

**De futures ruptures scientifiques  
seront-elles à l'origine d'innovations?**

**Pierre Papon, Cité des sciences et  
de l'industrie,**

**4 Juin 2012**

# Vous avez dit ruptures?

## Paradigme

**Des découvertes, des théories avec une capacité d'explication et de prévision : structurent un champ scientifique (paradigme)**

**Paradigme guide la recherche pendant des décennies (exemple: physique quantique)**

**La science ne progresse pas de façon linéaire (T.Kuhn) : des changements de paradigme ► ruptures**

*Ruptures techniques : - transistor, 1947, résultat de la R&D - conteneur, 1960, innovation sans lien avec R&D*

# Vous avez dit ruptures?

**Prévision difficile: repérer des percées majeures, des théories insatisfaisantes, des paradigmes en « bout de course »**

**1905: Einstein et la théorie de la relativité  $E = mc^2$**

**1914 :Wells, « La destruction libératrice », Energie nucléaire?**

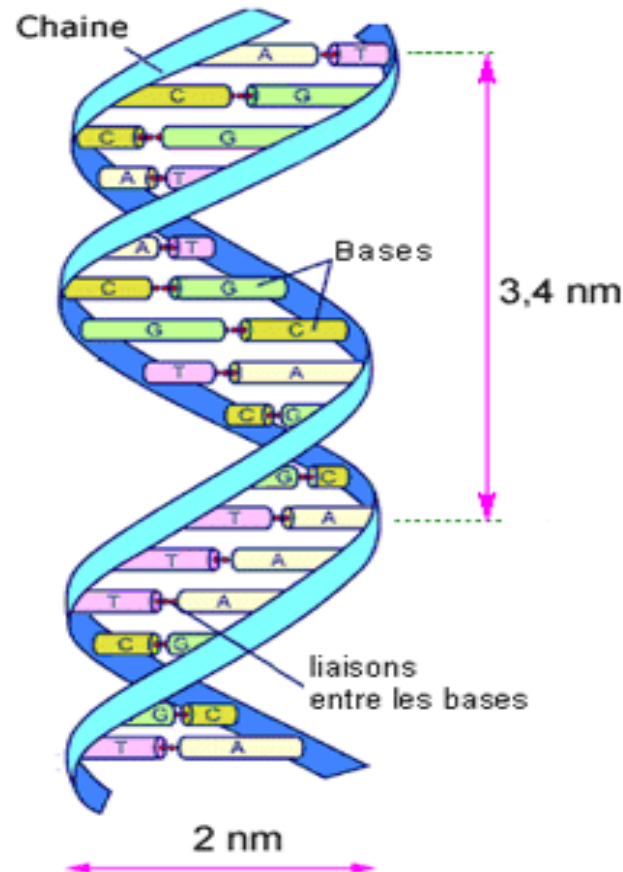
**1948: D.Dubarle : l'avènement de l'informatique**

# Des ruptures en biologie?

## Paradigmes dominants : Biologie, Génétique

- Dogme central de la biologie moléculaire (1950-1960)

