

Les physiciens explorent la matière

Pablo Jensen

ENSSIB, octobre 2006



POSTES DE MAITRE DE CONFERENCES A LYON EN PHYSIQUE (2006)

nano, modélisation, biophysique, fondamentale, systèmes complexes

ECOLE CENTRALE DE LYON :

mécano-physique des matériaux et des surfaces :

modélisations et expérimentation à différentes échelles, application à la tribologie

caractérisation de l'interaction des champs électromagnétiques et des cellules biologiques,

épitaxie, matériaux pour la micro et l'opto-électronique

INSA DE LYON :

science et génie des matériaux; métallurgie, **modélisation mathématique; calcul scientifique et applications**

UNIVERSITE LYON 1 :

calcul scientifique et modélisation,

imagerie biomédicale, physique et instrumentation,

propriétés optiques et synthèses de systèmes nanostructurés,

physique des matériaux et systèmes biologiques,

systèmes complexes,

agrégats et molécules d'intérêt biologique,

physique expérimentale des particules élémentaires, physique des neutrinos

physique expérimentale,

matière condensée et nanostructures,

pilotage et modélisation des systèmes complexes,

physique expérimentale auprès des faisceaux radioactifs

ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE LYON :

physique des processus naturels (géophysique)

étude expérimentale de la dynamique de molécules biologiques,

physique quantique et théorie des interactions fondamentales

Galileo Observes the Sanctuary Lamp
in Pisa Cathedral 1581



The Period is
independent of
the displacement

Naissance de la science moderne

- **Observation méticuleuse et sans *a priori***
 - *opposition Aristote, religion*
- **Déduction des « lois de la nature »**
- **Méthode scientifique**

Pas si simple...

- Expériences contradictoires
- Galilée : minimise les désaccords, dus aux « imperfections » des expériences
- Foi dans ses calculs, mais **erreur !**
- **A priori** : monde mathématique

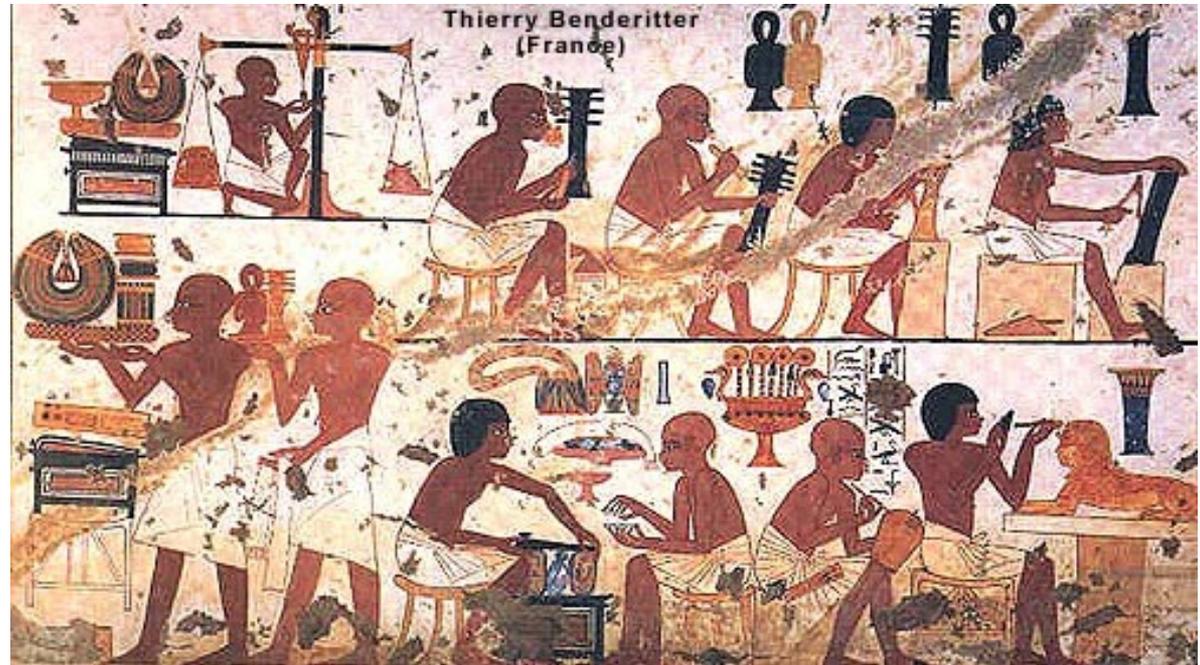
« La philosophie est écrite dans ce livre gigantesque qui est continuellement ouvert à nos yeux (je parle de l'univers), mais on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à comprendre la langue et à connaître les caractères dans lesquels il est écrit.

Il est écrit en langage mathématique, et les caractères sont des triangles, des cercles, et d'autres figures géométriques, sans lesquelles il est impossible d'y comprendre un mot. Dépourvu de ces moyens, on erre vainement dans un labyrinthe obscur. »

Galilée, L'Essayeur, 1623

Une longue histoire...

- Âges de (bois), pierre, bronze, fer
- Physique de la matière a 50 ans !
(science moderne, 400 ans)
- *Pourquoi si long ?*



Que faut-il expliquer ?

Comportements quotidiens, banals :

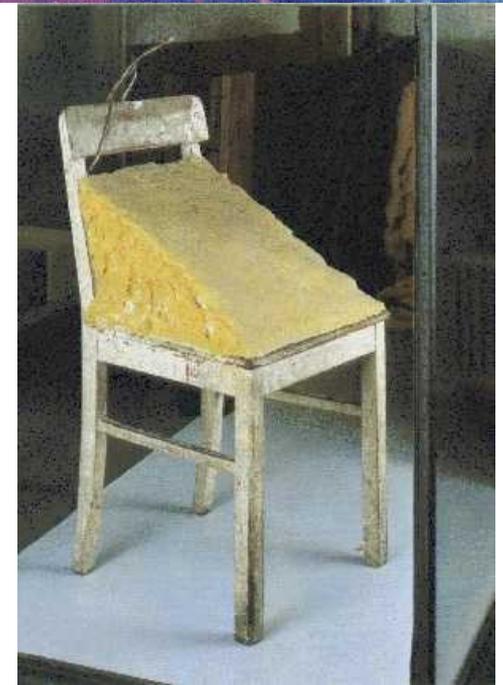
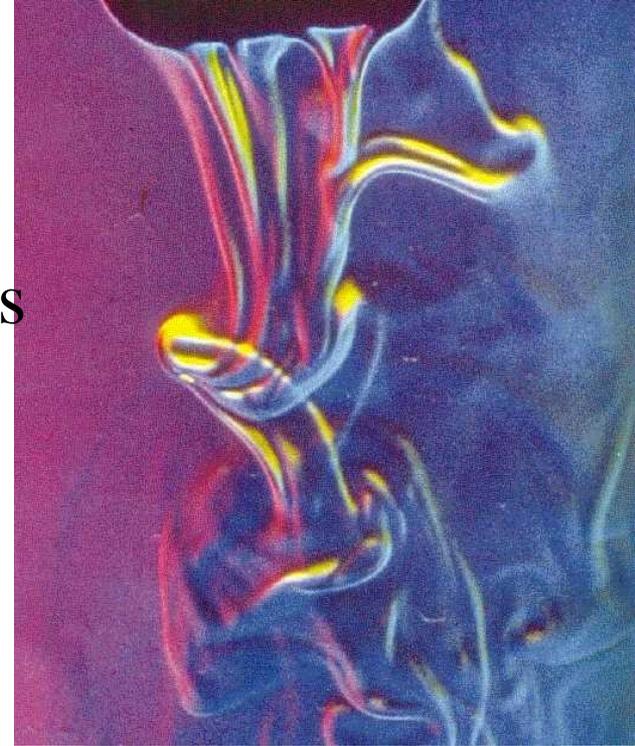
→ physique de pointe, souvent incompris

Pourquoi si difficile ?

Point de vue du physicien :

→ Quel type d'explication?

→ Succès, limites



Mathématiques, savoir parfait



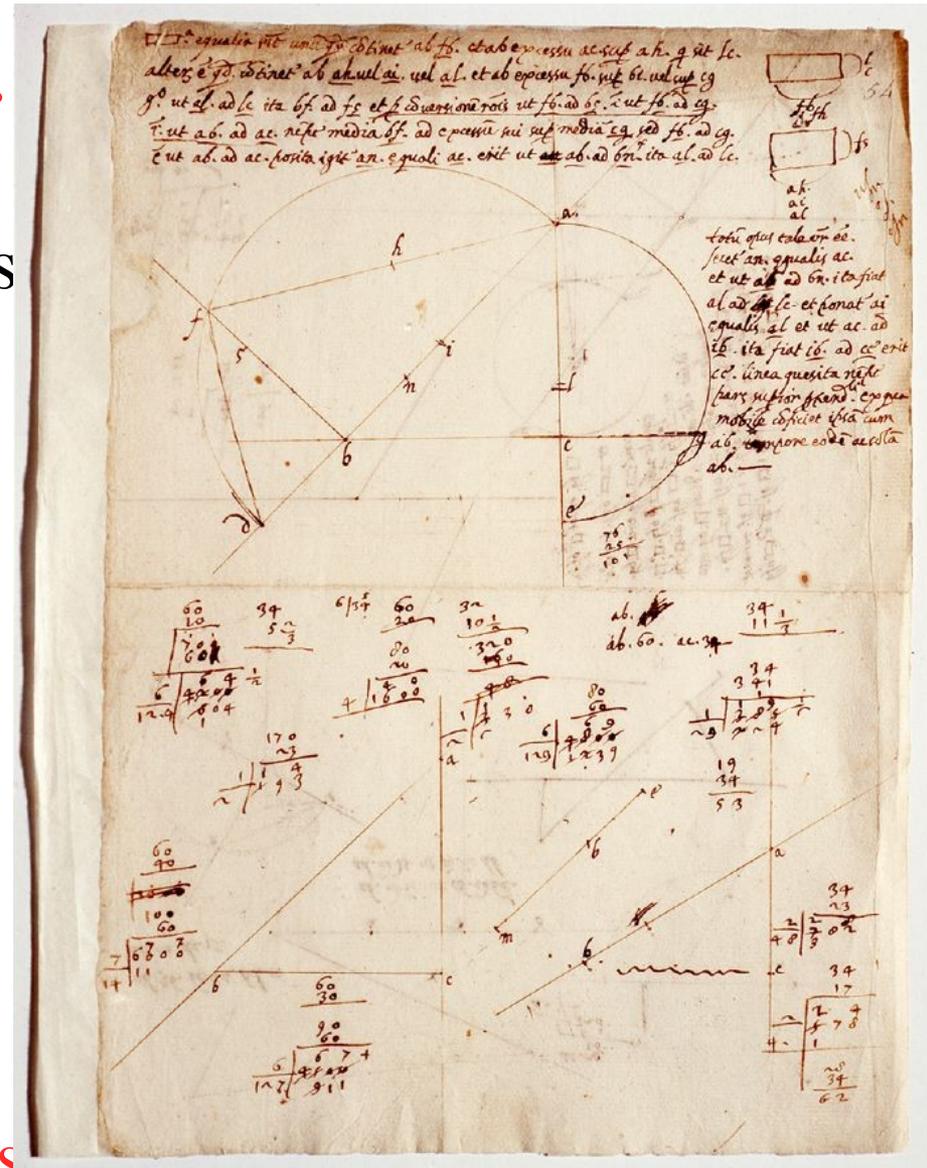
Galilée, adapté des *Dialogues des Grands Systèmes* (Florence, 1632)

« Les hommes savent planter un sarment de vigne, mais Dieu sait faire pousser les racines, puiser la nourriture, en tirer et en distinguer les éléments propres à former les feuilles, les vrilles, les grappes, les grains et les pépins.

