

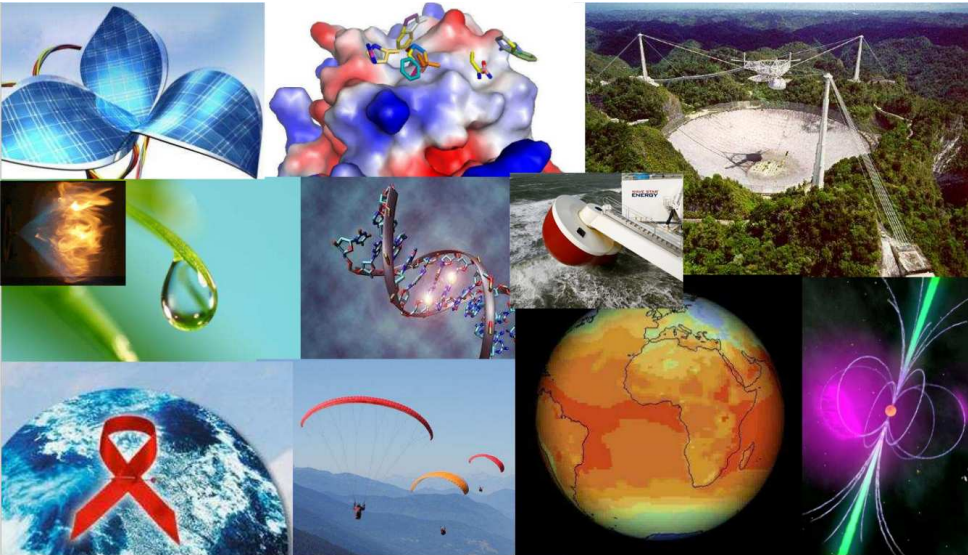
# Ordinateurs et société

Martin Quinson  
ENS Rennes

19 avril 2018



# Quel est le point commun entre...



Panneaux solaires, médicaments contre Ebola, la recherche d'extra-terrestres, la combustion, l'eau potable, cancer, SIDA, le para-pente, l'énergie marémotrice, l'évolution du climat, les pulsars, ...

# Il y a des (très gros) ordinateurs derrière !



1. TaihuLight	10 649 600 cœurs	93 Pflops	15MW
2. Tianhe-2	3 120 000 cœurs	33 Pflops	18MW
3. Piz Daint	361 760 cœurs	20 Pflops	2MW
4. Gyoukou	19 860 000 cœurs	19 Pflops	1MW
5. Titan	560 640 cœurs	18 Pflops	8MW
6. Sequoia	1 572 864 cœurs	17 Pflops	8MW

## Course entre les pays

- ▶ Toujours plus gros

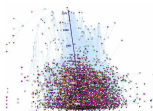
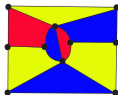
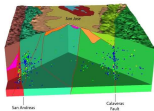
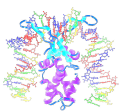
## France

- ▶ #21: Total
- ▶ #23: CEA
- ▶ ...

## Principe de base

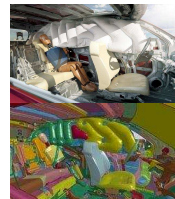
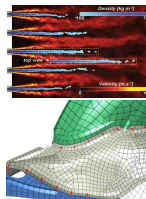
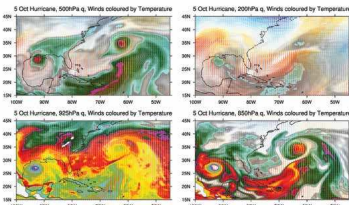
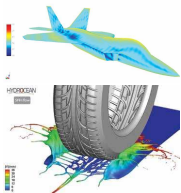
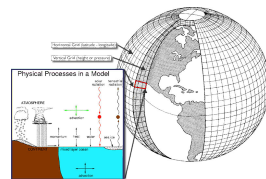
- ▶ Modèles mathématiques de phénomènes complexes
- ▶ Simulation sur des super-calculateurs
- ▶ (In)validation: prédictions vs. observations
- ▶ Puis des résultats sans réaliser d'expérience (!)

# Pourquoi ça : Computational Science



## Principe de base

- ▶ Modèles mathématiques de phénomènes complexes
- ▶ Simulation sur des super-calculateurs
- ▶ (In)validation: prédictions vs. observations
- ▶ Puis des résultats sans réaliser d'expérience (!)

