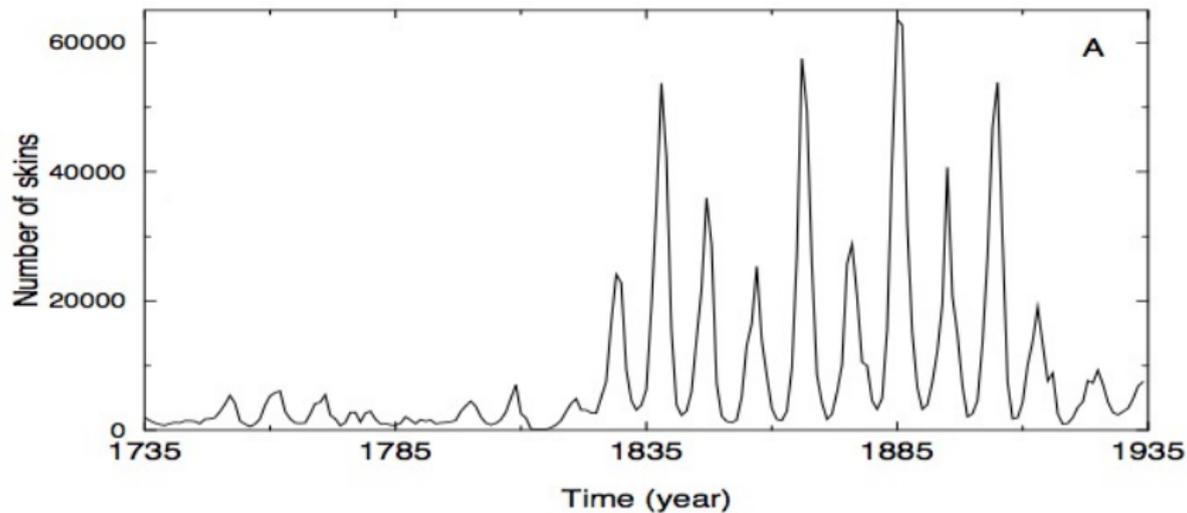
Michael E. Gilpin



# Le déterminisme

- ▶ Des lois mathématisées permettent de déduire le futur du présent
- ▶ Les mouvements périodiques en sont l'incarnation
- ▶ Cette prédiction est d'autant meilleure que l'état du présent est mieux connu
- ▶ *Dans l'idéal*, une petite erreur au présent ne change pas grand-chose dans le futur

# La double danse du lynx



## Acte II - Les problèmes



Fidm *Système solaire*

Film *Laskar 1*







*[...] la nécessité aveugle n'aurait jamais pu obliger toutes les planètes à se mouvoir dans une seule et même direction sur des orbres concentriques [...]. Une telle uniformité admirable dans le système planétaire doit être comprise comme l'effet d'un choix.*

Newton, *Traité d'optique*, 1704



*[...] la nécessité aveugle n'aurait jamais pu obliger toutes les planètes à se mouvoir dans une seule et même direction sur des orbes concentriques, **exception faite pour quelques irrégularités inconsiderables qui peuvent avoir été produites par l'action mutuelle des comètes et des planètes les unes sur les autres, qui sont aptes à croître, jusqu'à ce que ce système ait besoin d'une reformation.** Une telle uniformité admirable dans le système planétaire doit être comprise comme l'effet d'un choix.*

Newton, Traité d'optique, 1704



Henri Poincaré  
Nancy 1854 - Paris 1912



- ▶ 1854 : fils d'Eugénie Launois et de Léon Poincaré, auteur de :



▶ 1854 : fils d'Eugénie  
Launois et de Léon  
Poincaré, auteur de :

- *De l'ophtalmie purulente  
du nouveau-né*



▶ 1854 : fils d'Eugénie  
Launois et de Léon  
Poincaré, auteur de :

- *De l'ophtalmie purulente  
du nouveau-né*
- *Effets d'un séjour  
prolongé dans les vapeurs  
de créosote*



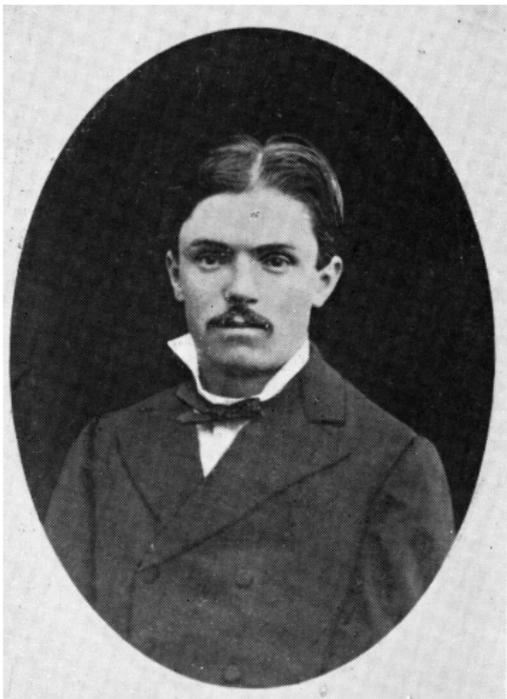
- ▶ 1873 : premier à l'École polytechnique, 5e à l'École Normale Supérieure



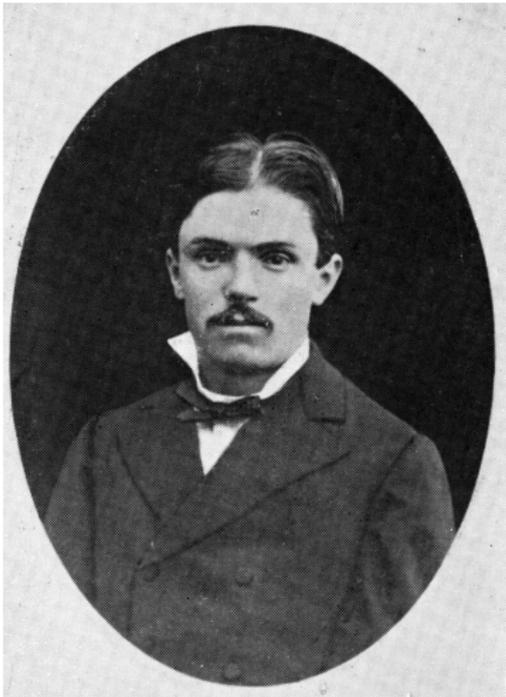
3 Août.

Ma chère maman,

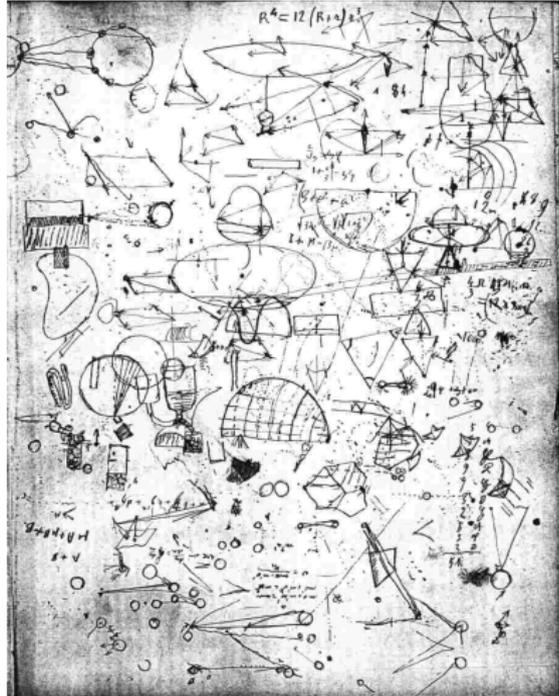
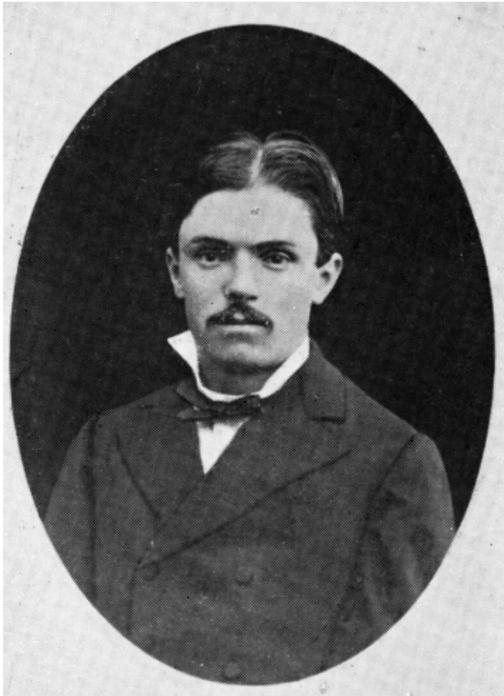
J'ai 19 en Elyrique; je suis dégoûté  
des biens de ce monde;