ADN

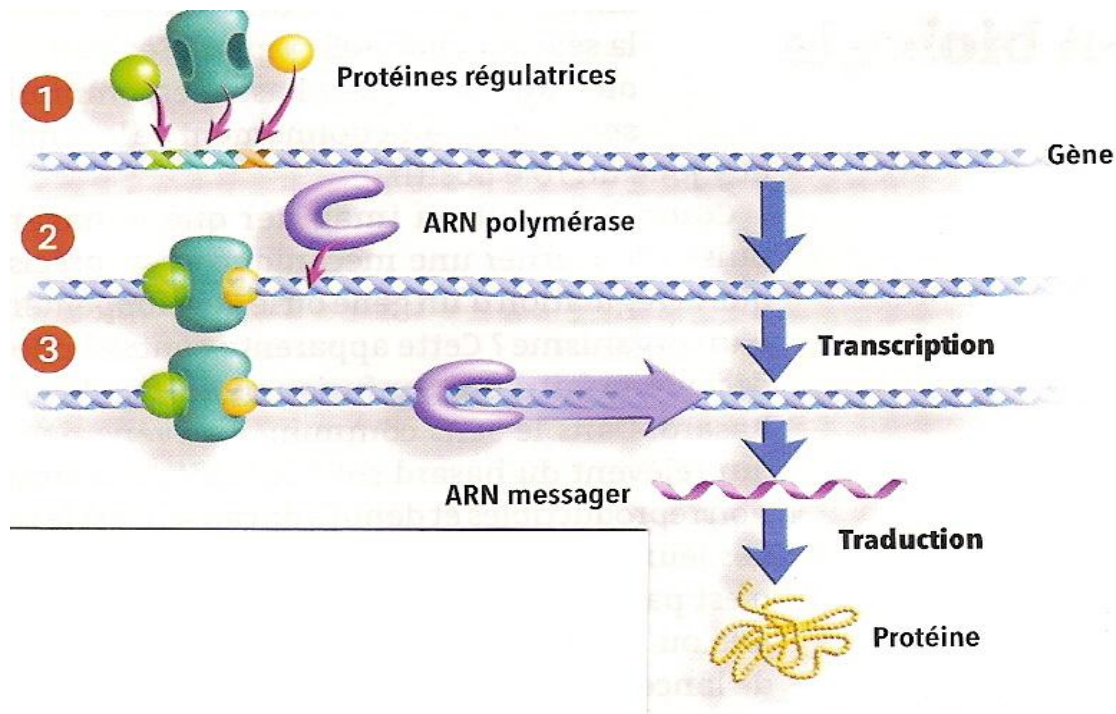


**Bases :**  
**A,C,G,T**  
**Jouent un**  
**rôle clé**

# Des ruptures en Biologie?

Le dogme central (ADN ► ARN ► Synthèse des protéines) simplifie les choses : une biologie systémique

Un système: gènes, ADN, ARN, protéines *en interaction* ► changement de paradigme



# **Des ruptures en Biologie?**

## **Une biologie systémique**

**Approche probabiliste : probabilités d'interaction protéines avec des gènes ► probabilités de phénomènes**

**Relation étroite avec la physique: prévoir?? modéliser**

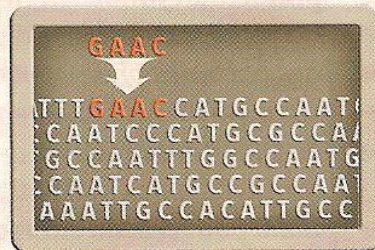
**Rôle clé de la bioinformatique**

# Des ruptures en biologie : une biologie synthétique

**Synthèse de génomes de micro-organismes: morceaux  
ADN ► insertion par virus dans une levure ►  
multiplication ► remplace le génome d'une bactérie**

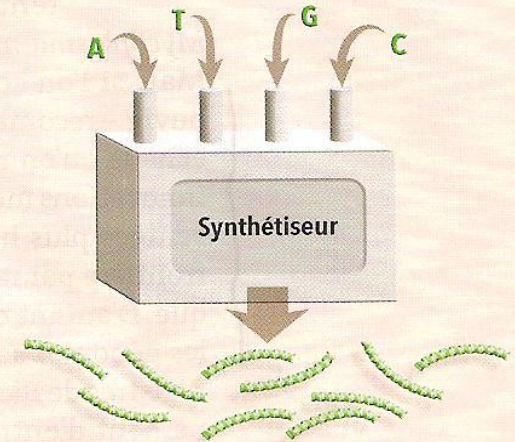
## 1 CONCEPTION DU GÉNOME SUR ORDINATEUR

Les chercheurs partent du génome de la bactérie *Mycoplasma mycoides*, dont la séquence des bases A, T, G et C qui le compose est connue. Puis ils y insèrent la séquence d'un gène de résistance à un antibiotique.