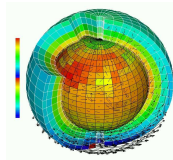


# Le troisième pilier des sciences

## Science = Accumulation de Savoirs



$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right)$$



### Science Experimentale

- ▶ Observations
- ↪ Descriptions

### Science Théorique

- ▶ Équations
- ↪ Compréhension

### Computational Science

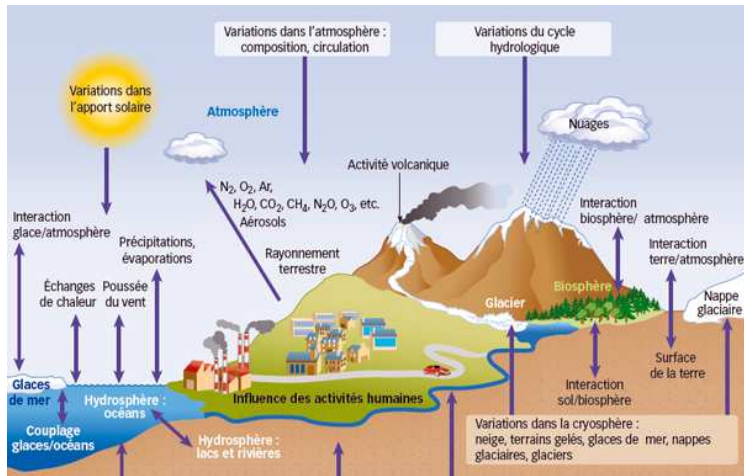
- ▶ Simulations
- ↪ Prédictions

*Today, the computer is just as important a tool for chemists as the test tube. Simulations are so realistic that they predict the outcome of traditional experiments.*

— Comité Nobel (chimie), 2013.

# Science Computationnelle en pratique

Comment construit-on un modèle de climatologie ?



[Eric Blayo]

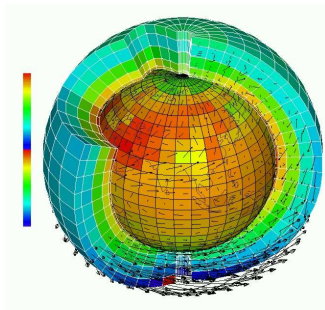
# 1 - Modélisation : traduire la réalité en équations

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla u - fv + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} - \mathcal{F}(u) &= 0 & \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla T - \mathcal{D}_T(T) &= 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla v + fu + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - \mathcal{F}(v) &= 0 & \frac{\partial S}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla S - \mathcal{D}_S(S) &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= -\rho g & \rho &= \rho(T, S, p) \\ \operatorname{div} \mathbf{U} &= 0 & &+ \text{conditions aux limites} \end{aligned}$$

L'océan vu par un mathématicien



## 2 - Simuler : résoudre les équations par ordinateur



+



[Eric Blayo]

# 3 - Régler le modèle grâce aux observations

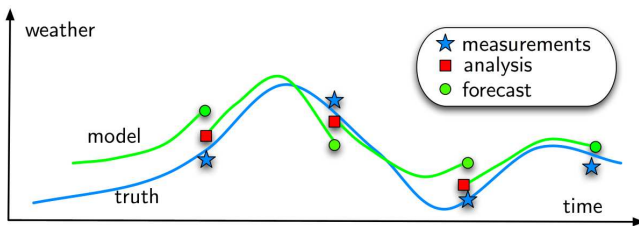
Reconstituer la situation actuelle grâce aux informations disponibles



observations passées et présentes

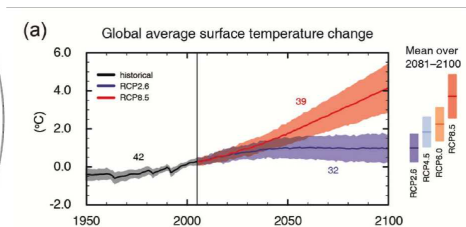
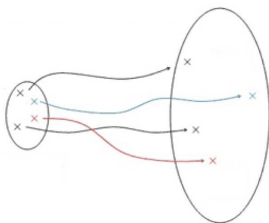
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \sigma \frac{\partial u}{\partial \sigma} - f(v - v_g) + \frac{\partial \phi}{\partial x} \Big|_p + F_u = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \sigma \frac{\partial v}{\partial \sigma} + f(u - u_g) + \frac{\partial \phi}{\partial y} \Big|_p + F_v = 0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial(T/\theta)} = -C_p \theta (1 + 0.85 q_v) \\ \frac{\partial p_*}{\partial t} = - \int_0^1 \left[ \frac{\partial(p_*, u)}{\partial x} + \frac{\partial(p_*, v)}{\partial y} \right] d\sigma \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{p_*} \left\{ \sigma \int_0^1 \left[ \frac{\partial(p_*, u)}{\partial x} + \frac{\partial(p_*, v)}{\partial y} \right] d\sigma - \int_0^\sigma \left[ \frac{\partial(p_*, u)}{\partial x} + \frac{\partial(p_*, v)}{\partial y} \right] d\sigma \right\} \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + \sigma \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} + \frac{\partial R_{rad}}{\partial \sigma} + F_\theta + p_\theta = 0 \\ \frac{\partial q_v}{\partial t} + u \frac{\partial q_v}{\partial x} + v \frac{\partial q_v}{\partial y} + \sigma \frac{\partial q_v}{\partial \sigma} + F_{q_v} + p_{q_v} = 0 \end{array} \right.$$

modèles mathématiques



## 4 - Estimer l'incertitude: prédictions d'ensemble

Conditions initiales bruitées + nombreuses simulations  $\leadsto$  intervalles de confiances