▶ 1875 : second à la sortie de Polytechnique



- ▶ 1875 : second à la sortie de Polytechnique
- ▶ 1875-1879 : corps des mines



- ▶ 1875 : second à la sortie de Polytechnique
- ▶ 1875-1879 : corps des mines

- ▶ 1879 : docteur ès Sciences mathématiques
- ▶ 1879 : chargé de cours à Caen



► 1881 : épouse Louise Poulain d'Andecy (1857-1934)

Bon doudoux que j'aime, je viens de recevoir  
ta lettre.

Bon doudoux que j'aime, je viens de recevoir  
ta lettre.

Et le grand prophète, qu'il illumine, dont  
l'œil vers l'intérieur regarde en nous montrant  
des blancs chers troublants, à la face gruyère  
fortiuleux de la jambe, derrière sa porte

Bon doudoux que j'aime, je viens de recevoir  
ta lettre.

Et le grand prophète, qu'<sup>il</sup> illumine, dont  
l'œil vers l'intérieur regarde en nous montrant  
des blancs chers troublants, à la face gruyère forme  
fortiuleux de la jambe, derrière sa porte

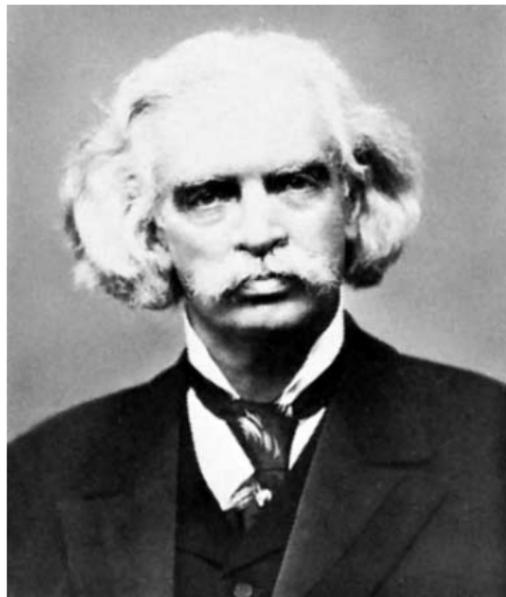
Cahours sorti - Pétigot campagne  
A Gaudry sorti - Pastens id.  
Vain Tieghem id - Vulpian  
id.

Mon bon chéri mes une  
gentille j't'adore

► 1889 : Grand Prix du Roi de Suède



Oscar II (1829-1907)



Gösta Mittag-Leffler (1846-1927)

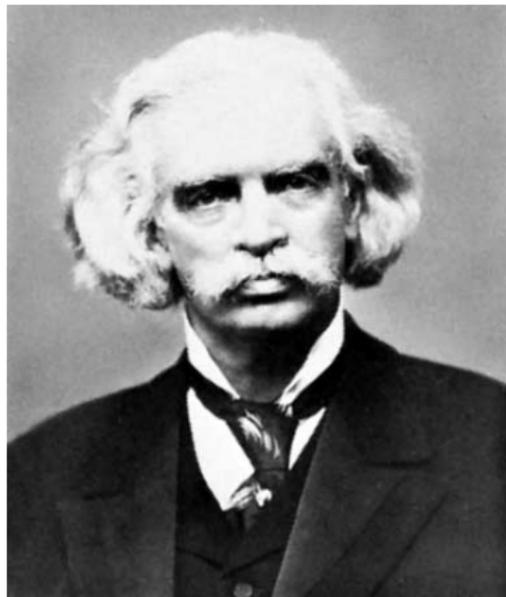


Henrik Ibsen

► 1889 : Grand Prix du Roi de Suède

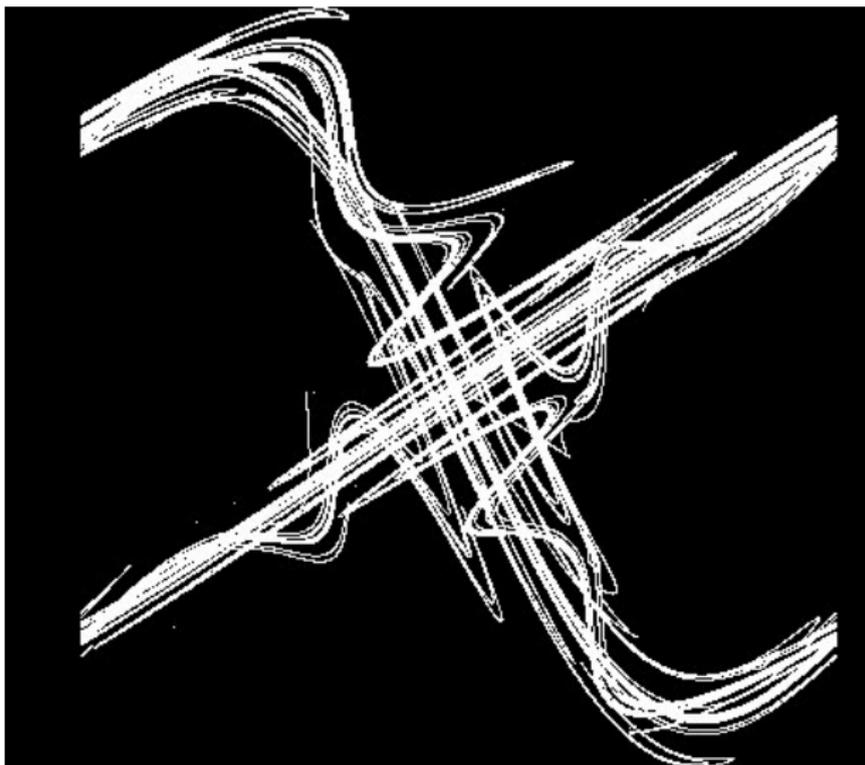


Oscar II (1829-1907)



Gösta Mittag-Leffler (1846-1927)

Film *Trois corps*



# L'apocalypse chaotique

Film *Laskar 2*



*Le mouvement du système solaire s'avère donc être chaotique et non quasi-périodique. En particulier, la prévisibilité des orbites des planètes internes, dont la Terre, est perdue en quelques dizaines de millions d'années.*

Jacques Laskar, Nature (1989)