## 2 SYNTHÈSE D'ADN PAR FRAGMENTS

Un ordinateur pilote la synthèse de la molécule d'ADN correspondant à cette nouvelle séquence. Cet ADN est obtenu sous forme de 1 078 fragments, longs chacun de 1 080 paires de bases.



**Une rupture en cours (C.Venter, USA):quelle limite à  
une vie « synthétique » ?**

**Nouveaux procédés de synthèse : protéines, etc.**

# Une rupture en Génétique

- Rupture : percée des cellules souches *pluripotentes* (S.Yamanaka, 2006) ► cellules peau souris : on obtient des cellules de tous les tissus (foie, cœur, neurones, etc.) ► transposé à l'homme....

*Quel mécanisme de reprogrammation des cellules (on introduit 4 gènes étrangers via un virus....)?*

*Le vivant « remonte le cours du temps »?*

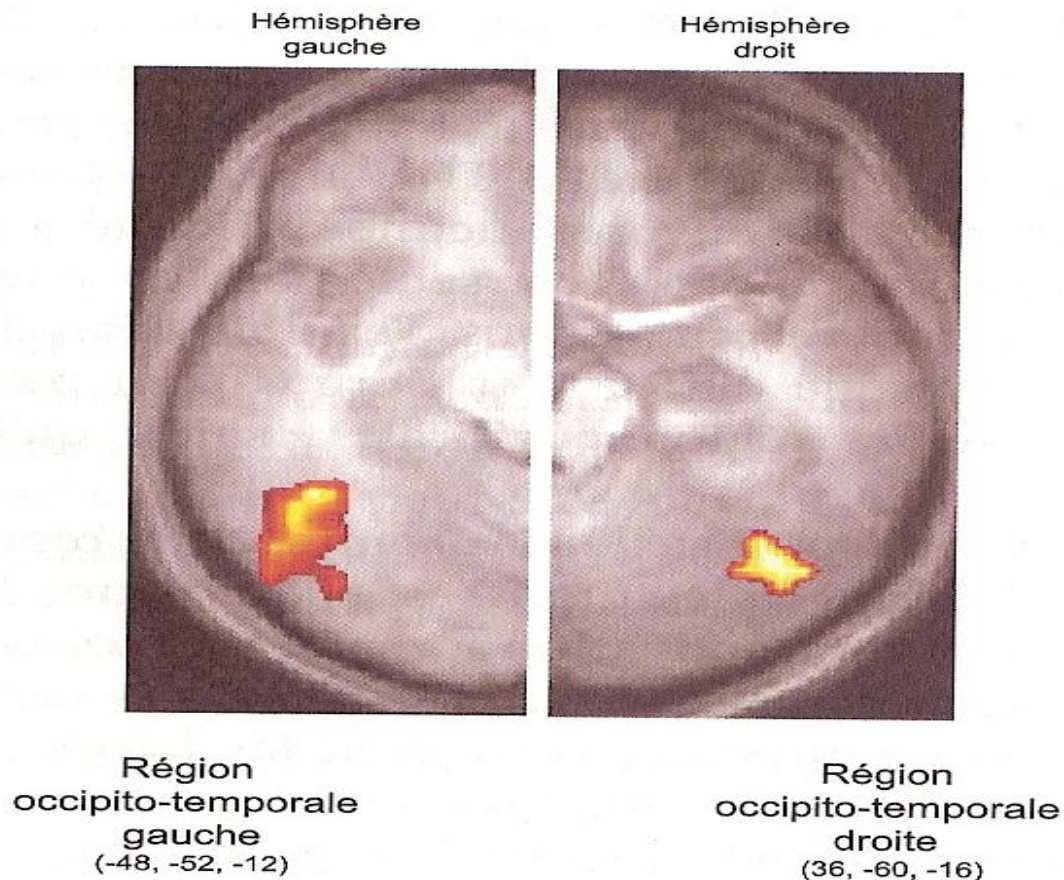


# Les neurosciences : un nouveau paradigme?

## ► Progrès considérables de l'imagerie: IRM

Un ou plusieurs mécanismes de la cognition: conscience, mémoire, vision unitaire relation avec l'extérieur, *paradigme ??*