[Eric Blayo]

### La suite de l'Histoire

- ▶ Révolution pour toutes les sciences et techniques
  - ▶ Également en sciences humaines, droit
- ▶ Boom des mathématiques / info, pour la méthode de résolution efficace
- ▶ Problèmes nouveaux : acquisition de données, open science

# Sciences Computationnelles, mais encore réelles

Space telescope



Large Hadron Collider



Mars Explorer



Tsunamis



Earthquake vs. Bridge



Climate vs. Ecosystems



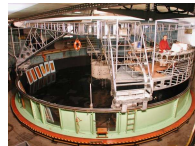
NMR Spectroscope



Synchrotrons



Turntable



*(qui a dit que les scientifiques ne savent pas s'amuser ??)*

# Merci qui pour les Sciences Computationnelles?

# Merci qui pour les Sciences Computationnelles?

Merci les super-calculateurs!

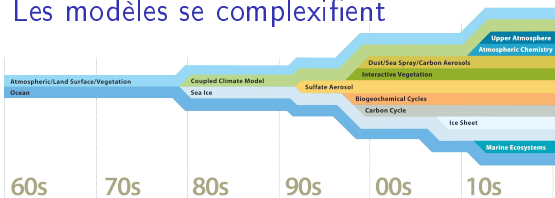


# Merci qui pour les Sciences Computationnelles?

Merci les super-calculateurs!



## Les modèles se complexifient



Les ordinateurs deviennent  
**gros et complexes**

Projet Upscale (climat):  
15,000 computing-years en 2012

# Une évolution vertigineuse

1996



ASCI Red

1 Teraflop

9298 Pentium II

1 000 Flops/W

2009



ATI Radeon

2.4 Teraflop

1600 Stream Processors

1 600 000 Flops/W

2015

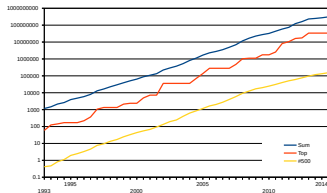


Nvidia Tegra

1 Teraflop

8-core ARM CPU

667 000 000 Flops/W



## Top 500: la compétition mondiale

- ▶ Premier pour un an ou deux (en général)
- ▶ De premier à dernier :  $\approx 8$  ans
- ▶ Mon PC dans le Top 500 il y a 10 ans
- ▶ Mon téléphone il y a 20 ans



# Comment utiliser ces monstres ?

Taihu Light: 10 millions de cœurs **qui collaborent**

Les ordinateurs ont trois caractéristiques principales

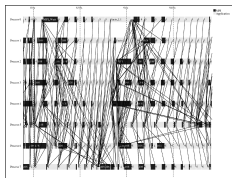
- ▶ Ils sont rapides, fidèles et stupides !
- ▶ Programmer = détailler ce qu'il faut faire de façon compulsive

"Ça va plus vite quand on s'y met à plusieurs"

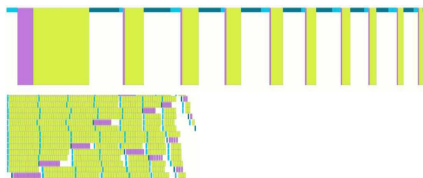
- ▶ Vrai jusqu'à un certain point (comme pour porter un piano)



Calculs à faire



Répartition des rôles



Déroulements plus ou moins efficaces

# Impact sociétal immense!

## Massivement parallèles

- ▶ Limite de miniaturisation (atome)
- ▶ Limite de fréquence électrique (énergie)
- ▶ **Solution:** plus de cœurs de calcul !