Mais en ce qui concerne les propositions géométriques, l'entendement humain en comprend quelques-unes aussi parfaitement et en a une certitude aussi absolue que Dieu lui-même »

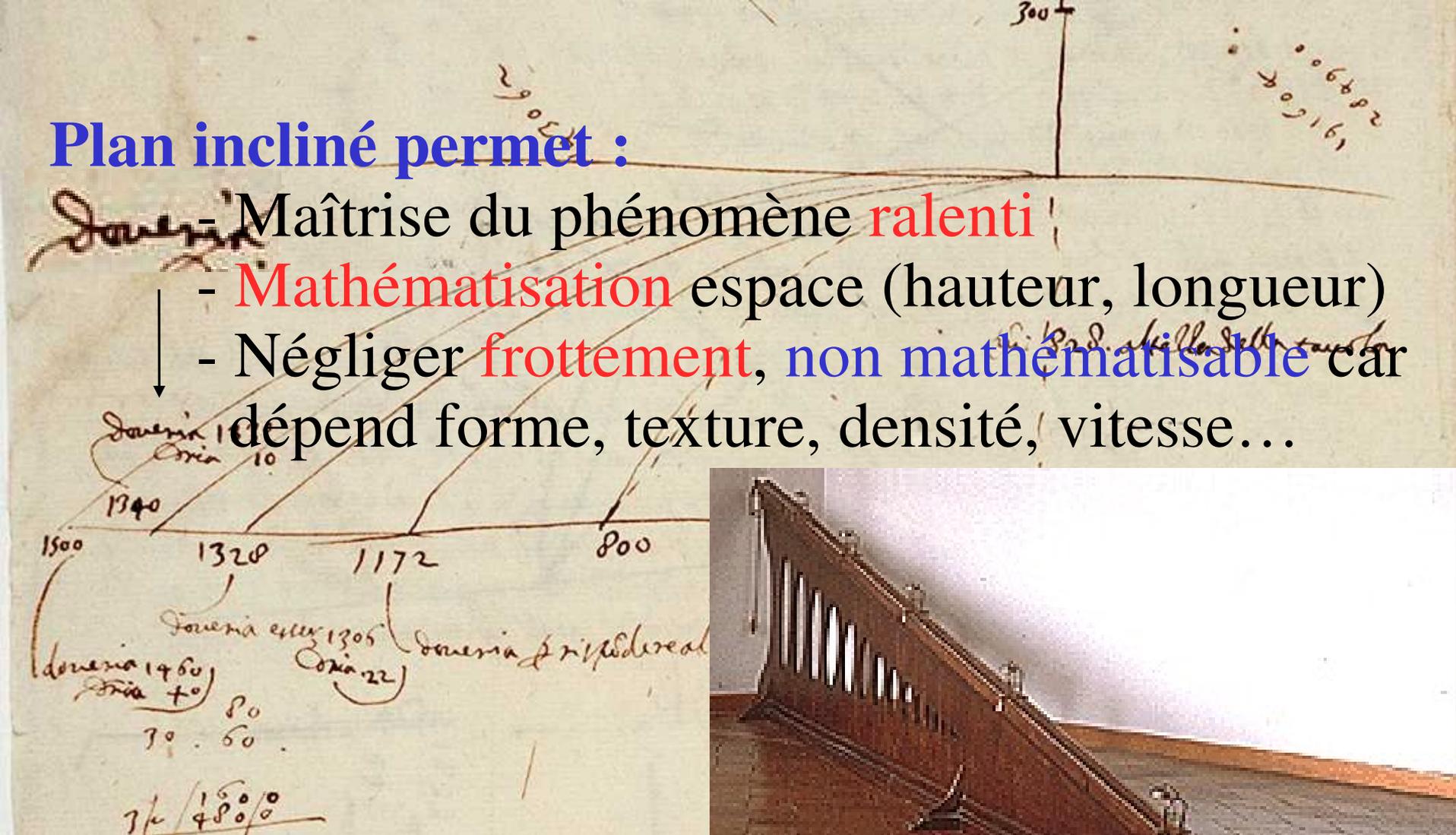
Expliquer, pour un physicien...

- Expliquer, c'est **transformer** un **fait physique** en un problème **mathématique**, puis le résoudre en utilisant les outils mathématiques
- Galilée l'applique au mouvement des corps :
 - Pendule
 - Trajectoires (parabole)
 - Distance \sim temps²
- Transformation par **idéalisation**, pour ne garder que **grandeurs mathématiques**



Plan incliné permet :

- Maîtrise du phénomène **ralenti** !
- **Mathématisation** espace (hauteur, longueur)
- Négliger **frottement**, **non mathématisable** car dépend forme, texture, densité, vitesse...



**Le mouvement
mathématisé**



« Le philosophe géomètre qui veut retrouver dans **le concret** les effets démontrés dans **l'abstrait** doit commencer par compenser les **obstacles** dus à la présence de la matière »

Galilée, Dialogues

Invention de Galilée : *le laboratoire*

M
o
n
d
e

Mouvements

(boules, mais aussi oiseaux!)

Horloge, canon ?

Limites...

Éloignement savoir commun

Simplification
(frottements...)

Applications

L
ab
o

- **Calculs possibles**
- **Explication !?**



L'Univers mathématisé

Newton : gravitation universelle (~ 1680)

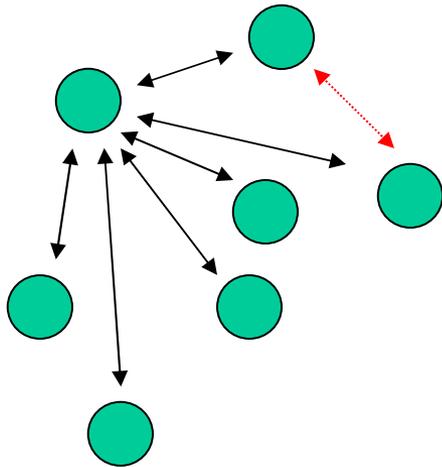
- Observations précises de Tycho Brahé
- Grandeurs **mathématiques** :
 - Planète \equiv point (m, r)
 - Force = $G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
 - Mouvement \sim force
- Permet de *calculer* trajectoires des planètes
- Désaccord ? **Prédiction** de planètes inconnues !



Veermer, l'Astronome

Mathématiser la matière ?

- **Newton** : matière faite de particules solides + forces
(« *principes actifs* » : gravité, fermentation, cohésion)



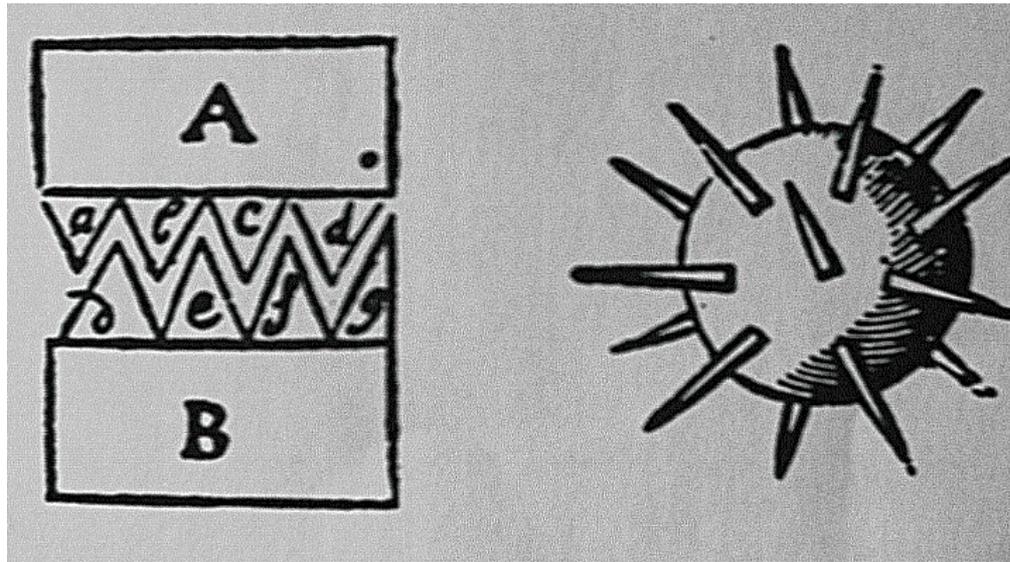
- **Programme de la physique de la matière : trouver**
 - particules stables ~ géométriques
 - forces (expression mathématique)
- **Calculer la matière ! Prédire ?**

Mathématiser la matière?

- **Truc** : la réalité « profonde » est ce qui est mathématisable, qualités premières : *forme, mouvement, stabilité*
- **Programme de la physique** :
 - **Trouver** particules stables et disciplinées, pont entre mathématiques et monde réel
 - **Atomes « mathématiques »**, dotés des seules qualités premières (forme, mouvement, solidité)
 - En combinant les atomes, avec des règles mathématiques, **retrouver la diversité** du monde

Difficile d'expliquer avec les atomes à l'époque de Newton...

« Atomes » des Cartésiens, vers 1700



Fer

Acide

Pour progresser, il faut connaître caractéristiques des atomes : **dimensions, forces, positions...**

Industrialisation : exploration de la matière

→ Métallurgie, électricité, froid

→ meilleur contrôle,
connaissance de la matière



Ampoule électrique au carbone, 1882

→ mécanique quantique



Métallurgie (Tour Eiffel, 1889)

→ niveau microscopique

Physique moderne : atomes

Modèle atomique de la matière

Si, dans un cataclysme, toute notre connaissance venait à être détruite...

« Toutes les choses sont faites d'atomes - petites particules qui se déplacent en mouvement perpétuel, s'attirant mutuellement à petite distance et se repoussant lorsqu'on veut les faire se pénétrer »

Richard Feynman (Nobel 1965), Cours de Physique

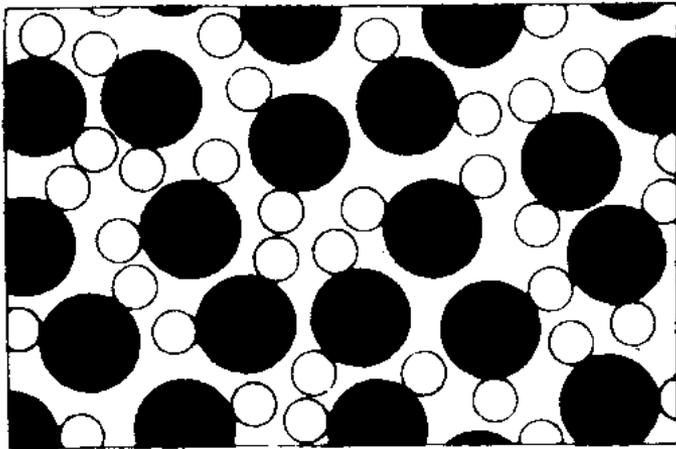
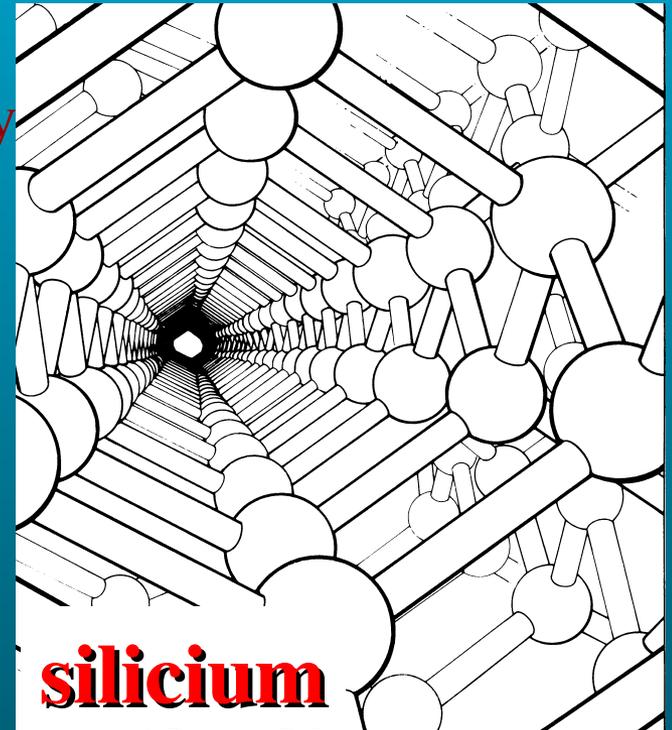