## IRM de la lecture



# Des ruptures en physique?

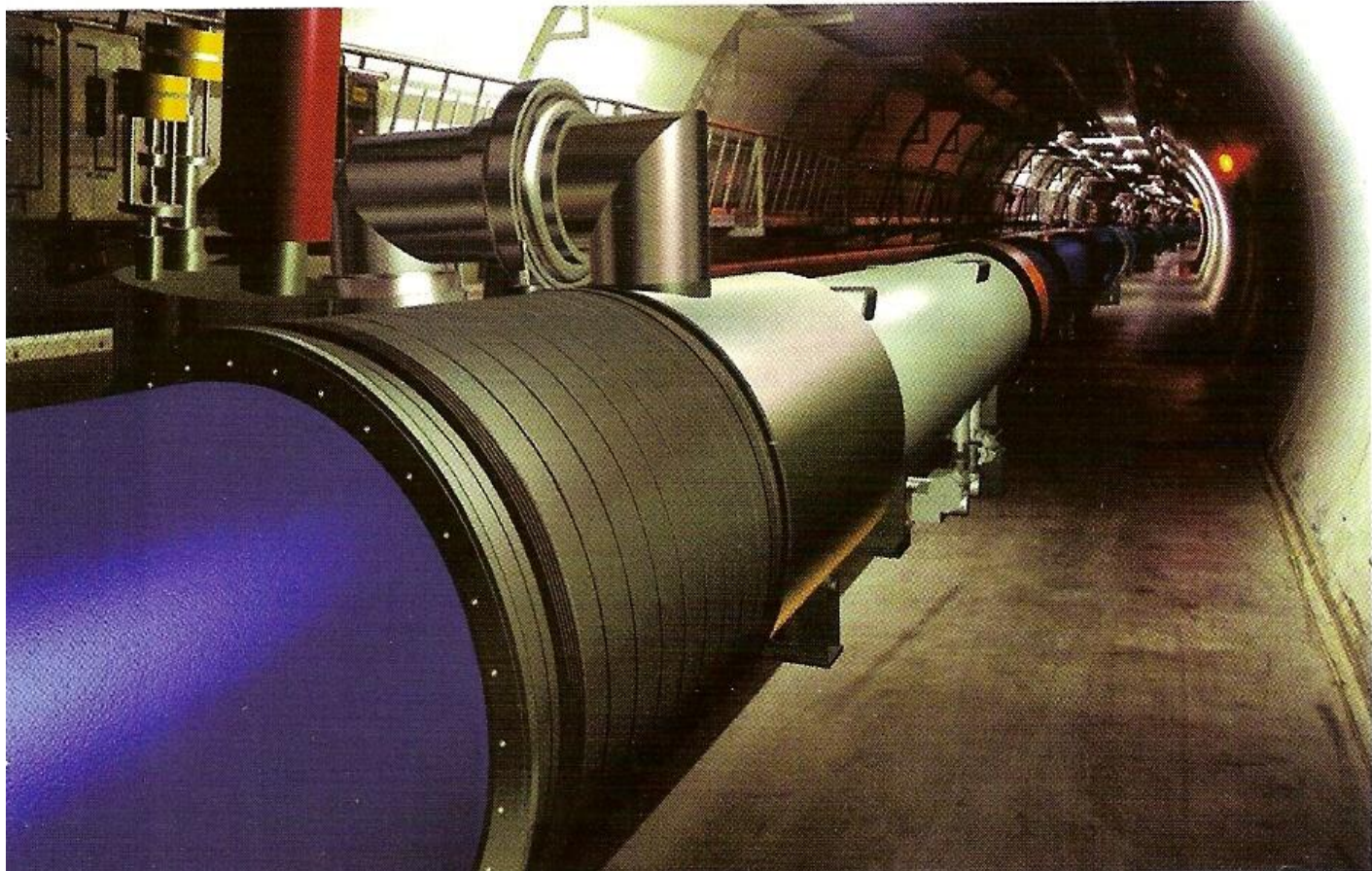
## Trois défis pour la physique:

- ☺ Expliquer l'origine matière et énergie noires: 95% masse de l'univers, masse manquante, expansion s'accélère (« antigravitation »)
- ☺ Théorie des particules et forces élémentaires: boson de Higgs et autres ► un modèle « standard » unique à complexité croissante
- ☺ Unifier Relativité et théorie quantique

**Si échec des vérifications : rupture possible**

***Découvrir le boson de Higgs et détecter la matière et l'énergie noires ► expériences sur le LHC (Accélérateur européen du CERN à Genève)***

**Tunnel  
27 km**



***Si on ne détecte pas le boson de Higgs et la matière noire  
► Remise en cause des théories de la physique :  
nouveau paradigme?***

# Nouveau paradigme informatique

**Paradigme informatique classique: on manipule des bits (0 ou 1) via des transistors (électrons) pour réaliser des opérations logiques**

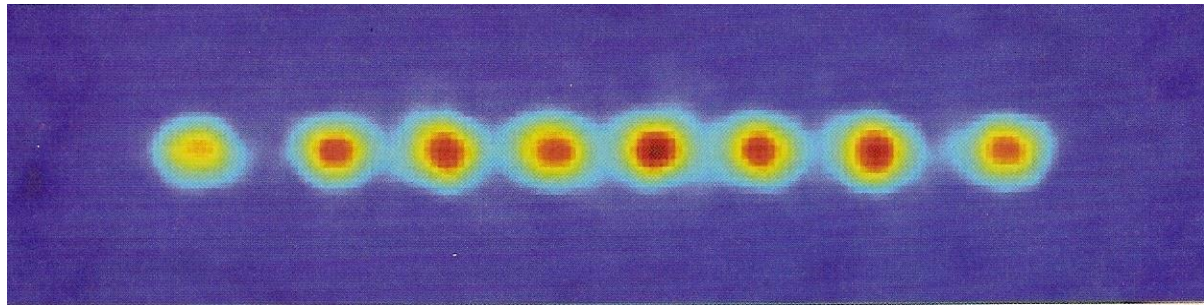
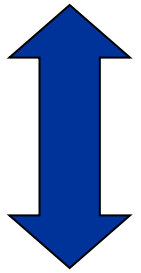
*2025: limite de la miniaturisation des transistors?*

**Nouveau paradigme: utiliser le concept d'information quantique (état d'un atome) et la manipuler**



# Nouveau paradigme informatique

On sait manipuler électrons, atomes, ions, *individuels*



*Mais...un objet quantique peut occuper 2 états simultanément : « Qubits » : 2 atomes = 4 états, etc. ► plus d'information stockée, calcul massivement parallèle*

**Applications: cryptographie (15= 5x 3), calculs complexes chimie, physique, météo...Comment?? Utiliser lasers, algorithmes..... Pas avant 2030**

# La science face aux questions de société

☺ **Les enjeux de société interpellent la recherche**

● **Des besoins importants: - Travail – Climat/Energie - Sécurité : *Santé, Alimentation, défense***

● **Travail : - nouvelle robotique couplée au cerveau (progrès des neurosciences + IA) - techniques de fabrication d'objets nanométriques**

# La science face aux questions de société

- *Energie* : une « nouvelle » physique débouchant

*Sur un nucléaire avec moins de déchets, sur une énergie solaire rentable (meilleure interaction photons/matière)*