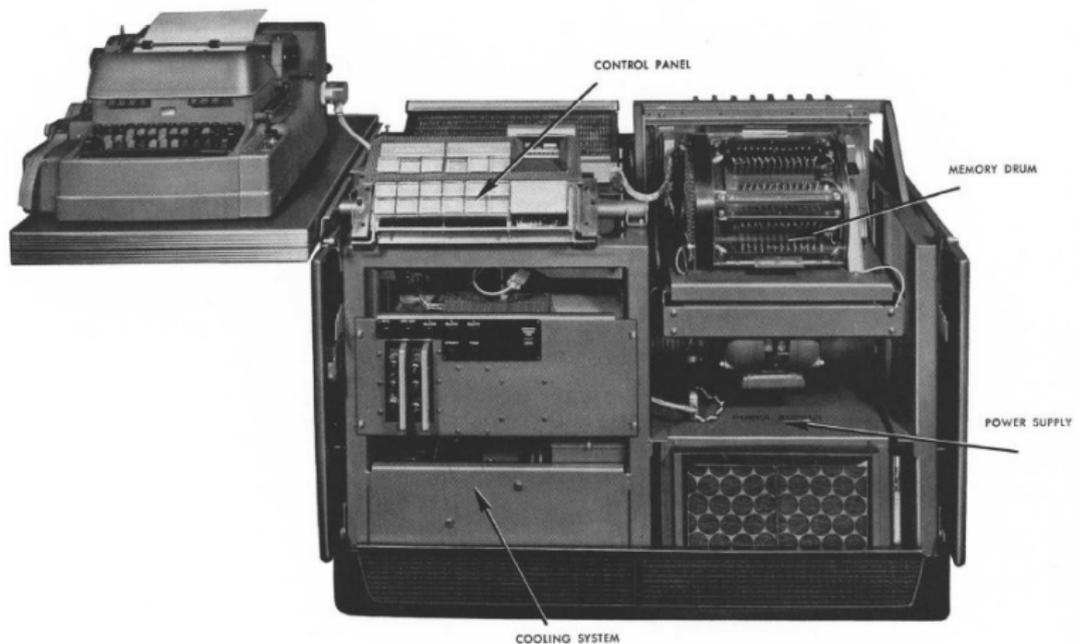


*Pourquoi les météorologistes ont-ils tant de peine à prédire le temps avec quelque certitude ? [...] Les météorologistes voient bien que cet équilibre est instable, qu'un cyclone va naître quelque part ; mais où, ils sont hors d'état de le dire ; un dixième de degré en plus ou en moins en un point quelconque, le cyclone éclate ici et non pas là, et il étend ses ravages sur des contrées qu'il aurait épargnées.*

*Calcul des probabilités (1912)*

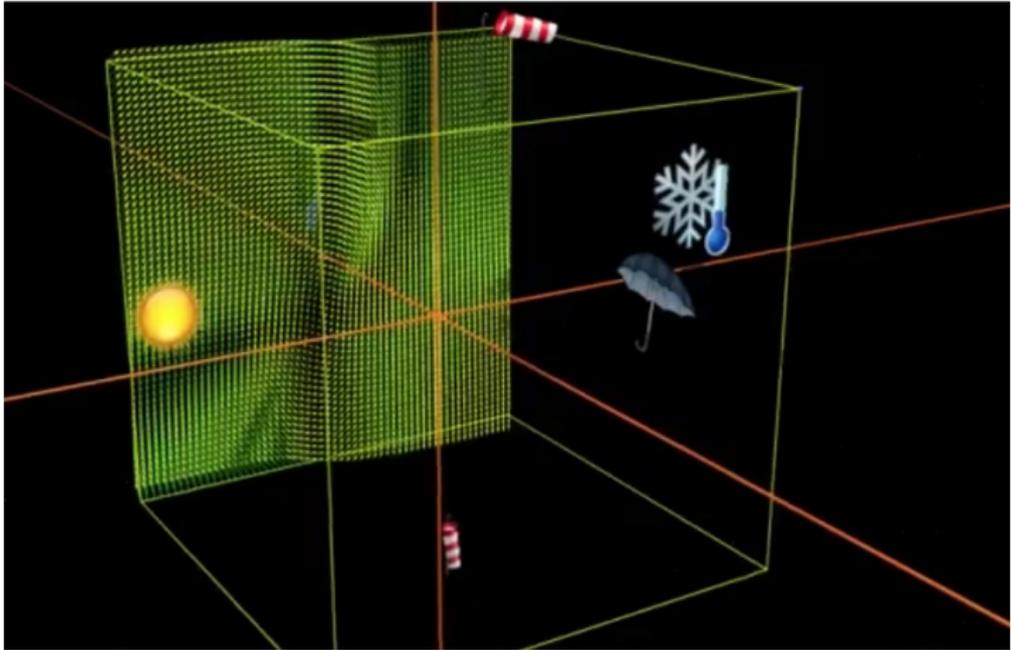


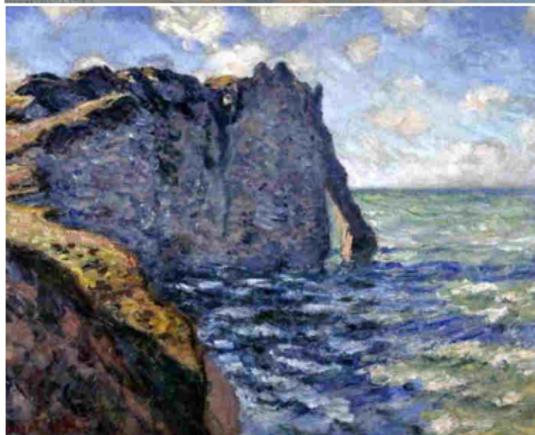
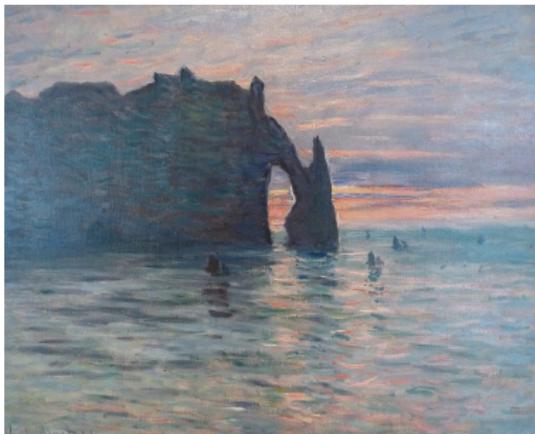
Edward Norton Lorenz  
1917 -West Hartford- 2008 à Cambridge (MA)



LGP-30 COMPUTER WITH FRONT COVER REMOVED

Le Royal-McBee LGP-30 (340 kg)





Films *Lorenz*

Films Lorenz

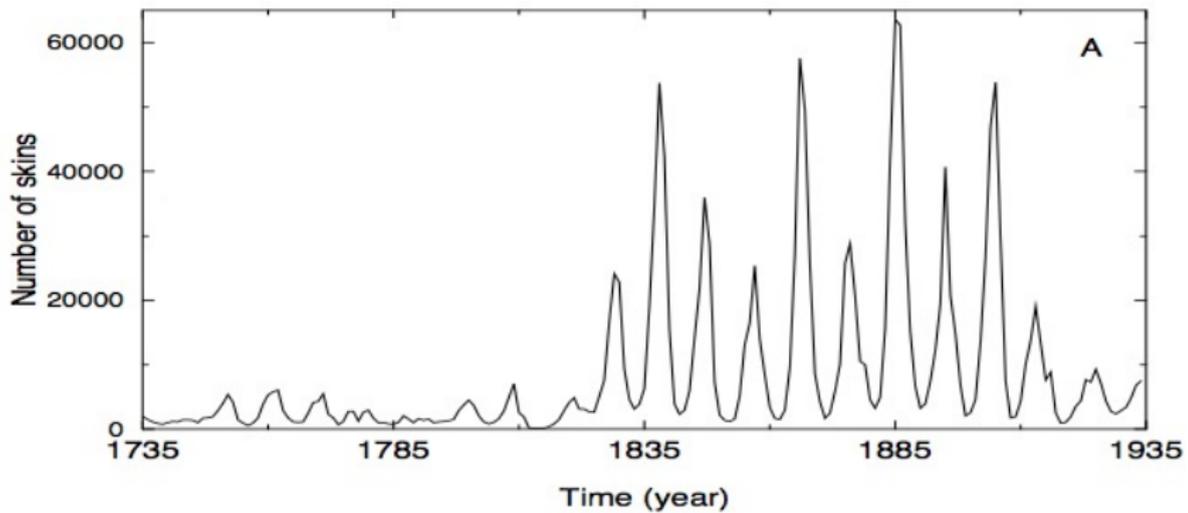
*Predictability : does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas ?*

