CERN

# L’informatique au service de la physique hier, aujourd'hui et demain

# C’est un sujet très vaste…

- L’informatique est un outil clé pour la physique, mais très varié
- Présentation centrée sur le traitement des données fait au centre de calcul du CERN
  - Je ne parlerais pas du stockage ou du réseau

# Le passé

- L'ère des ordinateurs centraux (1958- 96)
  - Petit nombre de très grosses machines
- L'ascension des supers ordinateurs (1980s →)
  - Machines très rapides, beaucoup de concepts différents
- L'arrivée des stations de travail (1990s)
  - Machines abordables reliées entre elles
- Les PCs peuvent tout faire (2000 →)
  - Beaucoup, beaucoup, beaucoup de machines reliées

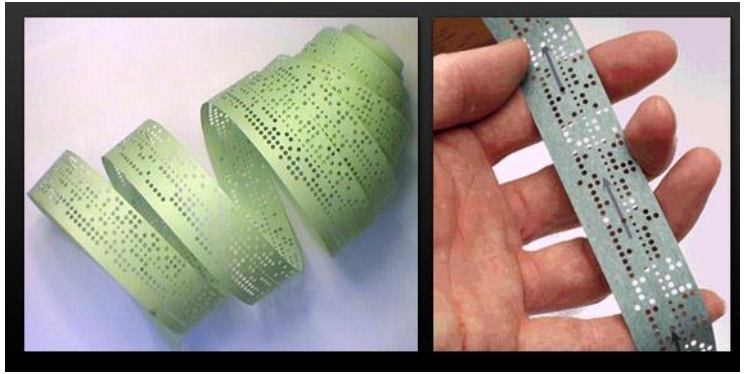
# Les ordinateurs centraux au CERN

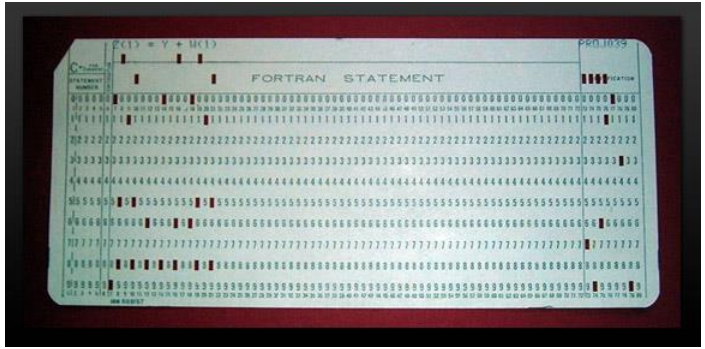
- Trop nombreux pour tous les citer :
  - Ferranti Mercury
  - CDC 7600
  - IBM 370/168

# Ferranti Mercury [1958-65]

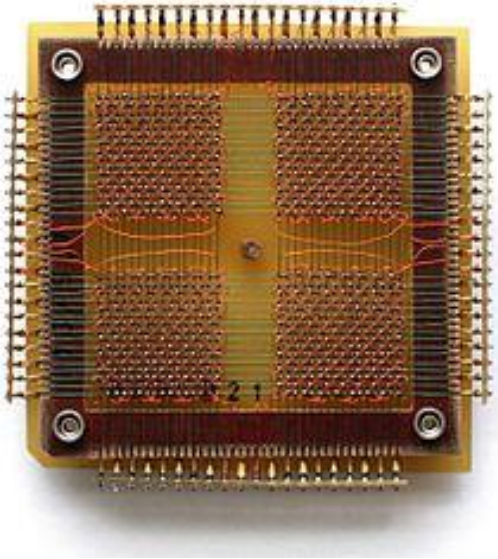
- Tubes électroniques/tubes à vide
  - Cycle d'horloge de **60 micro-secondes**
    - 180000 plus lent qu'un PC
    - Opérations limitées (pas de division, etc)
  - Mémoire à tores magnétiques (5 5ko)
  - Mémoire à tambours magnétiques (80 ko)
  - Entrées-sorties (I/O): bandes en papier