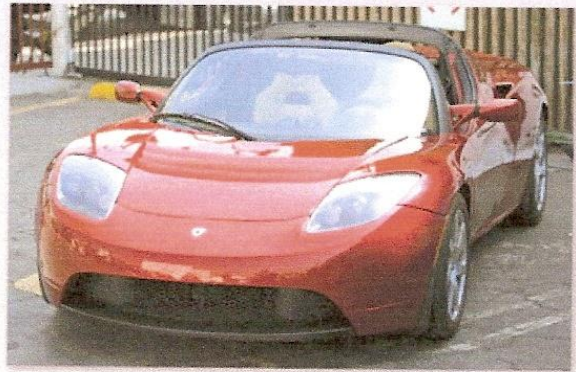
- *Energie* : des carburants produits par biologie synthétique (transformation de bactéries par « réingeneering génétique »)

- *Energie* : des réseaux intelligents pour gérer électricité centralisée /décentralisée + stockage

# Questions de la société à la science : l'énergie

2008)

**Nanomatériaux  
Graphène?**



Voiture électrique belge (1899): « La jamais contente »...La Tesla Edison (1899): l'avenir est à la voiture électrique....Ford le quitte



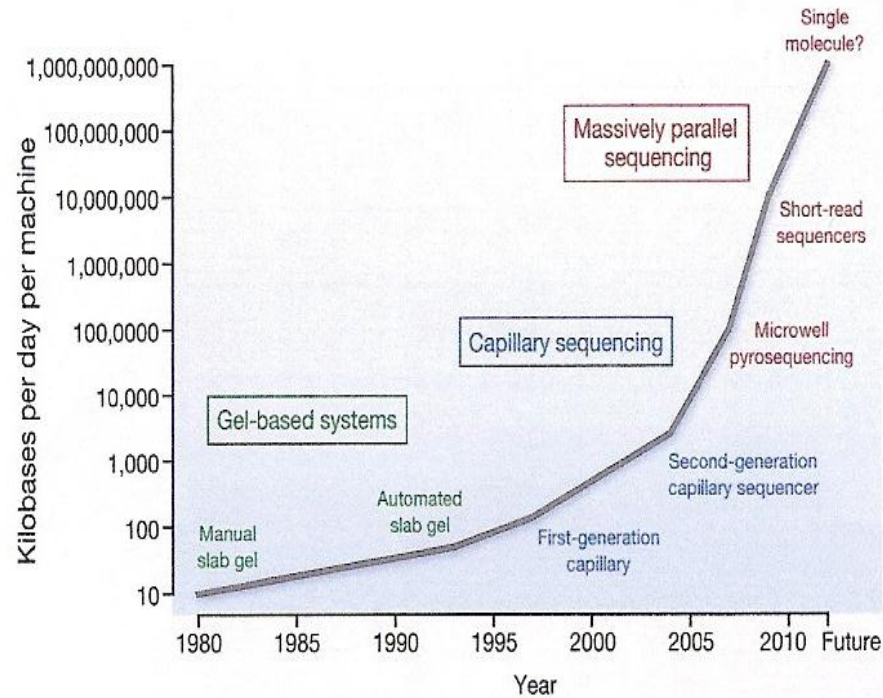
# Les perspectives pour la santé des ruptures en biologie

Prévision de l'interaction protéines/gènes ► meilleure connaissance de l'action des gènes et de leur régulation: *repérer des mutations*

► *faire de la « prévision » (susceptibilité à certaines maladies : cancer du sein) ► thérapie génique ► cellules souches, médicaments adaptés au profil génétique des patients*

Synthèses de génomes par la biologie synthétique : enzymes pour produire des biocarburants, « reengineering » cellulaire, nouvelles protéines...

# Santé et ruptures en biologie



**Génome humain: 6 milliards de bases ► séquençage rapide, peu coûteux (30 000 génomes humains séquencés fin 2011, séquençage pour 500 € en 2025?)**