139th Annual Meeting of the American Association for the  
Advancement of Science (1972)

Film *double pendule*

Film *double pendule*

Film *billard*





La Hudson's Bay Company et la Northwest Company

Bruno Poissy et Michel Seydoux  
présentent

Pierre Arditi Sabine Azema

# Smoking

réalisation  
Alain Resnais

copie "Intimate Exchanges" de Alan Ayckbourn

Interprètes : Anne et Georges Desnos interprètes et adapteurs Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
Scénario : Anne et Georges Desnos interprètes et adapteurs Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
Musique : Pierre Boulez interprète et adapteur Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
Production : Alain Poissy  
Une production : Anne et Georges Desnos interprètes et adapteurs Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
du Centre National de la Cinématographie  
de la Production, de Alta Film (Rome) et de Vega Film (Genève) en collaboration avec le Fonds Européen de Coopération de l'Europe

1988

Bruno Poissy et Michel Seydoux  
présentent

Sabine Azema Pierre Arditi

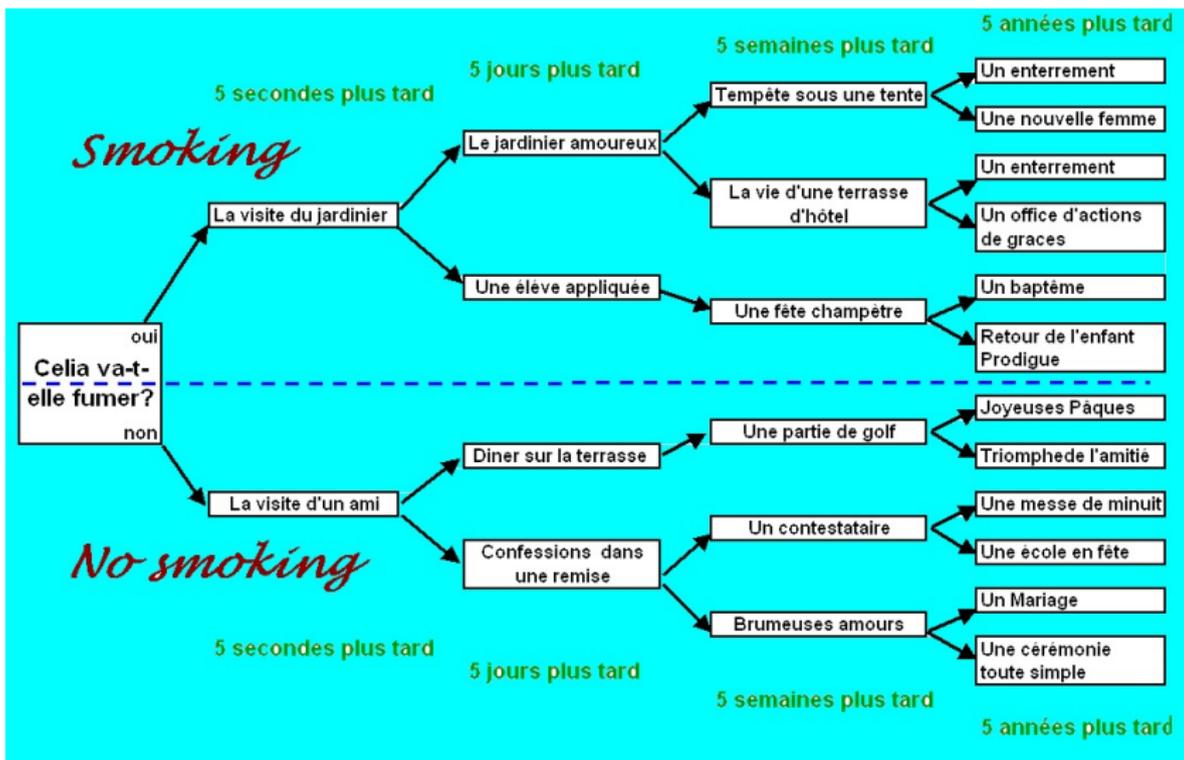
# No smoking

réalisation  
Alain Resnais

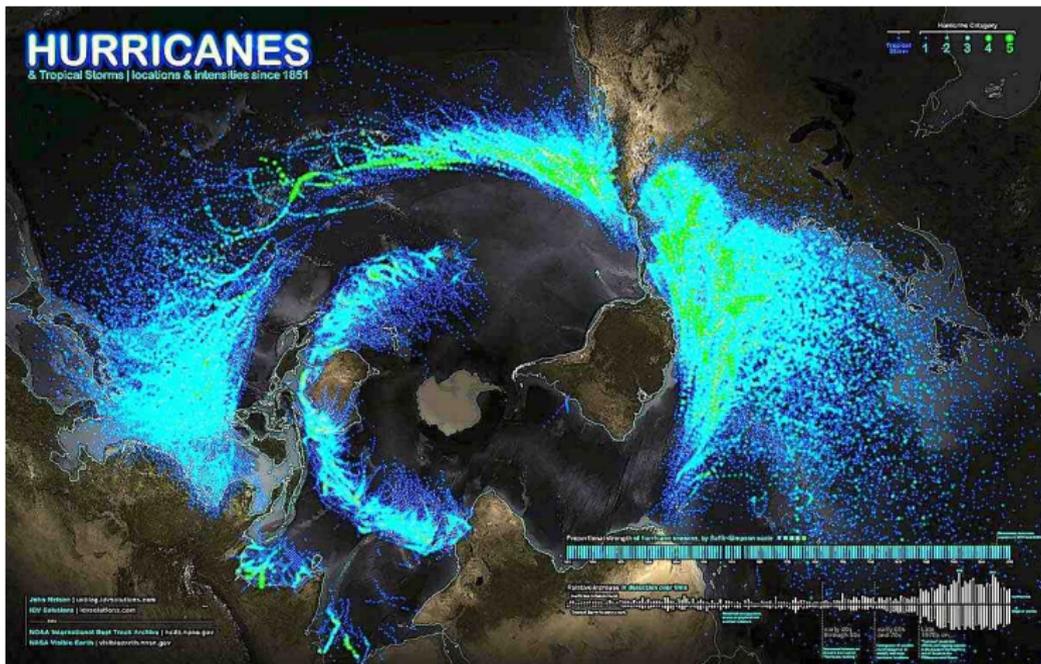
copie "Intimate Exchanges" de Alan Ayckbourn

Interprètes : Anne et Georges Desnos interprètes et adapteurs Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
Scénario : Anne et Georges Desnos interprètes et adapteurs Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
Musique : Pierre Boulez interprète et adapteur Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
Production : Alain Poissy  
Une production : Anne et Georges Desnos interprètes et adapteurs Jean-Pierre Baudr et Agnès Jansé  
du Centre National de la Cinématographie  
de la Production, de Alta Film (Rome) et de Vega Film (Genève) en collaboration avec le Fonds Européen de Coopération de l'Europe