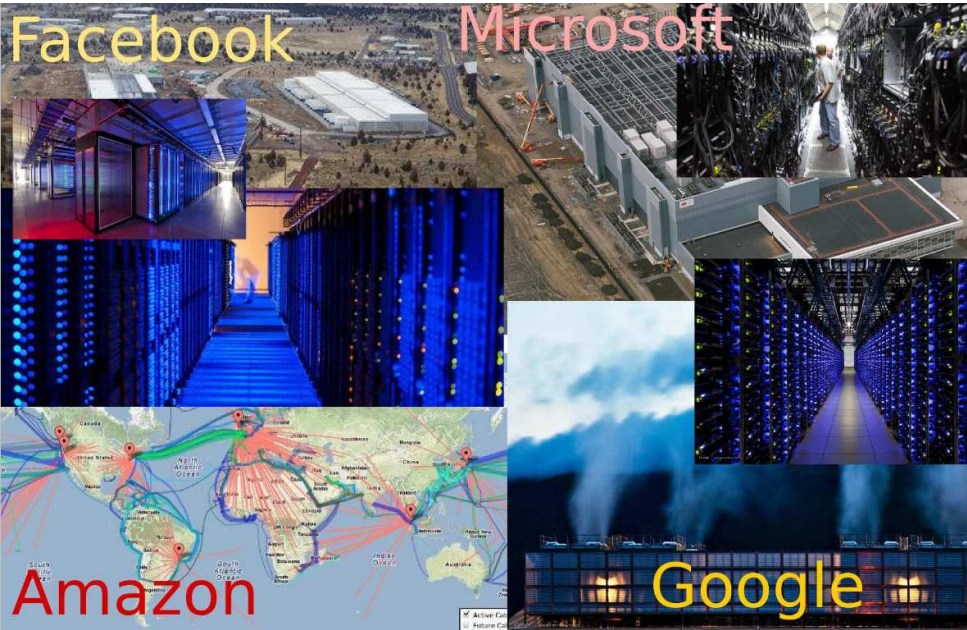
## Des systèmes gigantesques

- ▶ **HPC:** Systèmes à 1 Exaflop/seconde d'ici peu (avec des milliards de cœurs)
  - ▶ 1 Exaflop =  $10^{18}$  operations. Un million de million de million d'operations. . .
- ▶ **Google:** 300 MW en moyenne (150 000 foyers)
- ▶ **Botnets:** contrôle des millions d'ordinateurs zombis

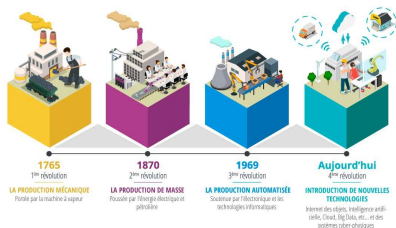
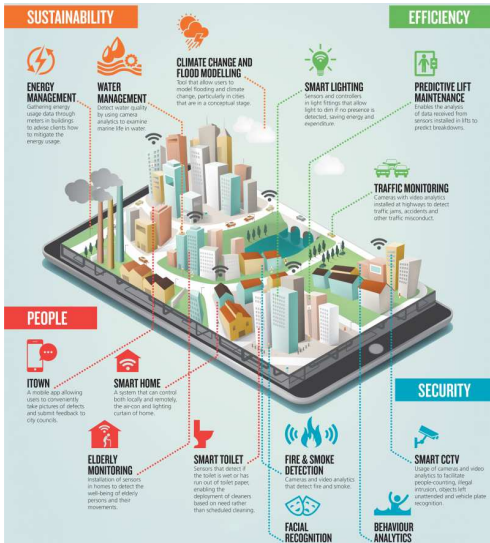
## Ce n'est que le début

- ▶ Beaucoup de problèmes ouverts restants
- ▶ Impact sociétal bien plus large que la seule science !

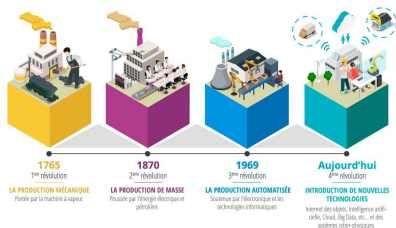
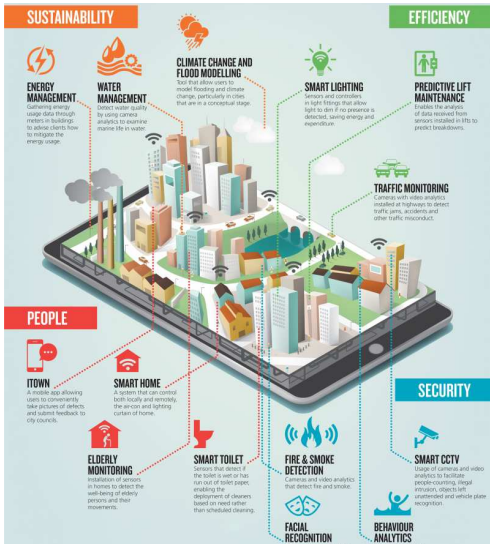
# N'oublions pas le cloud



# Bientôt Internet des objets, Usine 4.0, et bien plus



# Bientôt Internet des objets, Usine 4.0, et bien plus



Pour changer le monde  
devenez chercheur.euse en informatique!