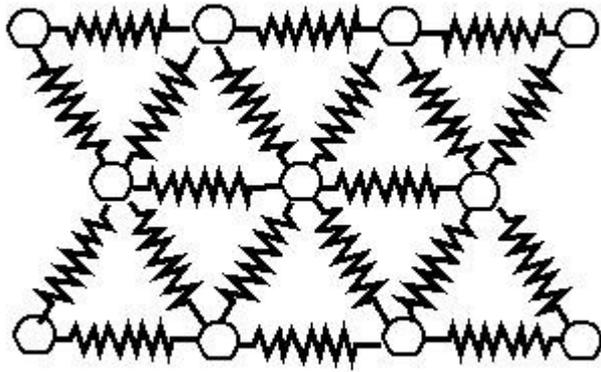
Fig. 1-1. Eau agrandie un milliard de fois.



silicium

Modèle atomique de la matière

Dans les solides,
forces = ressorts

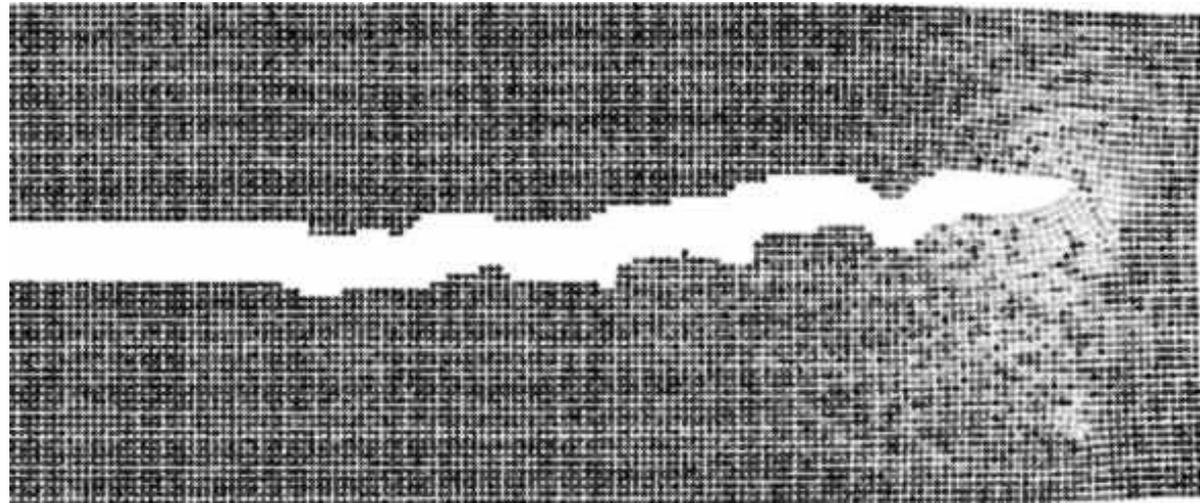


**Que peut-on
comprendre grâce
à ce modèle ?**

**Quelles sont les
limites ?**

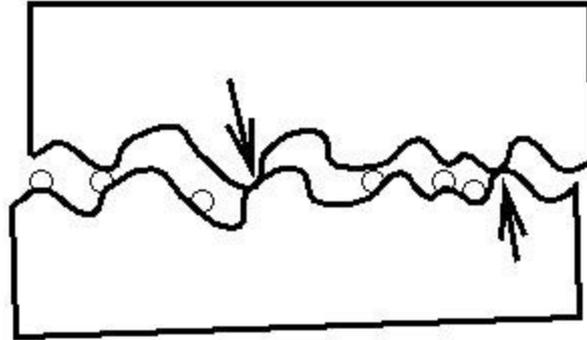
Solidité et cassure d'un solide

- Solidité des ressorts et élasticité
- Il faut casser les « ressorts » qui relient les atomes
- Différence de résistance provient de ressorts plus ou moins résistants ?

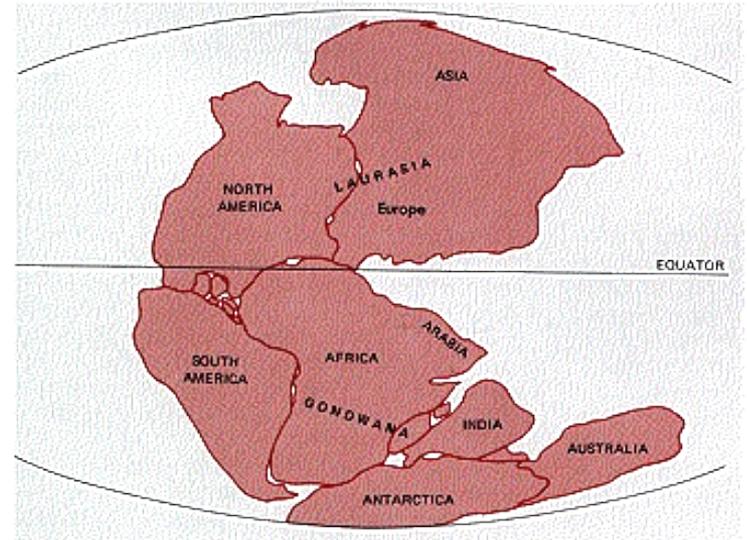
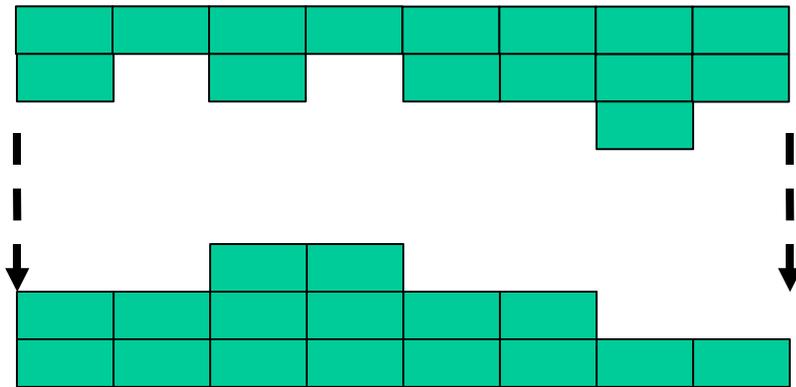


Comprendre avec le modèle atomique

Recoller les morceaux ?



Recoller assiette, comme emboîter **exactement** continents faits de Lego

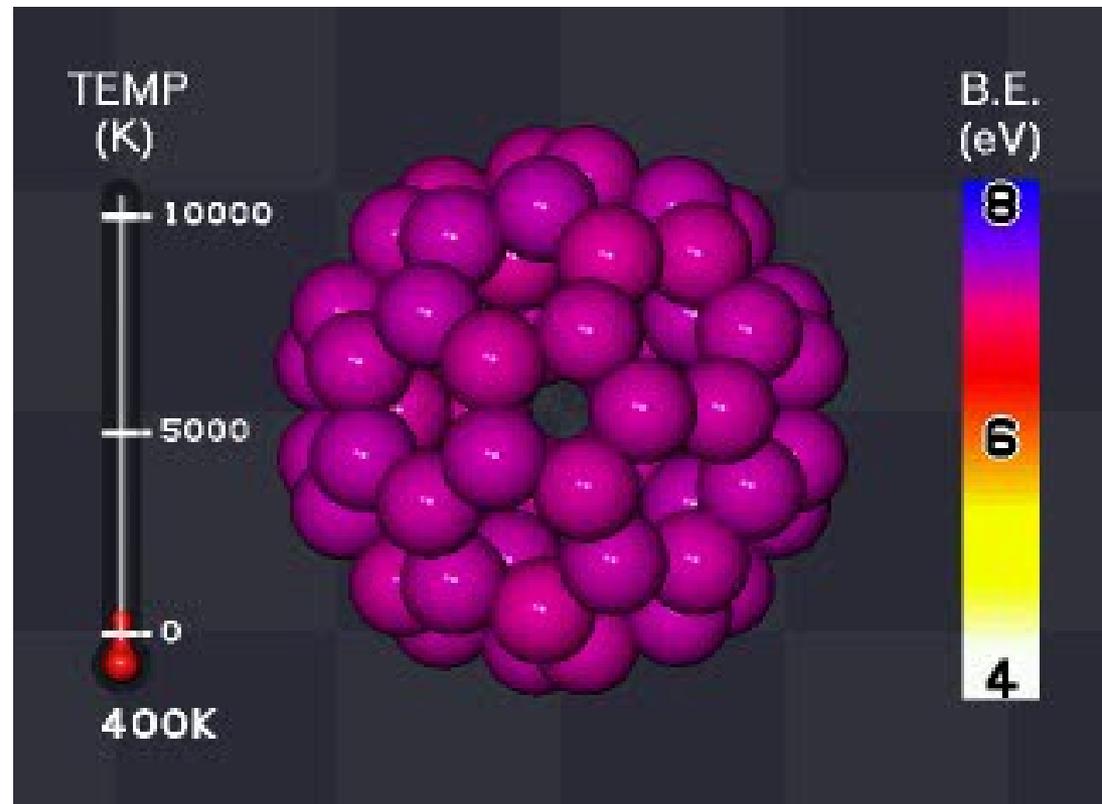


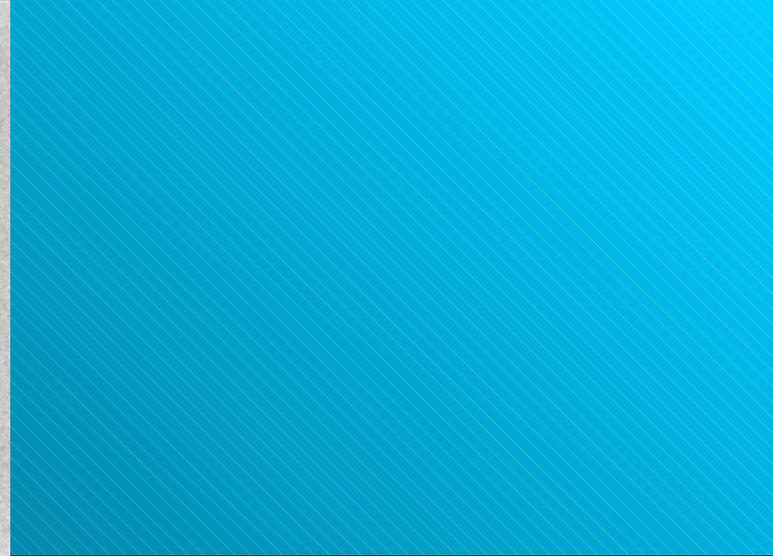
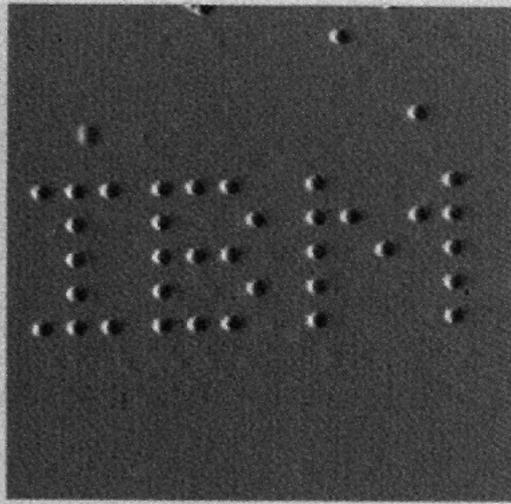
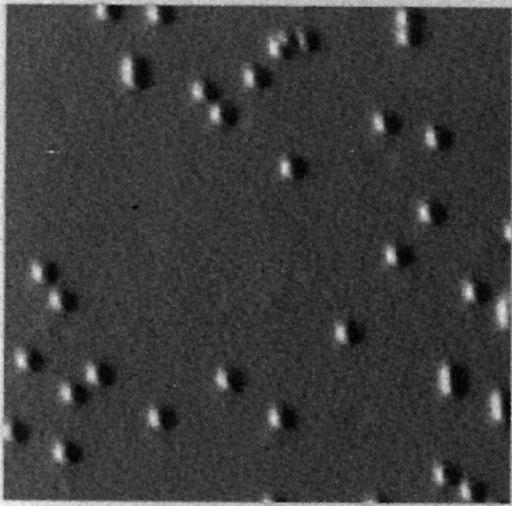
Comprendre avec le modèle atomique