1988

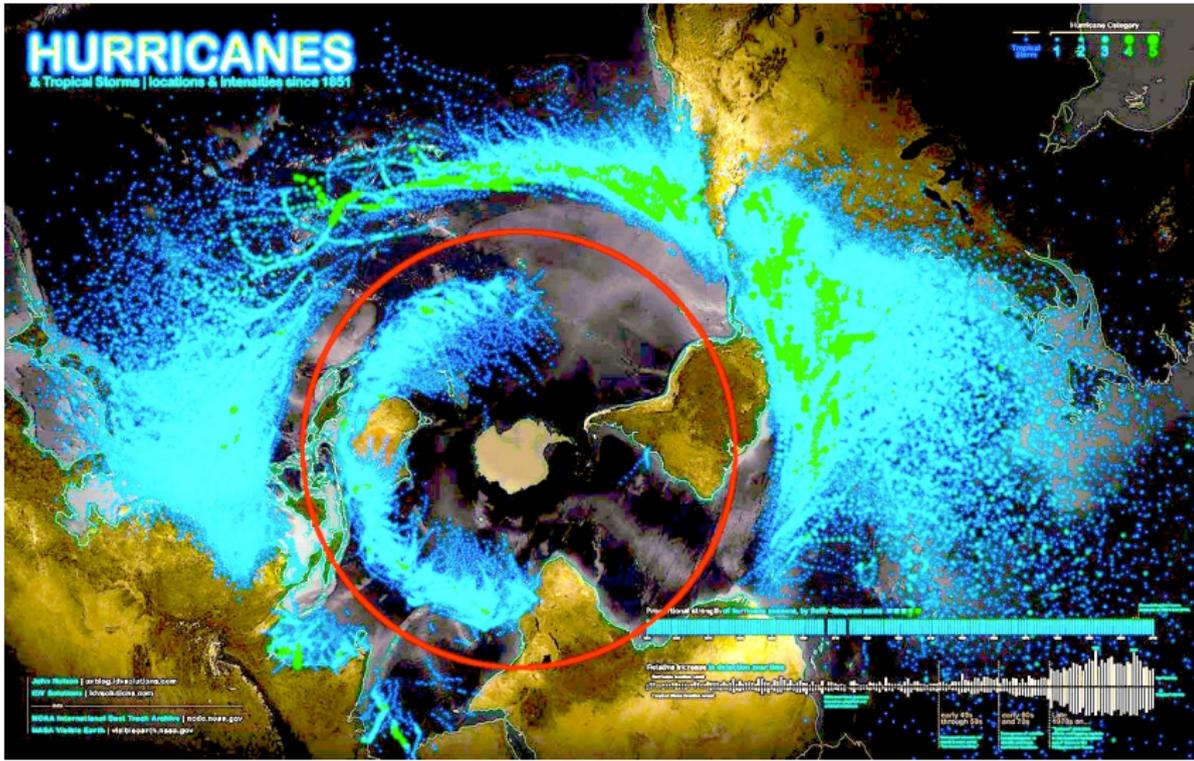


# Acte III - Les régularités du chaos



# HURRICANES

& Tropical Storms | locations & intensities since 1951



John Nielsen | [john@earth.mars.gov](mailto:john@earth.mars.gov)  
Glynn Schuman | [gschuman@earth.mars.gov](mailto:gschuman@earth.mars.gov)

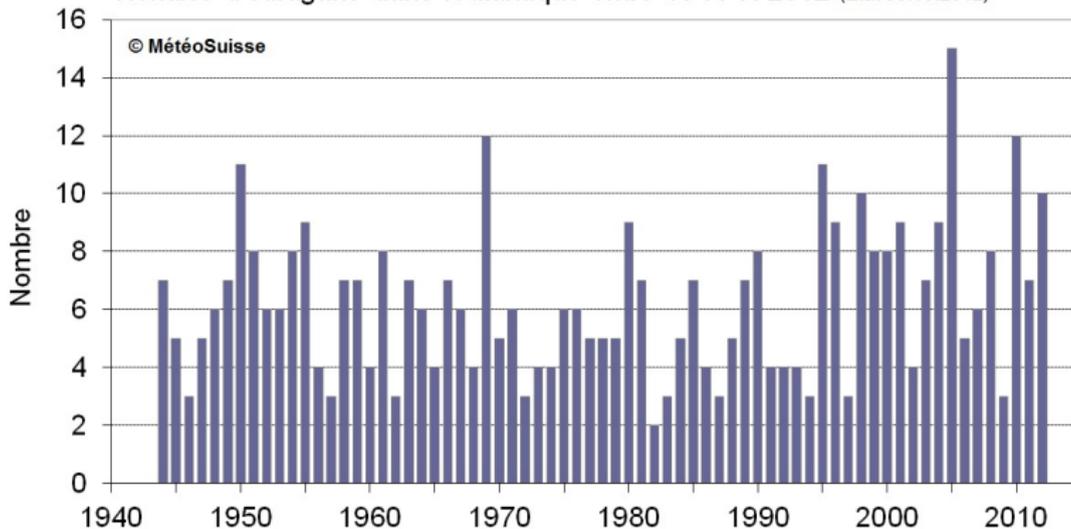
MSRA International Best Track Archive | [icdc.mars.gov](http://icdc.mars.gov)  
Mark Thomas Smith | [mtsmith@earth.mars.gov](mailto:mtsmith@earth.mars.gov)

Relative Frequency of Hurricanes per Year



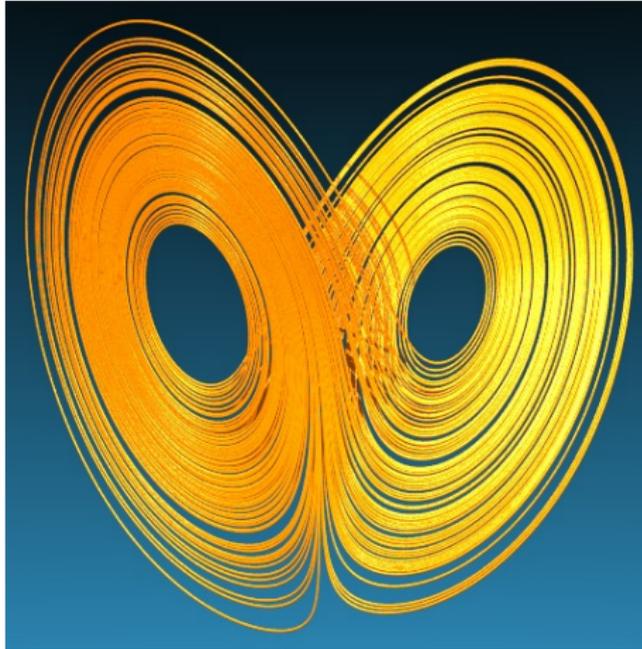
Year of Onset  
Year of End

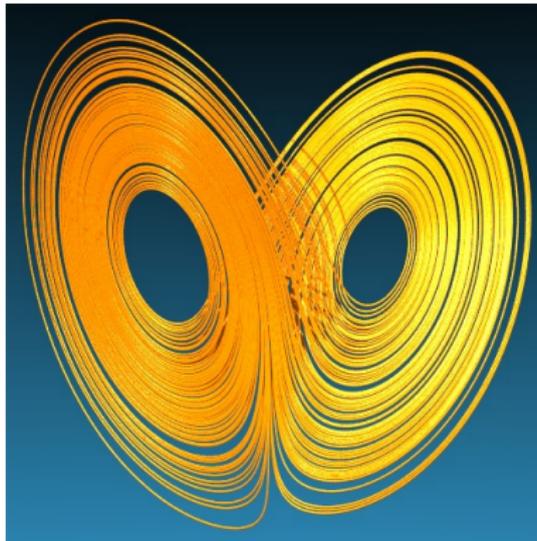
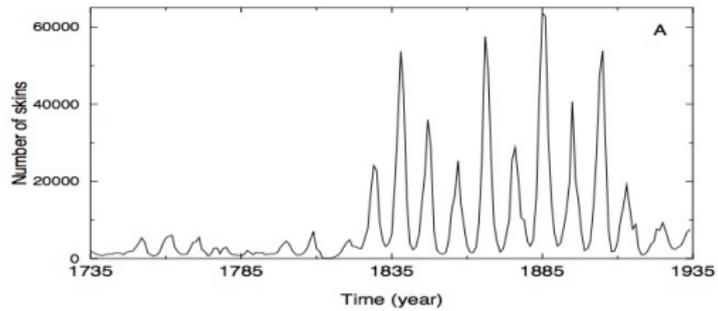
Nombre d'ouragans dans l'Atlantique entre 1944 et 2012 (État 30.10.2012)