***Thérapie génique : attention aux espoirs excessifs!***

# **Des nouveaux modes de production des connaissances?**

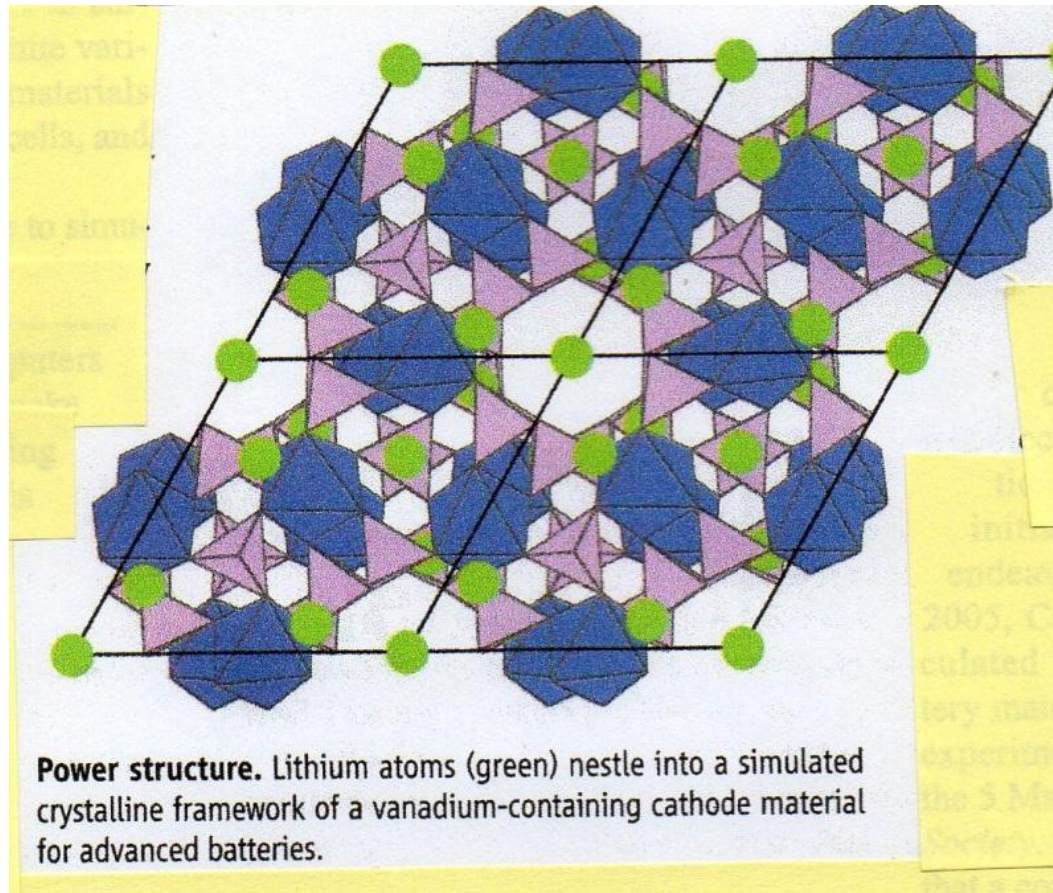
**Pilotage à distance des instruments (robotique, informatique: astronomie, océanographie, imagerie, etc.)**

**Recours systématique aux bases de données, moteurs de recherche : découvertes de ruptures??**

**Laboratoires « délocalisés » : pools instrumentation et bases de données**

***Universités: quel rôle? enseignement à distance plus systématique?***

# Des nouveaux modes de production des connaissances?



Construction de systèmes par simulation et avec base de données

# Des nouveaux modes de production des connaissances?

« Délocalisation » de la recherche industrielle (pharmacie, automobile) : sous-traitance à la recherche publique, utilisation de pools d'appareillage

Importance croissante de clusters régionaux multidisciplinaires, pluri-techniques (exemple Grenoble)

Rôle des marchés publics pour soutenir l'innovation (énergie...)

# R&D et innovation en 2050...

**L'avenir scientifique et technique n'est pas gravé dans le marbre**

**Des ruptures sont possibles mais leurs applications/conséquences prendront du temps: *attention aux révolutions annoncées !***

**Freins à l'innovation: primat du court terme, mise en cause du progrès S&T mais nécessité de débats sur les options techniques : *importance de la prospective***