Fusion d'un solide simple

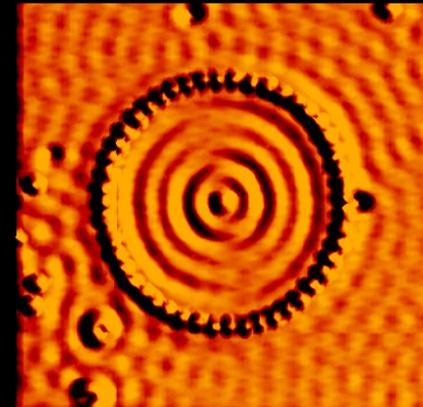
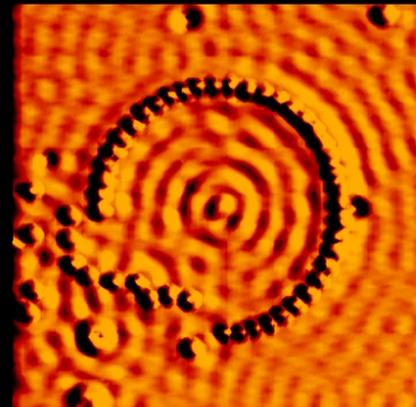
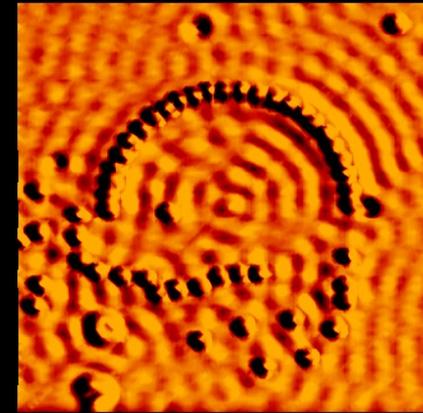
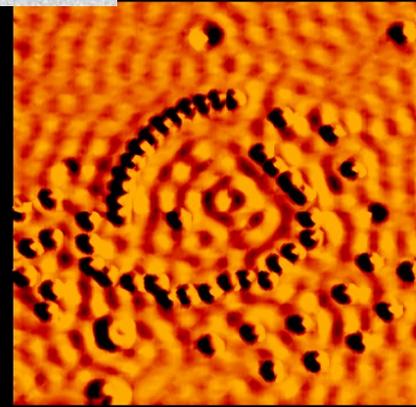
- **Vitesse des atomes proportionnelle à la** (racine carrée de la) **température**
- **Vitesse forte : « casse » ressort → liquide puis gaz !**

- **Exemple :**
fusion de C_{60}





**On sait manipuler
les atomes
un par un**

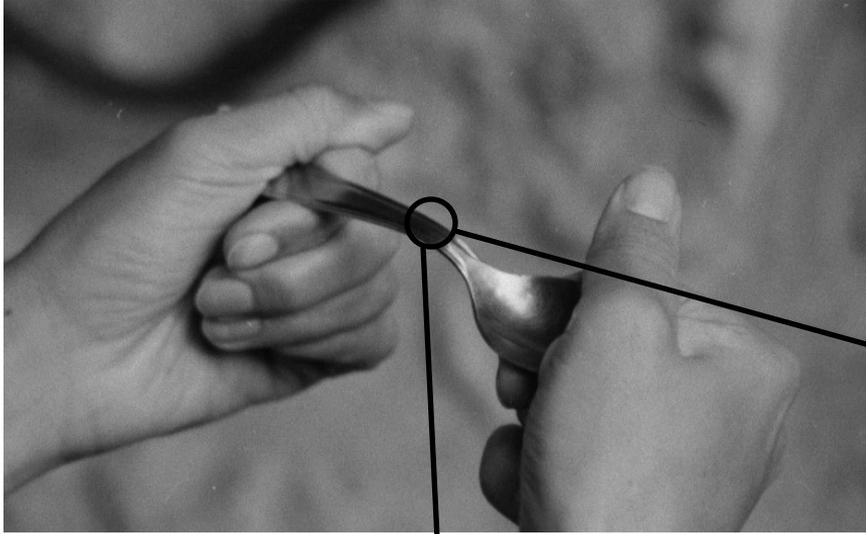


Triomphe théorie atomique?

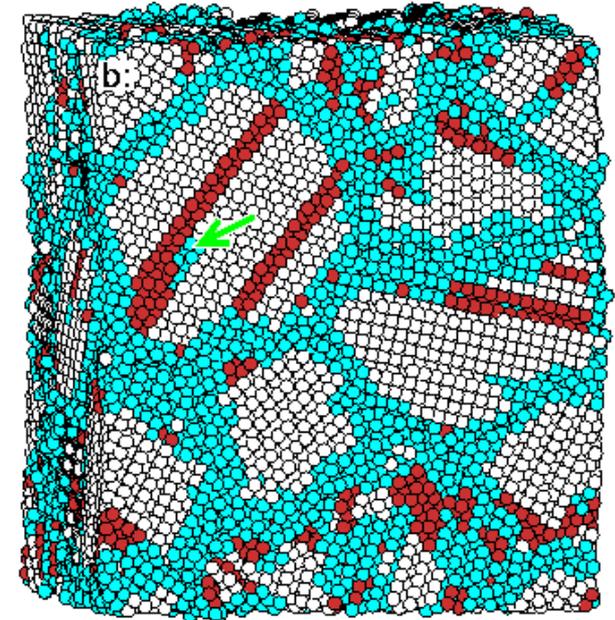
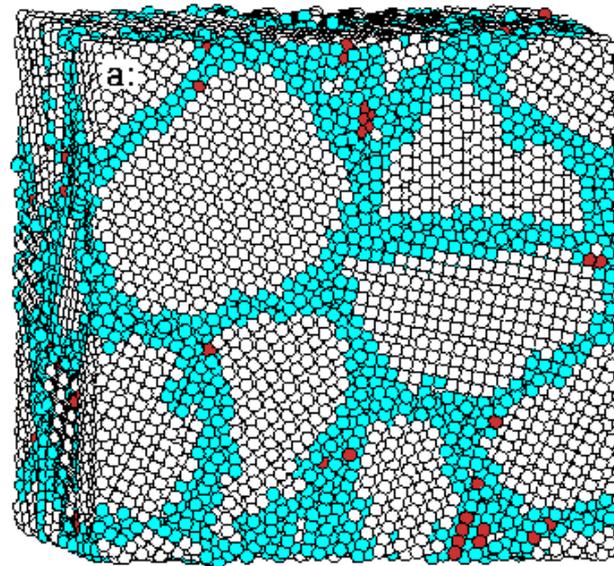
Pas si simple !

- **Atomes si petits**, que nombre astronomique et pas facile de faire calculs (différent système solaire)
- Dès qu'on sort des livres de cours, beaucoup de **structures très complexes** (vivant, matière réelle): il faudra les ordonner !
- Atomes ne sont **pas billes dures** : structure interne, forces très complexes
 - **Le niveau atomique n'est pas toujours le plus pertinent pour comprendre**

Comprendre grâce aux atomes ?

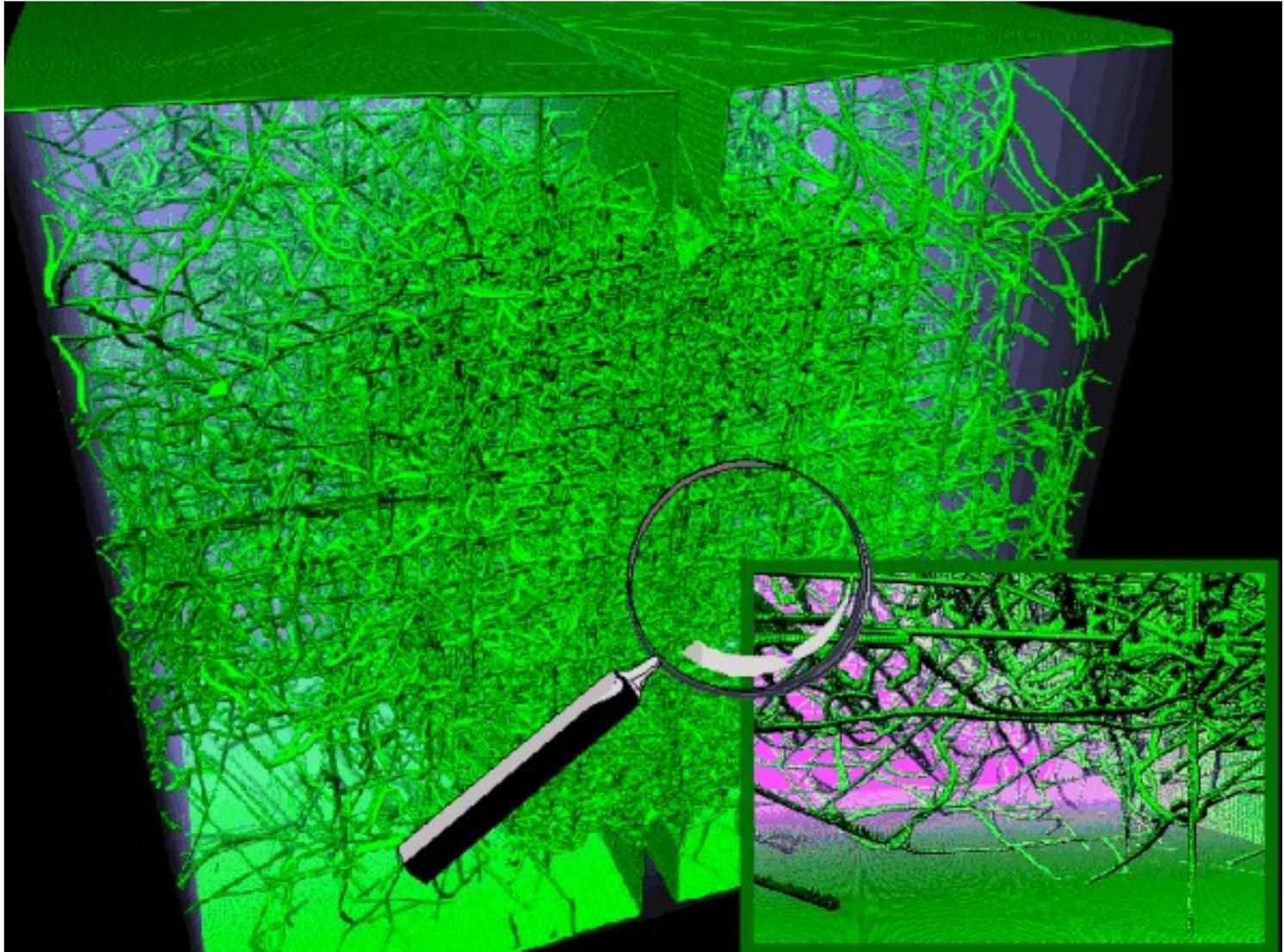


Labyrinthe !!

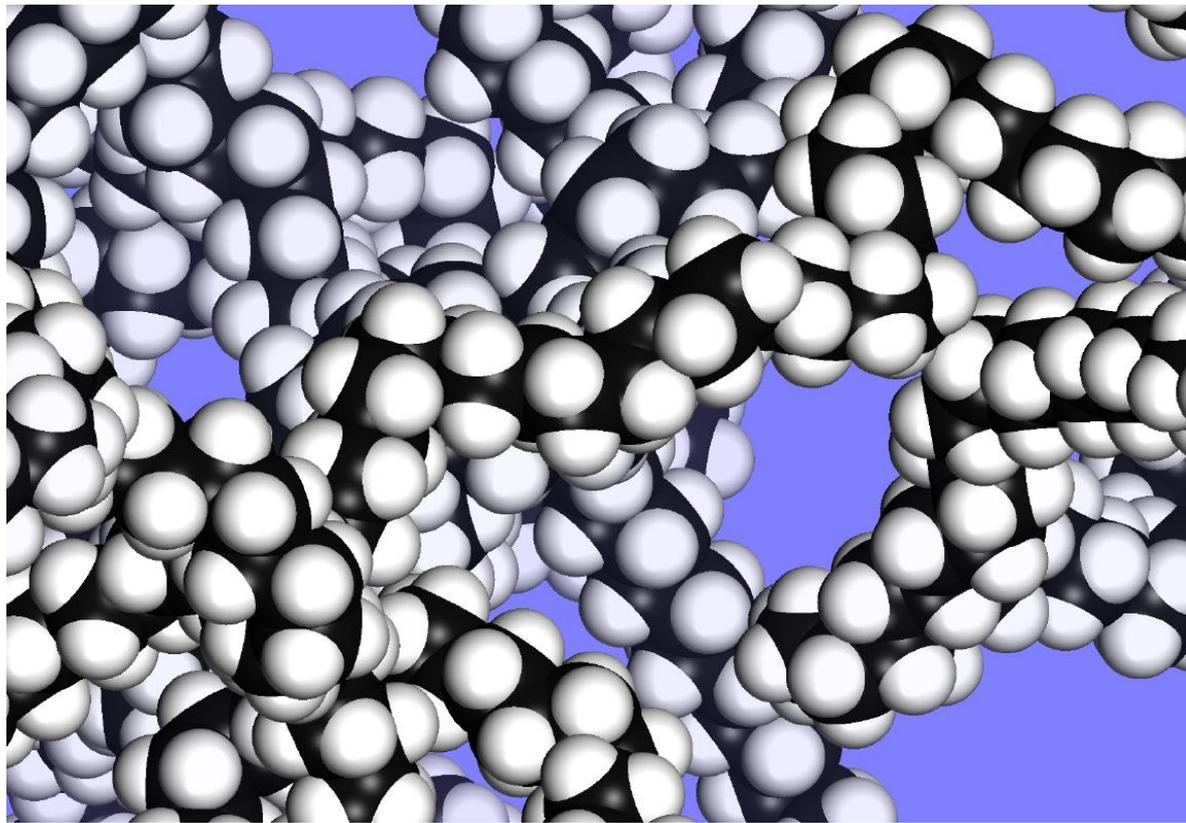


Atomes petits...