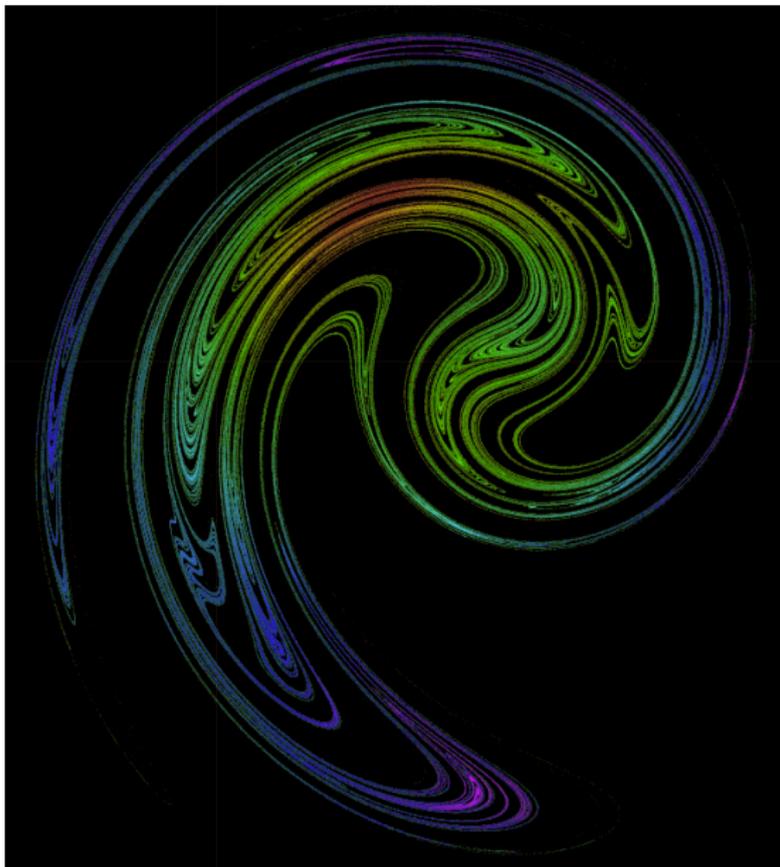


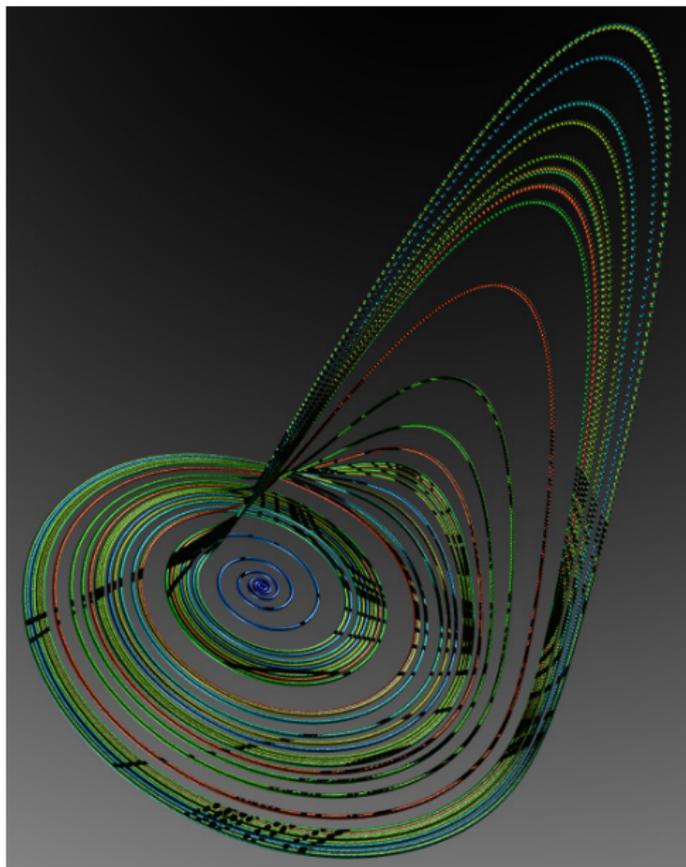
Source: NOAA (<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E11.html>)

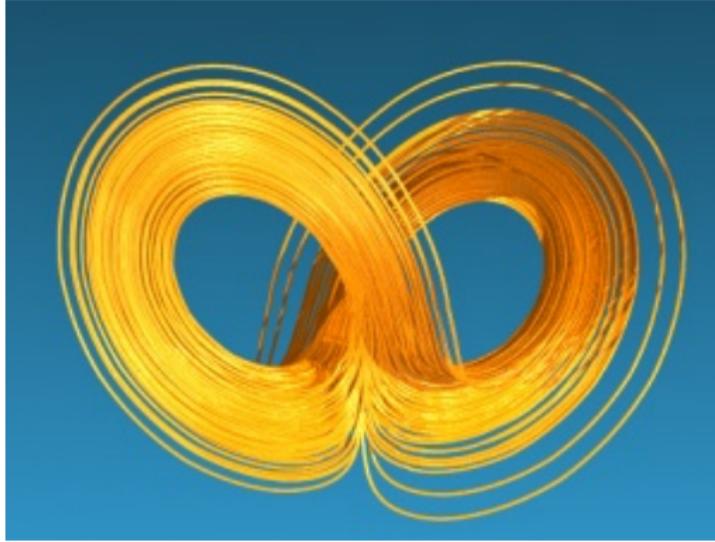
Film *Lorenz papillon*





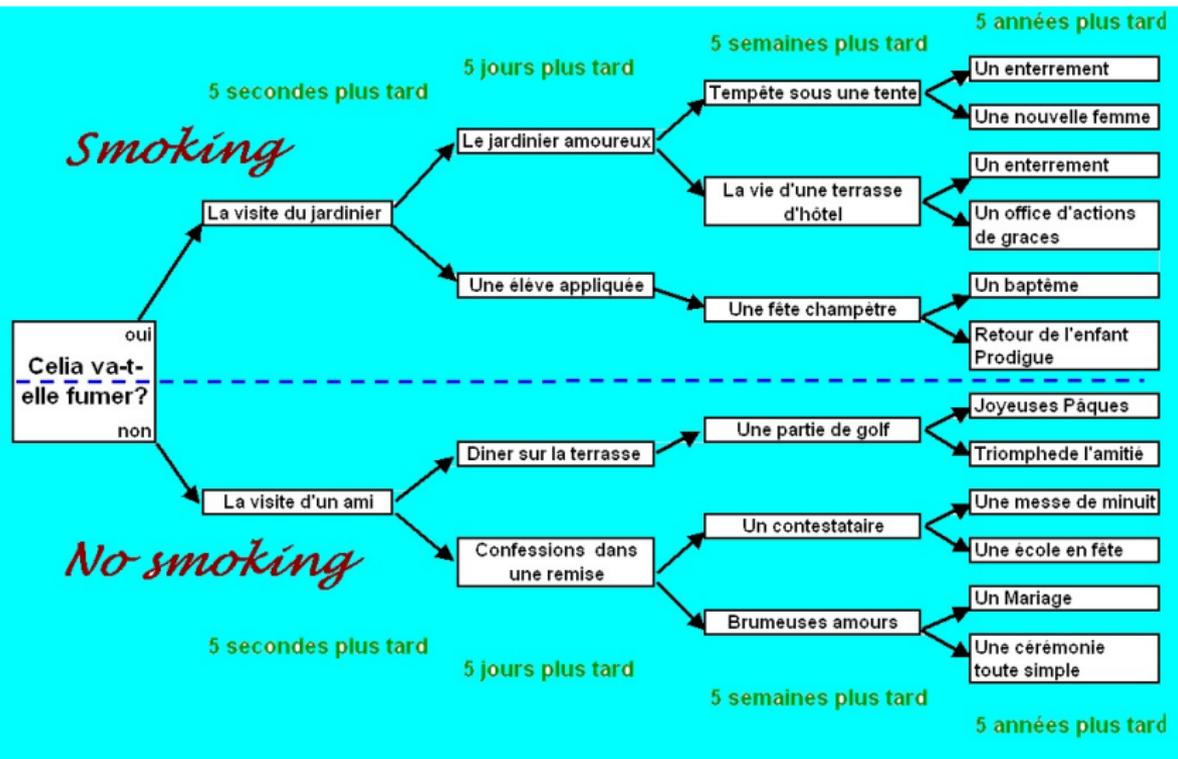






*J'avance l'idée qu'au fil des années les petites perturbations ne modifient pas la fréquence d'apparition des événements tels que les ouragans : la seule chose qu'ils peuvent faire, c'est de modifier l'ordre dans lequel ces événements se produisent.*