Vue atomique de la déformation d'un cristal



Atomes petits...



« Amorphes » (plastiques...)

Pas d'ordre simple !

Structures complexes...

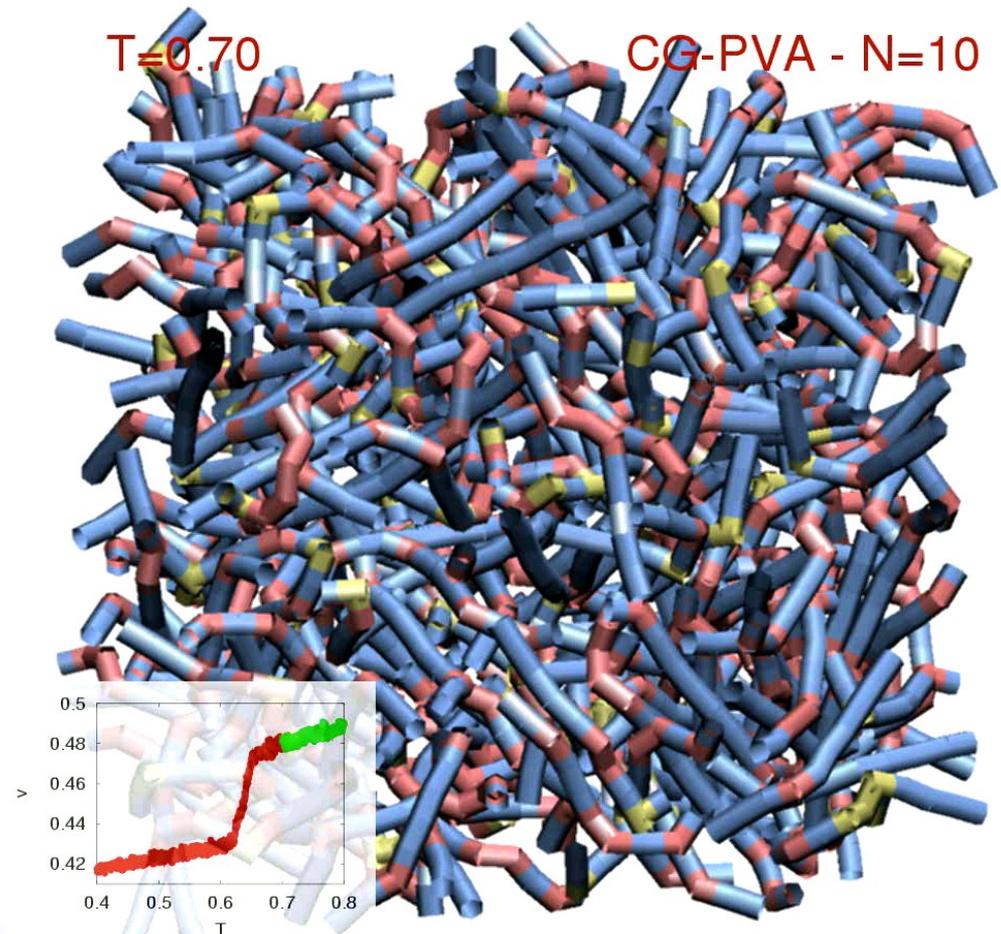
Fusion d'un solide « courant »

- Molécules longues : enchevêtrements...

- Exemple : plastique
Poly(vinyl alcohol)

Effet des chaînes
courtes et longues

Structures complexes...



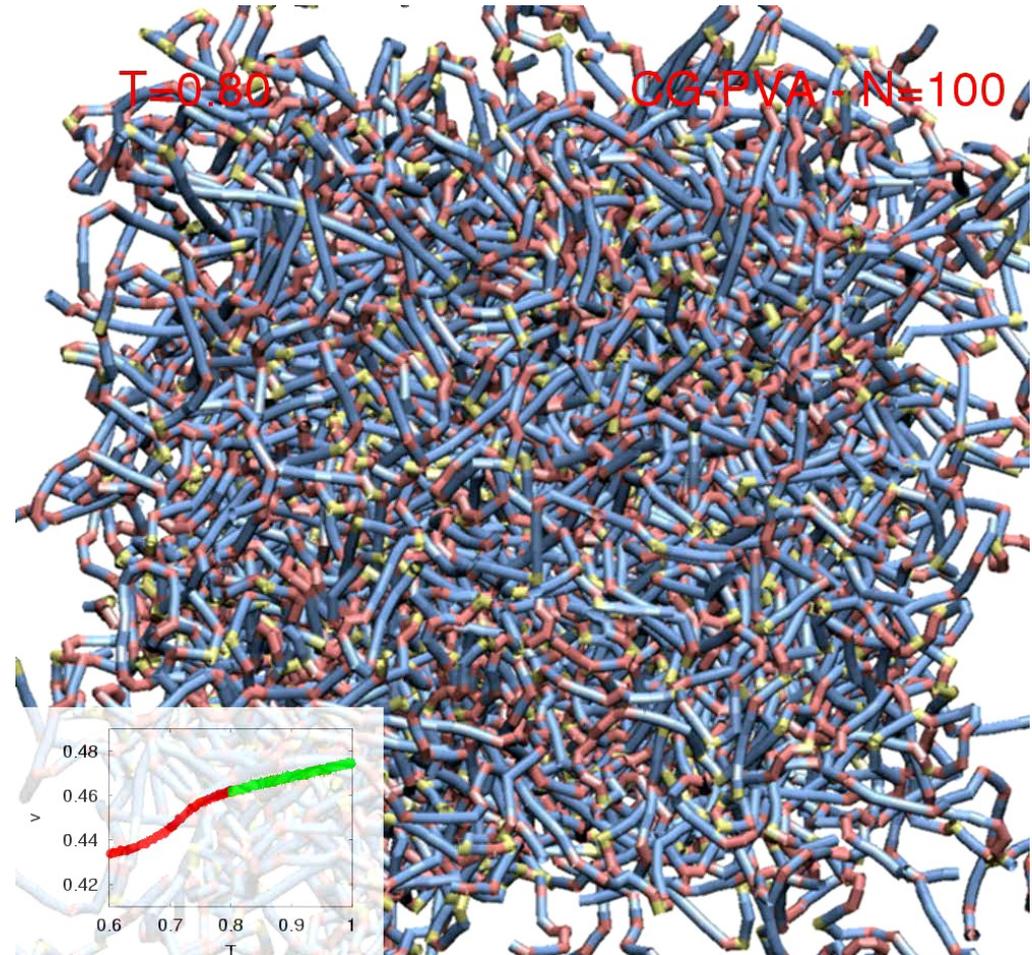
Fusion d'un solide « courant »

- Molécules longues : enchevêtrements...

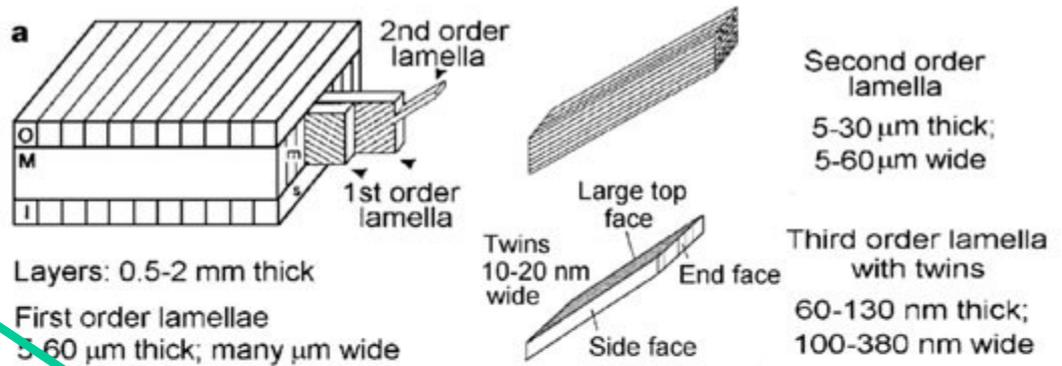
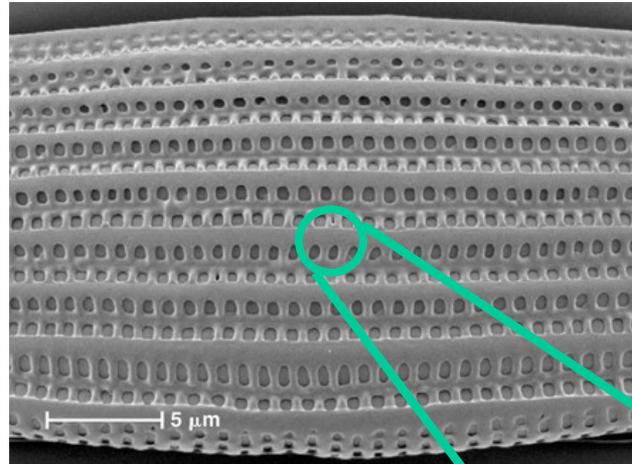
- Exemple : plastique
Poly(vinyl alcohol)

Chaînes **longues**

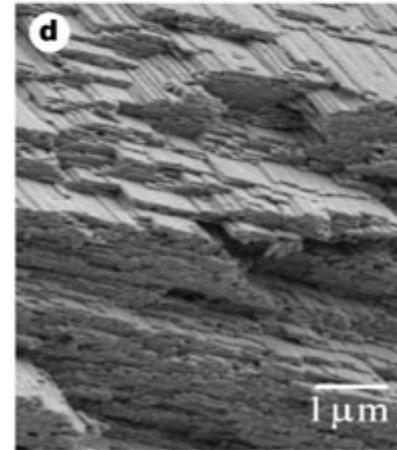
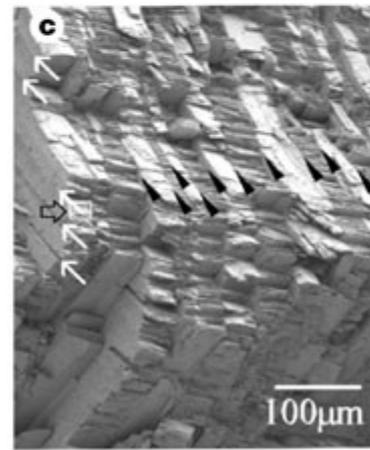
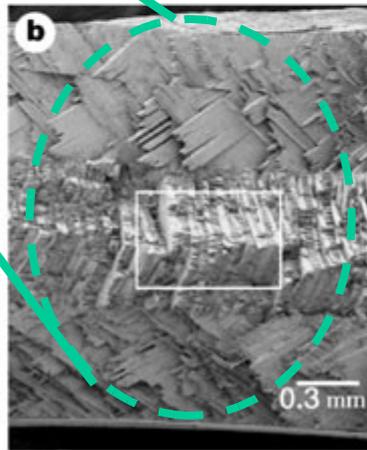
Structures complexes...



Êtres vivants : structures atomiques bien plus complexes...