Edward Lorenz



	Trajectoires individuelles	Statistique globale	Exemple
Temps	Météorologie	Climatologie	Ouragan

	Trajectoires individuelles	Statistique globale	Exemple
Temps	Météorologie	Climatologie	Ouragan
Lynx	Volterra	Écologie	Quasi extinction

	Trajectoires individuelles	Statistique globale	Exemple
Temps	Météorologie	Climatologie	Ouragan
Lynx	Volterra	Écologie	Quasi extinction
Humains			

	Trajectoires individuelles	Statistique globale	Exemple
Temps	Météorologie	Climatologie	Ouragan
Lynx	Volterra	Écologie	Quasi extinction
Humains	Psychologie	Sociologie	

	Trajectoires individuelles	Statistique globale	Exemple
Temps	Météorologie	Climatologie	Ouragan
Lynx	Volterra	Écologie	Quasi extinction
Humains	Psychologie	Sociologie	Mariage

# Résumé

Les systèmes chaotiques sont

- ▶ déterministes

# Résumé

Les systèmes chaotiques sont

- ▶ déterministes
- ▶ mais très sensibles aux conditions initiales

# Résumé

Les systèmes chaotiques sont

- ▶ déterministes
- ▶ mais très sensibles aux conditions initiales

Leurs trajectoires

# Résumé

Les systèmes chaotiques sont

- ▶ déterministes
- ▶ mais très sensibles aux conditions initiales

Leurs trajectoires

- ▶ se concentrent sur un sous-système ;

# Résumé

Les systèmes chaotiques sont

- ▶ déterministes
- ▶ mais très sensibles aux conditions initiales

Leurs trajectoires

- ▶ se concentrent sur un sous-système ;
- ▶ fréquentent régulièrement chaque partie de ce sous-système

# Résumé

Les systèmes chaotiques sont

- ▶ déterministes
- ▶ mais très sensibles aux conditions initiales

Leurs trajectoires

- ▶ se concentrent sur un sous-système ;
- ▶ fréquentent régulièrement chaque partie de ce sous-système

*Chaos individuel  
versus  
régularité statistique*

# Bibliographie et webographie

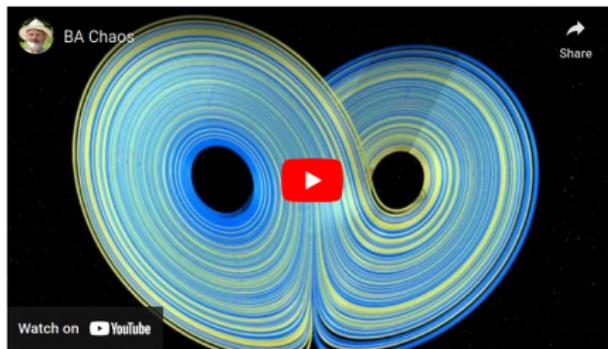


## CHAOS

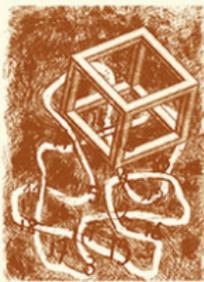
UNE AVENTURE MATHÉMATIQUE



Henri Poincaré  
(1854-1912)



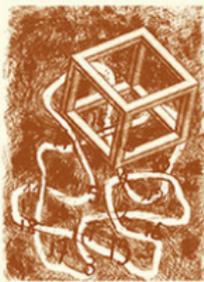
Pierre-Simon Laplace  
(1749-1827)



Bibliothèque

David Ruelle  
Hasard et chaos





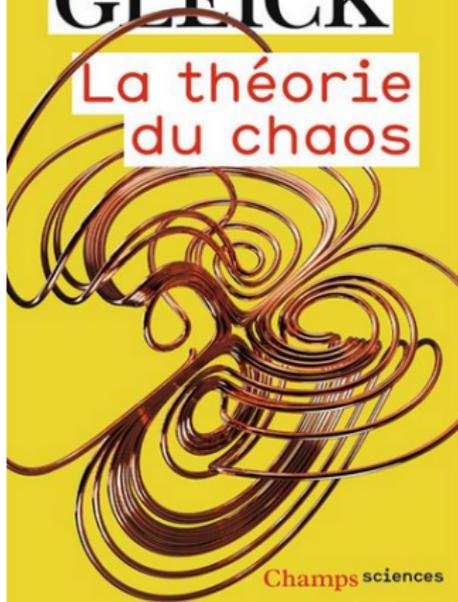
Bibliothèque

David Ruelle  
Hasard et chaos

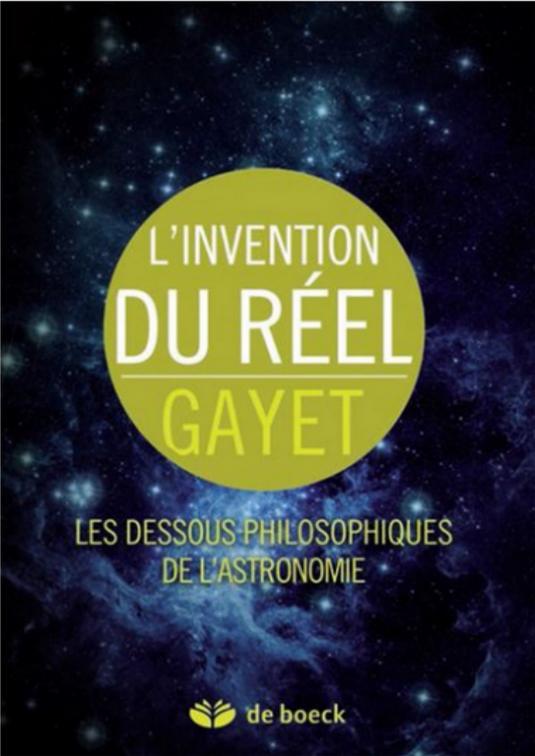


JAMES  
GLEICK

La théorie  
du chaos



Champs sciences

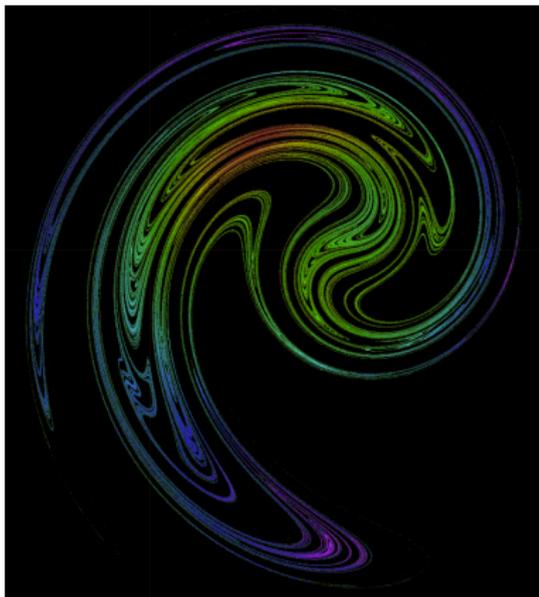


L'INVENTION  
DU RÉEL  
GAYET

LES DESSOUS PHILOSOPHIQUES  
DE L'ASTRONOMIE



de boeck



C'est fini merci!