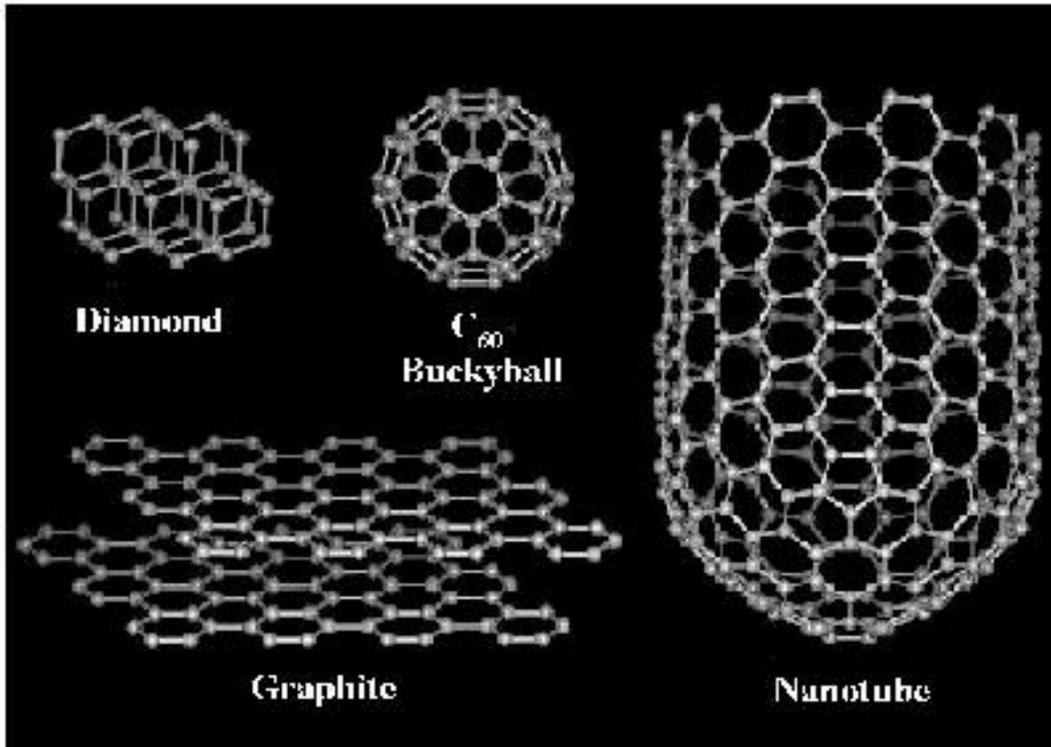


**Coquillage
résistant à la cassure**



Structures complexes...

Avec des atomes de carbone, on peut...



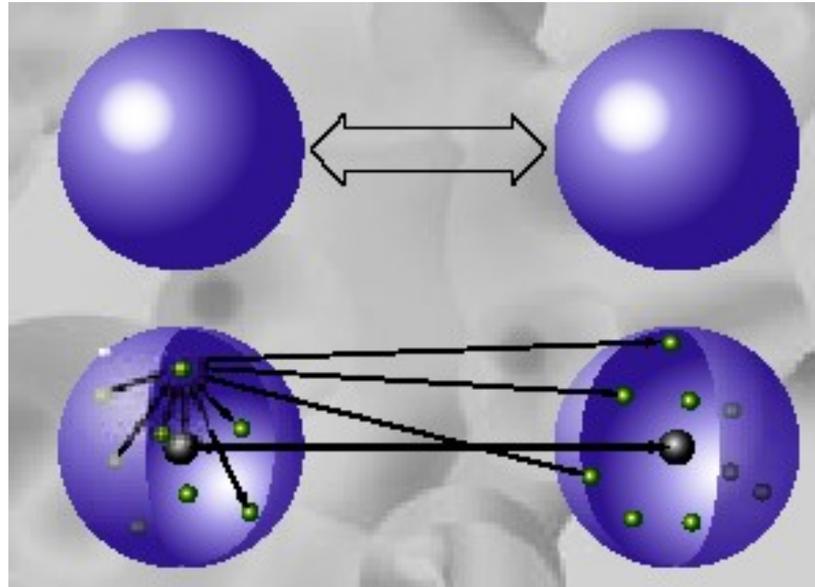
Matériaux très différents !

Pas petites billes...



Forces entre atomes

Forces entre atomes d'origine **quantique**,
expression exacte inconnue !



$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \sum_j \nabla_j^2 - \sum_{j,l} \frac{Z_l e^2}{|r_j - R_l|} + \frac{1}{2} \sum_{j \neq j'} \frac{e^2}{|r_j - r_{j'}|} - E \right\} \Psi = 0,$$

Pas petites billes...

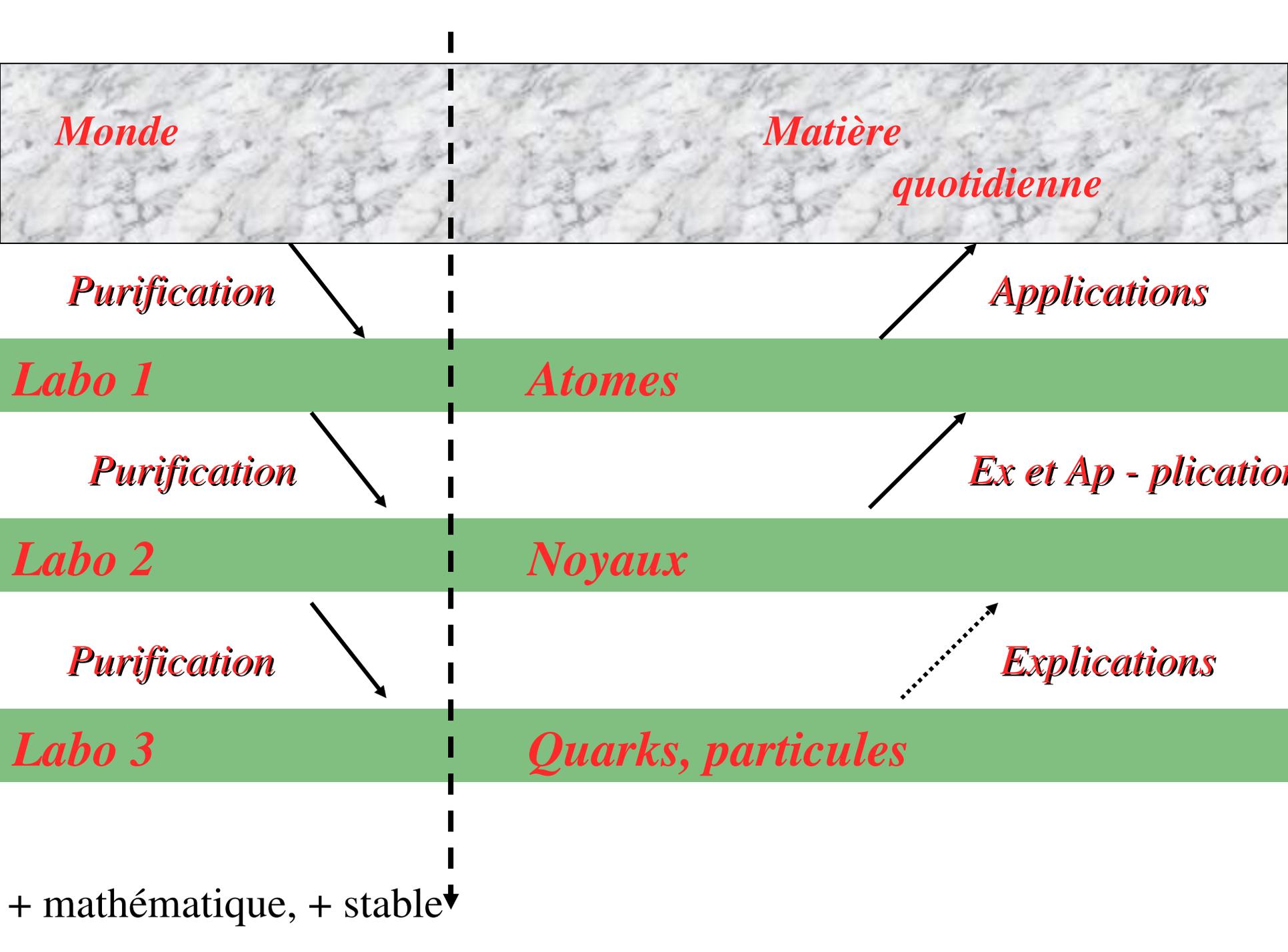
Équation de Schrödinger

Pas Complètement Mathématiques

Atomes \neq planètes ponctuelles (masse)

- Pas tous identiques (90 espèces différentes)
- Pas complètement stables
- Forces très complexes (Si, Al) (différent gravitation!)
- « *Raison* » : structure interne
 - Recommencer, *mathématiser* atomes (noyaux... quarks)
 - Qualités d'ordre zéro, lois de symétrie, conservation

(*Une matière sans qualités? Jean-marc lévy-leblond, 2000*)



Physique de la matière possible ?

Physique des matériaux d'une
"saleté dégoûtante", et
"les bons physiciens ne
devraient pas se vautrer
dans la crasse"

Wolfgang Pauli, 1930



Wolfgang Pauli avec Niels Bohr

Transformer la matière dans les laboratoires

- Matière trop **impure** !

- **Métallurgie** : empirique puis (partiellement) physique



- **Semi-conducteurs** : matériaux théoriques dès le départ

Purifier pour comprendre : l'exemple des métaux

*M
o
n
de*

Métaux

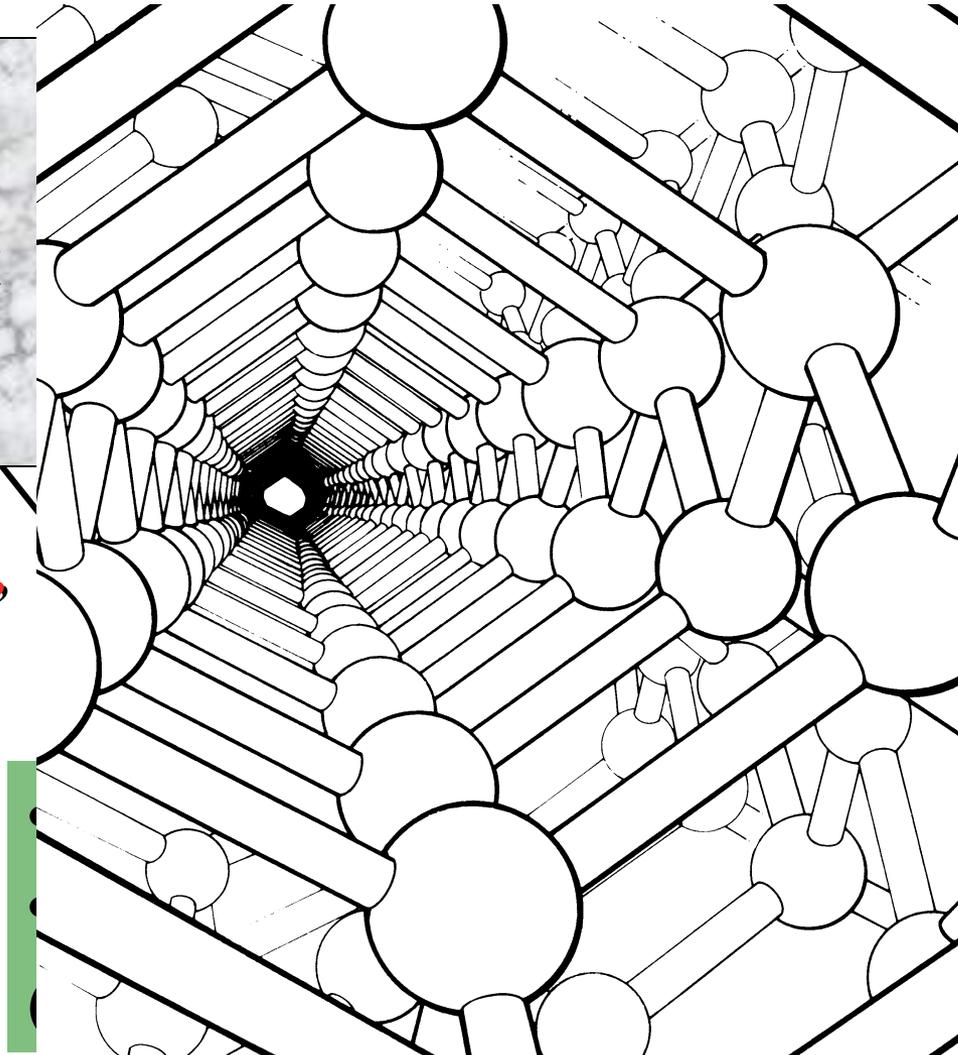
chers !
de pointe

*Purification,
Ordre*

ications

*L
ab
o*

s



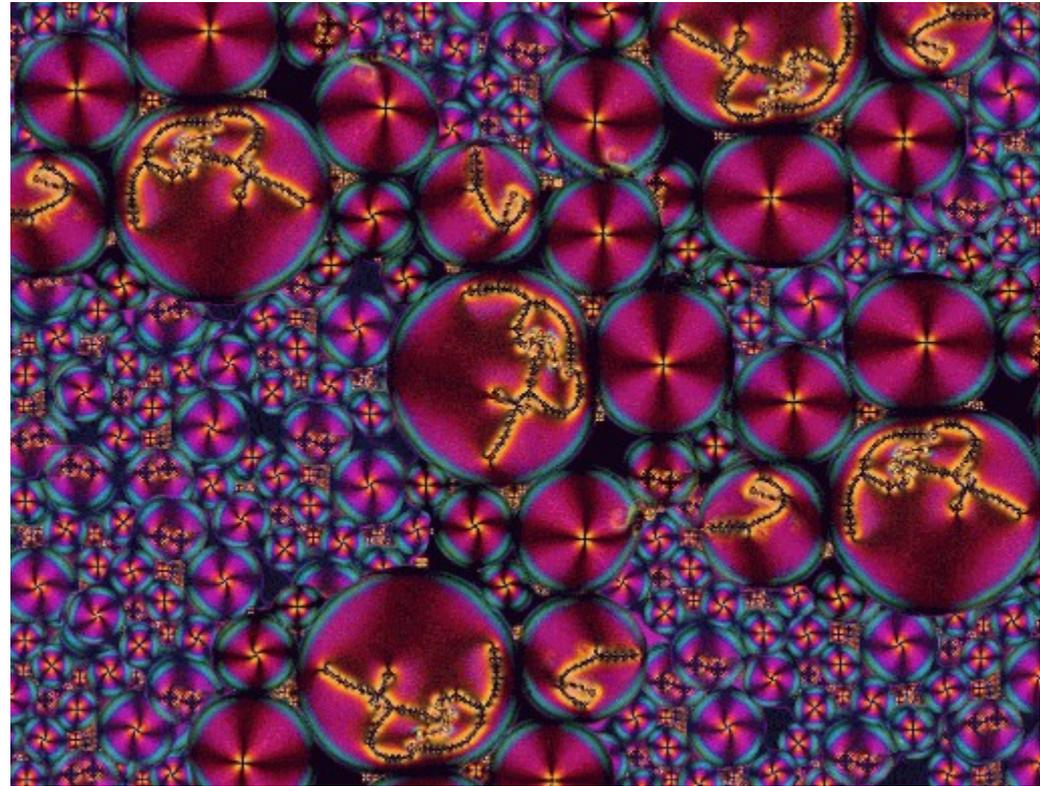
Frontières de la physique de la matière

- Matière désordonnée
- Le rêve de Newton : calculs ab initio
- Nanotechnologies
- Physique de la société



La matière (un peu) désordonnée

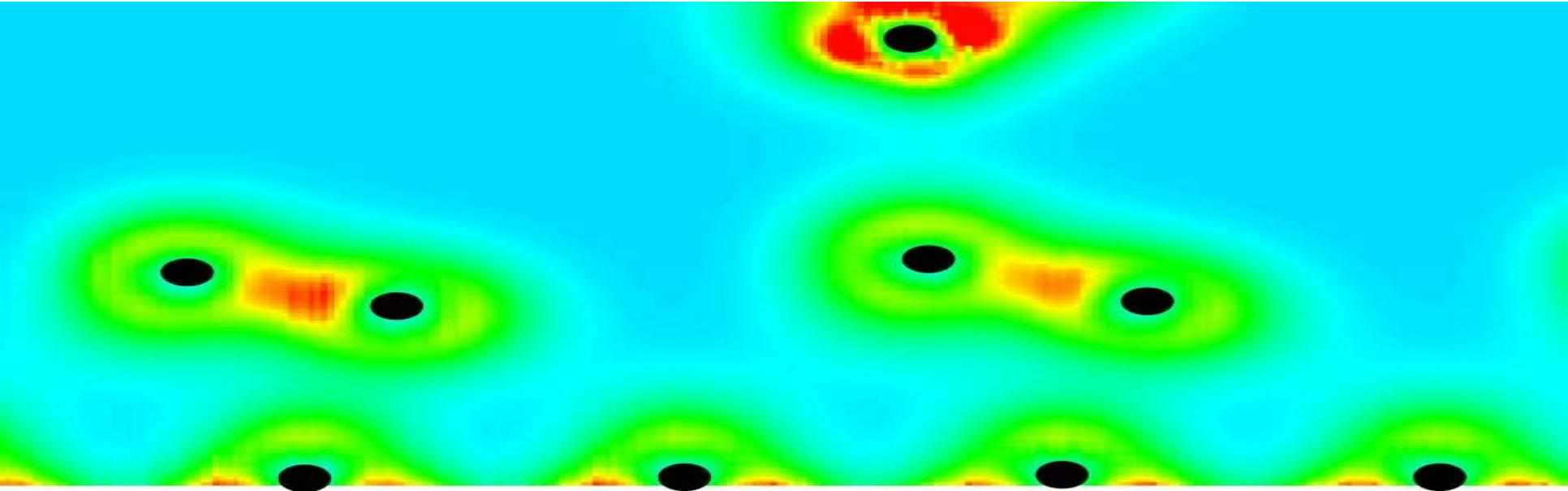
- Impossible ordonner !
- « Oublier » les détails : géométrie fractale, lois d'échelle (viscosité $\sim N^3$)
- *LA RECHERCHE HORS SÉRIE*
N° 9 - *ORDRE&DÉSORDRE* -
(NOVEMBRE 2002)



Cristaux liquides (David Weitz)

Le rêve de Newton

- Calculer les matériaux à partir du numéro atomique
- « Découverte » d'un matériau plus dur que le diamant, étude du noyau terrestre, de l'atmosphère de Vénus...
- **Limites** : matériaux parfaits, petit nombre d'atomes, temps courts



Les nanotechnologies

TOSHIBA

PC Portable Satellite 5100-603

Ref : 167549



Caractéristiques

Description :

Intel Pentium M 1.9MHz - 512Mo DDR - 60Go - Lecteur DVD/Graveur CD - 15" TFT - GeForce 4 440GO 64Mo.

Particularités :

Entrée Vidéo - Ecran couleur Super Fine - Résolution 1600x1200 Pixels - RJ11 - RJ45 - Bluetooth - Infra Rouge - WiFi 802.11b - Haut-parleurs stéréo et SubWoofer Harman/Kardon.

Usage recommandé

montage video professionnel, logiciels de dessins 3d

3999

€ TTC

3343.64

€ HT

Soit

26231.72 F

TTC

Disponible

frais de port OFFERTS

Zoom

Commander

Mémoriser ce produit



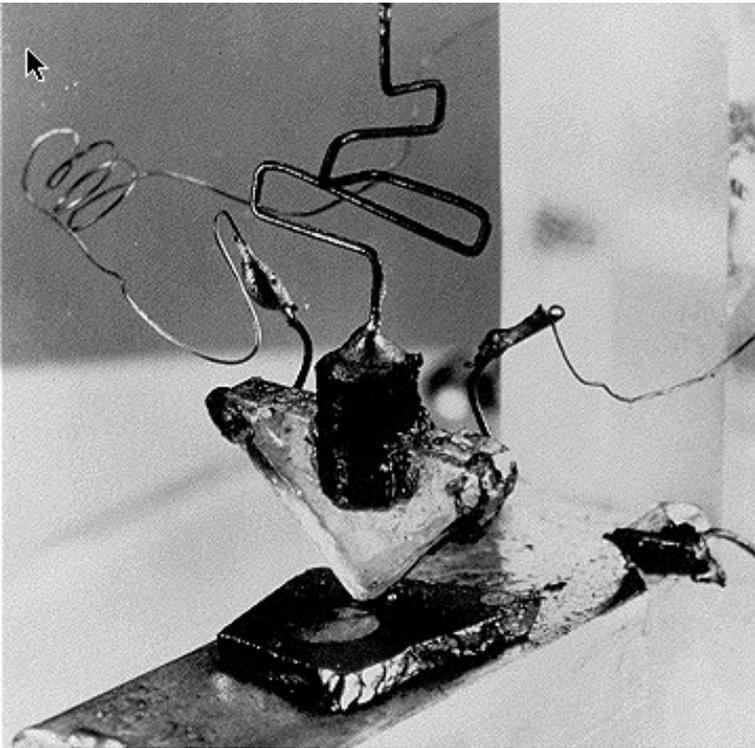
Communication Solutions All-In-One

The Motorola i90c has it all.
It's what you want, it's what you need.

Infos produits

Une référence comme Toshiba arrive encore à nous étonner avec une machine qui n'a même pas été pensée dans les meilleurs films de science-fiction. En effet il intègre un combo lecteur DVD et Graveur CD. Vous me direz : " On a déjà vu". Mais si je vous dis qu'en plus il possède un écran 15" TFT avec la toute dernière technologie SuperFine TFT. Et le clou du spectacle : le touchpad, ce n'ai pas seulement un touchpad, il s'agit aussi d'un petit écran tactile qui permet en outre de se transformer en calculatrice ou de palette graphique pour créer une signature. Mais ou vont ils chercher tout ceci.

L'électronique, triomphe de la physique



Premier transistor (Bell, 1948)

- Semi conducteurs d'abord **prédiction théorique** (1931) de la mécanique quantique
- Chercheurs de la *Bell* **calculent** des amplis, mais dispositifs **réels** échouent !
- Très grande **purification** préalable à toute utilisation
- **Coût** élevé des investissements

Premier ordinateur : ENIAC (1945)

30 tonnes, 19000 lampes à vide...

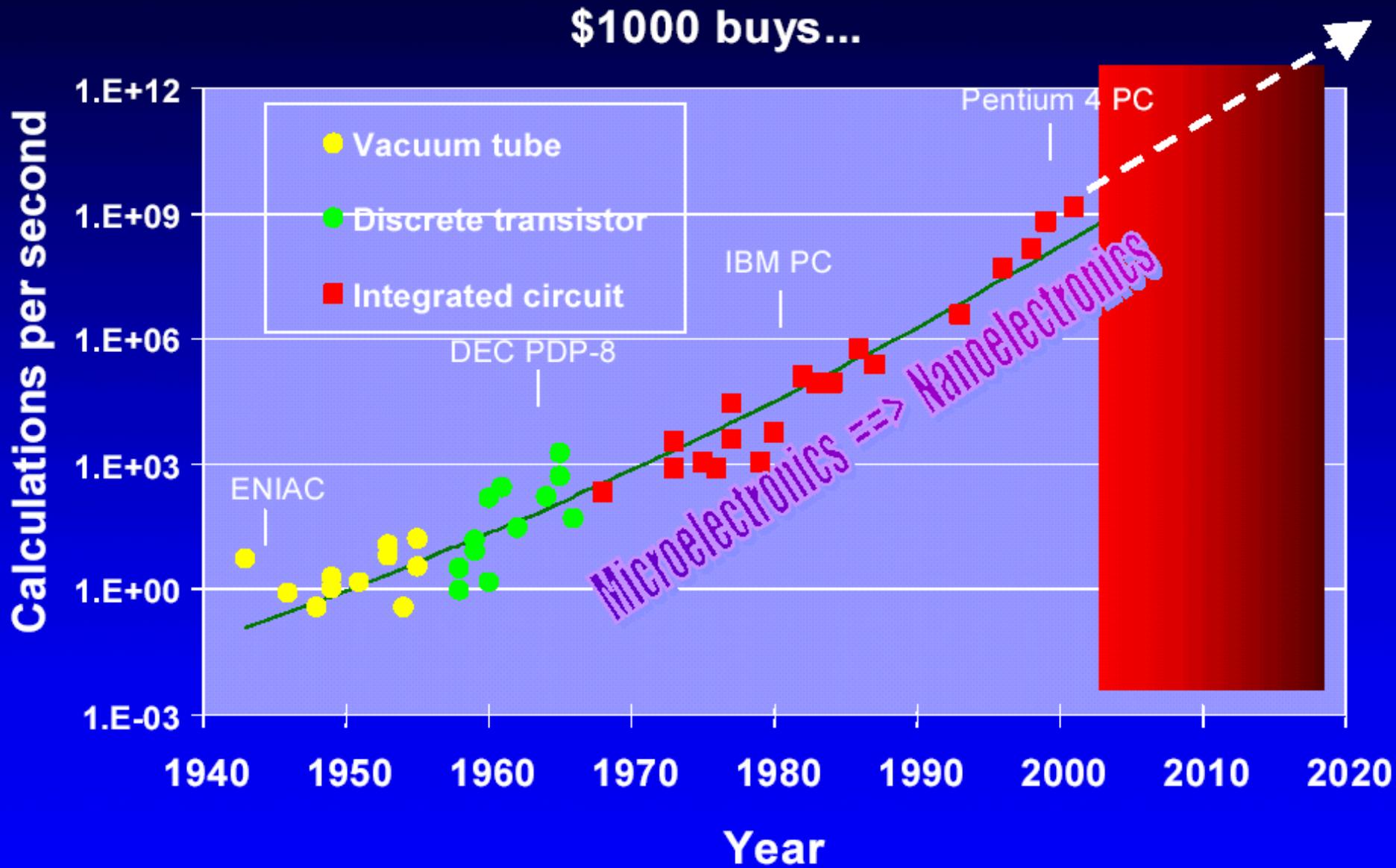
Utilisé pour :