## Bonus track 1



Gilles Deleuze

*On définit le chaos moins par son désordre que par la vitesse infinie avec laquelle se dissipe toute forme qui s'y ébauche. C'est un vide qui n'est pas un néant, mais un virtuel, contenant toutes les particules possibles et tirant toutes les formes possibles qui surgissent pour disparaître aussitôt, sans consistance ni référence, sans conséquence.*

## Bonus track 1



Gilles Deleuze

*On définit le chaos moins par son désordre que par la vitesse infinie avec laquelle se dissipe toute forme qui s'y ébauche. C'est un vide qui n'est pas un néant, mais un virtuel, contenant toutes les particules possibles et tirant toutes les formes possibles qui surgissent pour disparaître aussitôt, sans consistance ni référence, sans conséquence.*

?????????



Boris Cyrulnik

*Pour un psychisme humain, le chaos correspond à la déchirure traumatique et la résilience répond aux remaniements du système. Les nouveaux déterminismes, les "attracteurs étranges" mis en place lors du chaos sont imprévisibles*



Boris Cyrulnik

*Pour un psychisme humain, le chaos correspond à la déchirure traumatique et la résilience répond aux remaniements du système. Les nouveaux déterminismes, les "attracteurs étranges" mis en place lors du chaos sont imprévisibles*

??????????

# Les sciences dures à l'usage des non scientifiques durs

Constats :

# Les sciences dures à l'usage des non scientifiques durs

Constats :

- ▶ les sciences dures sont difficiles d'accès

# Les sciences dures à l'usage des non scientifiques durs

Constats :

- ▶ les sciences dures sont difficiles d'accès
- ▶ il est malhonnête de s'accaparer l'aura d'un concept profond scientifique sans le comprendre un minimum
- ▶ il y a des concepts qui sont relativement faciles d'accès

# Les sciences dures à l'usage des non scientifiques durs

Constats :

- ▶ les sciences dures sont difficiles d'accès
- ▶ il est malhonnête de s'accaparer l'aura d'un concept profond scientifique sans le comprendre un minimum
- ▶ il y a des concepts qui sont relativement faciles d'accès
- ▶ il y a beaucoup de concepts très beaux

# Les sciences dures à l'usage des non scientifiques durs

Constats :

- ▶ les sciences dures sont difficiles d'accès
- ▶ il est malhonnête de s'accaparer l'aura d'un concept profond scientifique sans le comprendre un minimum
- ▶ il y a des concepts qui sont relativement faciles d'accès
- ▶ il y a beaucoup de concepts très beaux
- ▶ il y a beaucoup de concepts contre-intuitifs

# Les sciences dures à l'usage des non scientifiques durs

Constats :

- ▶ les sciences dures sont difficiles d'accès
- ▶ il est malhonnête de s'accaparer l'aura d'un concept profond scientifique sans le comprendre un minimum
- ▶ il y a des concepts qui sont relativement faciles d'accès
- ▶ il y a beaucoup de concepts très beaux
- ▶ il y a beaucoup de concepts contre-intuitifs
- ▶ il y a des concepts qui cumulent toutes ces qualités

# Les sciences dures à l'usage des non scientifiques durs

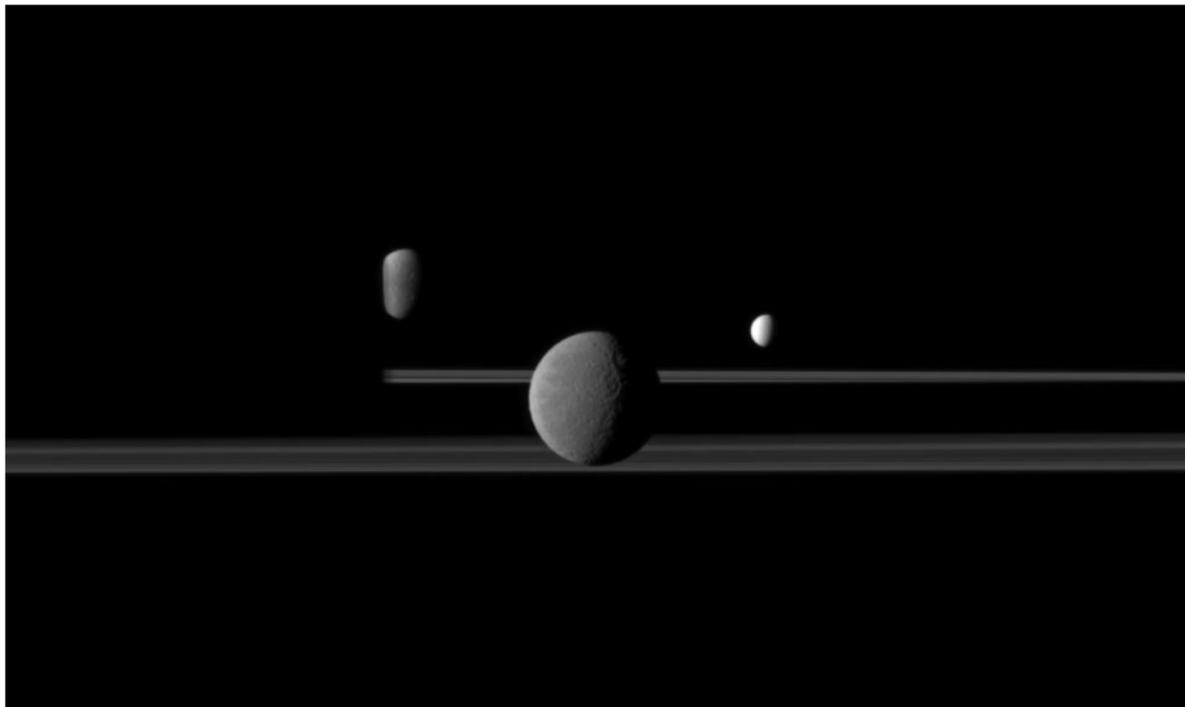
Constats :

- ▶ les sciences dures sont difficiles d'accès
- ▶ il est malhonnête de s'accaparer l'aura d'un concept profond scientifique sans le comprendre un minimum
- ▶ il y a des concepts qui sont relativement faciles d'accès
- ▶ il y a beaucoup de concepts très beaux
- ▶ il y a beaucoup de concepts contre-intuitifs
- ▶ il y a des concepts qui cumulent toutes ces qualités

Conseil :

- ▶ n'hésitez pas à aller discuter avec les scientifiques

# La dramatique beauté de la simplicité



Film *2001*

Film *2001*

Film *Gravity*

## Bonus track 2

ENQUÊTE MÉDICO-PSYCHOLOGIQUE

SUR LA SUPÉRIORITÉ INTELLECTUELLE

---

★★

HENRI POINCARÉ

PAR

LE D<sup>r</sup> TOULOUSE

VOYELLES

*a*, blanc légèrement teinté de bleu ;

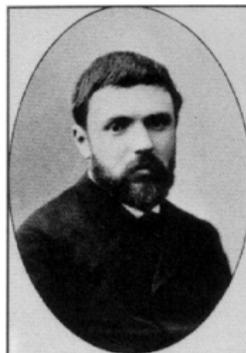
*é*, jaune chamois ;

*i*, rouge vermillon ;

*o*, noir tirant sur le bleu ;

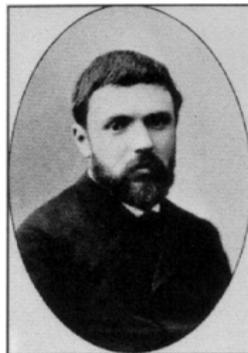
*u*, jaune orange ;

*e*, muet, aucun.



VOYELLES

a, blanc légèrement teinté de bleu ;  
é, jaune chamois ;  
i, rouge vermillon ;  
o, noir tirant sur le bleu ;  
u, jaune orange ;  
e, muet, aucun.



*Voyelles.*

*A noir, E blanc, Rouge, Vert, Orange : voyelles,  
Je dirai quelque jour vos naissances latentes :  
A, noir corset vain Des mouches éclatantes  
Qui combinent autour Des quantités cruelles,*