Trajectoires bombes,
explosions atomiques...

Premier « bug » !

Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.

L'incroyable explosion de l'électronique

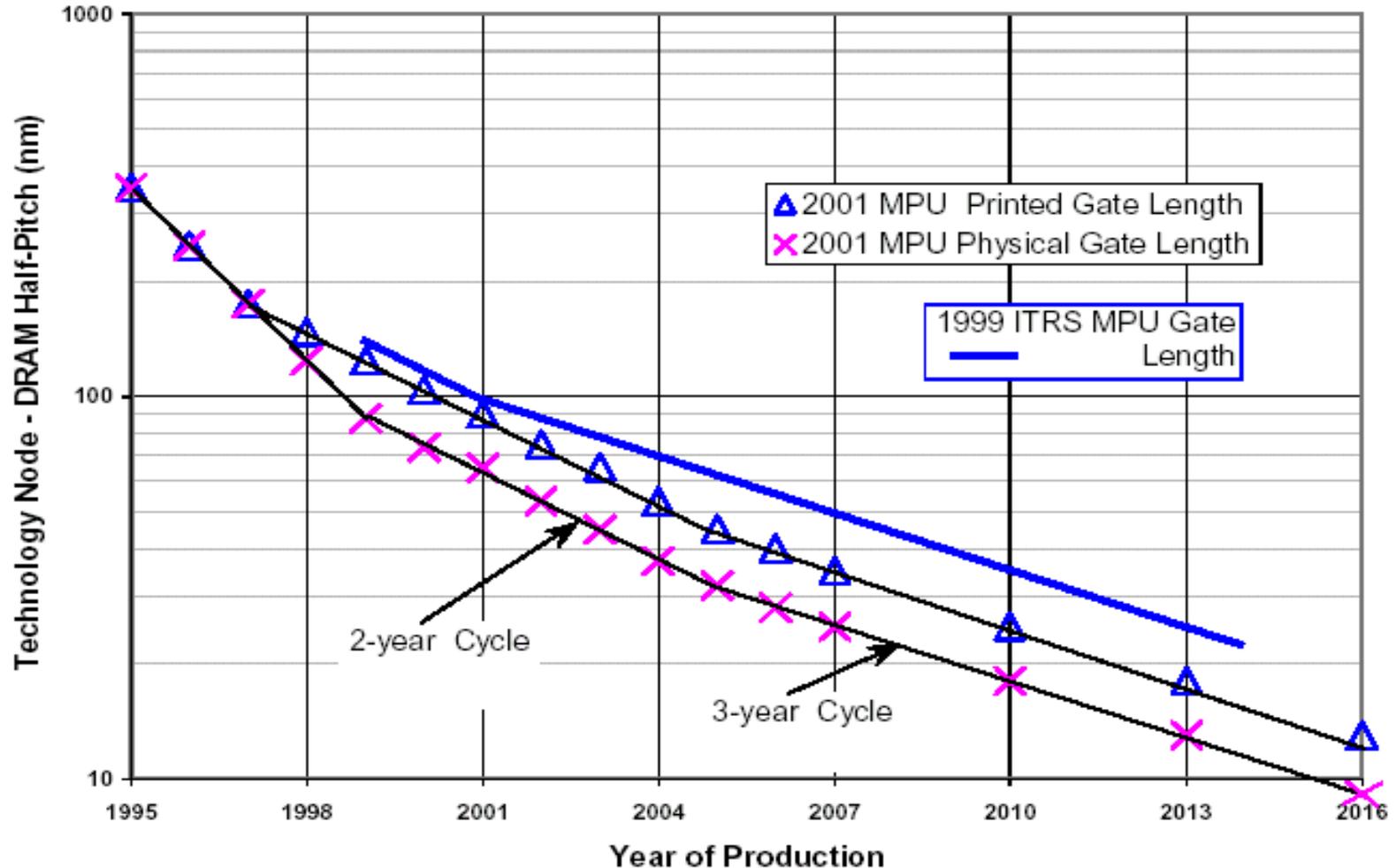


Limites ?

« Mur » de la miniaturisation

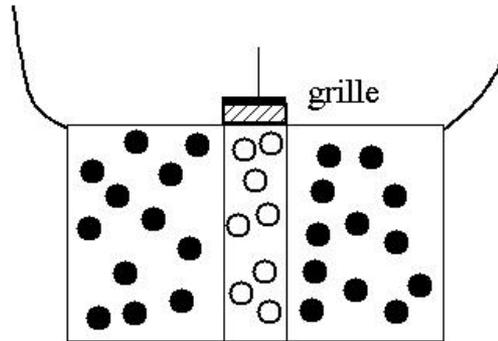
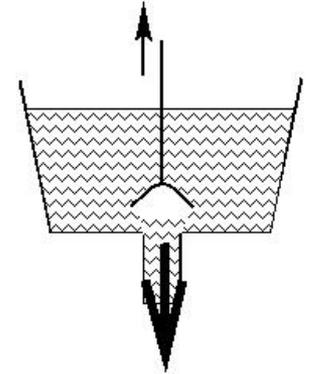
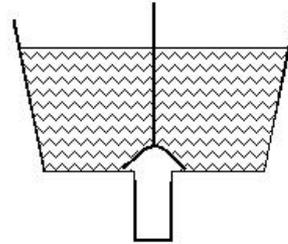
ITRS Roadmap Acceleration Continues...Gate Length

Dimension des transistors

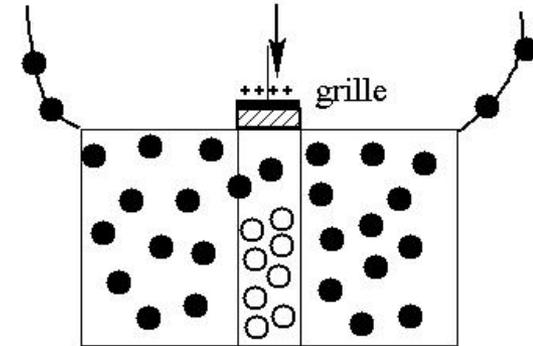


Problèmes de la miniaturisation

- Courants de fuite
- Echauffement des circuits
- Propriétés de la matière : effets quantiques !



bloqué



passant

Nanobiologie : pas si simple...

- Belle image... totalement irréaliste !
- fausses couleurs
- forces de surface
- mouvement erratique

Physique, point de vue particulier sur le monde :

- mathématiques

→ éloignement du savoir commun (inertie)



Dieu géomètre
Musée du Moyen
Âge (Paris)

Limites de la physique de la matière...

- Réussites : électronique, nanotechnologie ?
- Atomes surtout pertinents dans le réseau technologique occidental ~ *voitures* !?
 - physique tiers-monde : surtout théoriciens !
- Laboratoires indispensables pour étudier et simplifier la matière (pureté, ordre)
 - limites : *frottements, corps désordonnés, défauts...*

Matériaux

- Ashby M. F. et D. R. Jones, 1991, *Matériaux* (Dunod) **620.11 Applied physics**
- Ashcroft Neil et David Mermin, 1985, *Solid State Physics*, (Saunders College) 530.41 Solides
- Ball Philip, 1997, *Made to Measure* (Cambridge University Press) 539 Physique moderne
- Dagognet François, 1997, *Des détritrus, des déchets, de l'abject*, Les empêcheurs de penser en rond, Paris.
- Dorlot JM, JP Baïlon et J Masounave, 1986, *Des Matériaux*, (Ecole Polytechnique de Montréal) 539
- Guinier Alain et Rémi Jullien, 1987, *La matière à l'état solide*, Hachette-CNRS
- Hulin Jean-Pierre et Etienne Guyon, 1997, *Granites et Fumées* Odile Jacob.
- Jensen Pablo, 2004, *Des atomes dans mon café crème* Le Seuil (Points-Sciences) 539
- McGee Harold, 1997, *On Food and Cooking : The science and lore of the kitchen*, Collier Books
- Quéré Yves, 1990, *Physique des Matériaux* (Ellipses) 539
- Ryan JC et AT Thurning, 1997, *Stuff: the secret lives of everyday things* (Seattle)

Physique générale

- Cohen-Tannoudji, Claude et coll., 1982, *Mécanique Quantique*, Hermann. **530.12 COH**
- Diu B, C. Guthmann, D. Lederer et B. Roulet, 1989, *Physique Statistique*, (Hermann, Paris)
- Feynman, Le Cours de physique de Feynman
- Feynman, Lumière et matière, une étrange histoire
- Feynman, La nature de la physique **530.1 FEY**
- Goodstein David, 1985, *States of Matter*, Dover (New York)
- Lévy-Leblond Jean-Marc et Françoise Balibar, 1984, *Quantique* (InterEditions, CNRS)

Philosophie, histoire

Bensaude-Vincent, Bernadette, 1993, *Lavoisier*, Flammarion.

Bensaude-Vincent, Bernadette et Isabelle Stengers, 1993, *Histoire de la chimie*, La Découverte.

Clavelin Maurice, 1996, *La philosophie naturelle de Galilée*, Albin Michel, (édition poche)

Galilée, 1632, *Dialogues sur les deux grands systèmes du monde*, (Sources du Savoir, Le Seuil, 1992)

Hoddeson Lilian (Ed.), 1992, *Out of the Crystal Maze*, Oxford University Press (New York)

Krieger Martin H., 1992, *Doing Physics*, Indiana University Press (Indianapolis).

Latour, Bruno, 1989, *La Science en Action*, (Gallimard)

Levi Primo, 1987, *Le système périodique*, Albin Michel, Paris

Lévy-Leblond Jean-Marc, 1996, *Aux contraires*, (Gallimard)

Licoppe Christian, 1996, *La formation de la pratique scientifique : le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)* (La Découverte)

Lucrece, 1964, "*De la nature*" (GF Flammarion)

Newton, Isaac, 1726, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (Jacques Gabay, Ed. Sceaux)

Perrin, Jean, 1913, *Les atomes*, Flammarion (réédité en 1991)

Pickering Andrew, 1995, *The mangle of practice*, University of Chicago Press

Toulmin Stephen et June Goodfield, 1962, *The Architecture of Matter*, University of Chicago Press.

SITES INTERNET UTILES :

American Institute of Physics, <http://scitation.aip.org/ajp/>

The American Institute of Physics (AIP), <http://www.aip.org/>

Tableau Mendeleïev, <http://www.webelements.com/>

Physique au CNRS, <http://www.spm.cnrs-dir.fr/>

Cité des Sciences, Science Actualités : <http://www.cite-sciences.fr>