# Technologies de l’époque



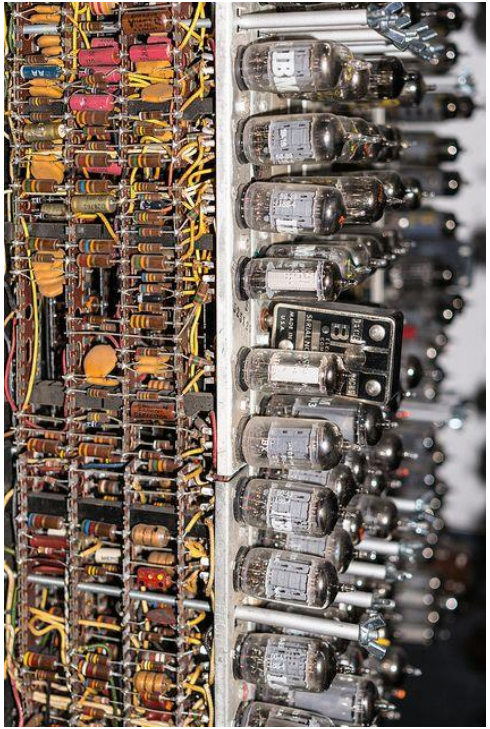



≈ 5 cm



128 Byte

≈ 20cm



Tubes électroniques

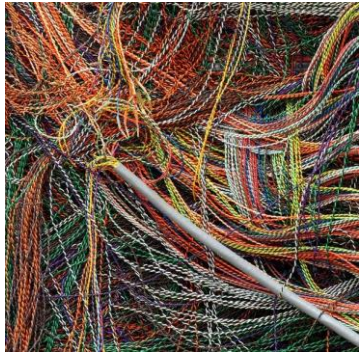
# CDC 7600 [1972-84] ← 12.5 ans

- Logique basée sur des transistors et mémoire à tores
- Horloge: 36 MHz ( 82 plus lent qu'un PC)
- 480ko mémoire rapide, 3.7 Mo mémoire lente
- ≈ 40 Millions Instructions Par Seconde (MIPS)
- Bandes magnétiques
- Composé de plusieurs machines
- Problèmes de fiabilité :
  - 1973: 3 heures entre crashes
  - 1977: 16 heures

# Technologies

Bande magnétique

Module (cœur)

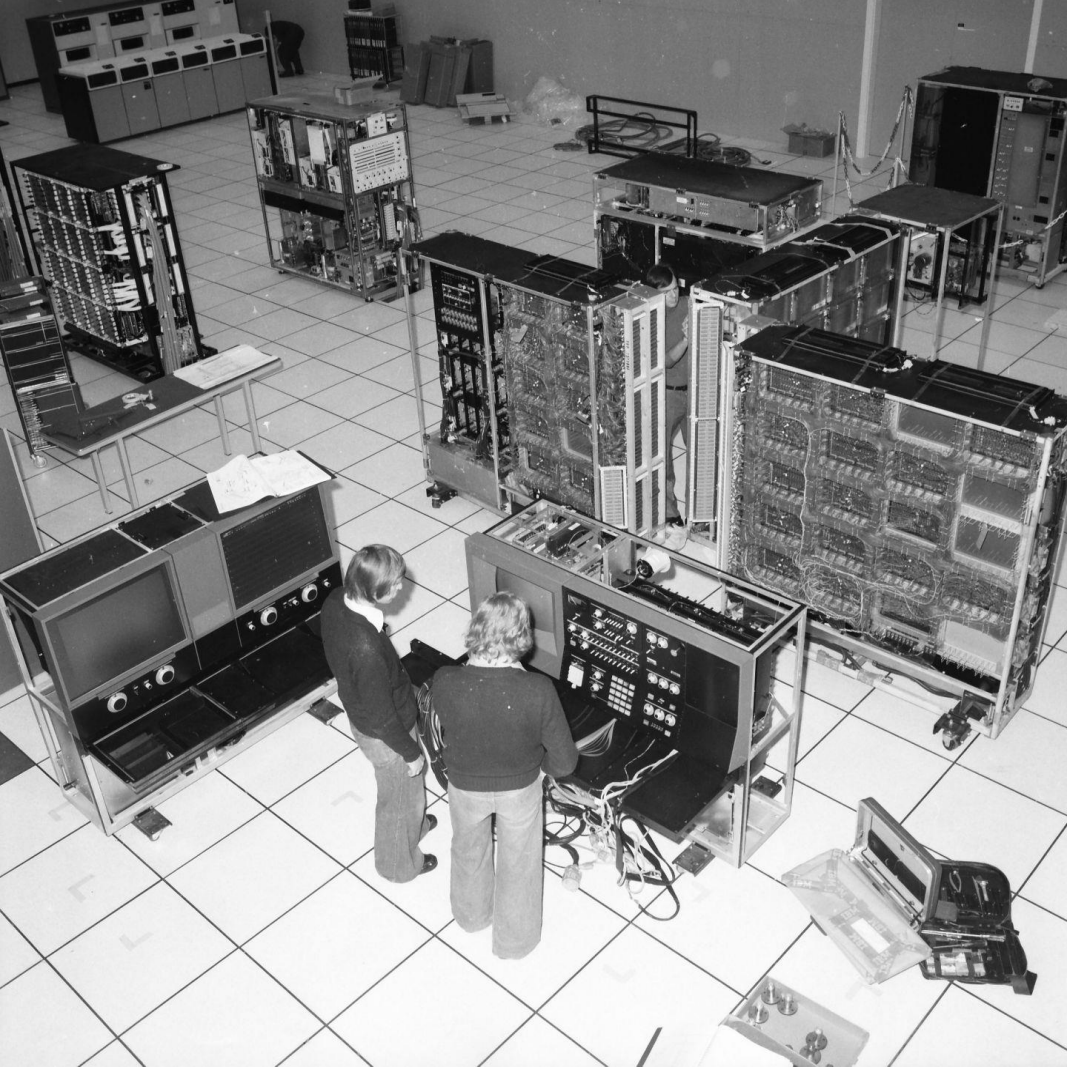


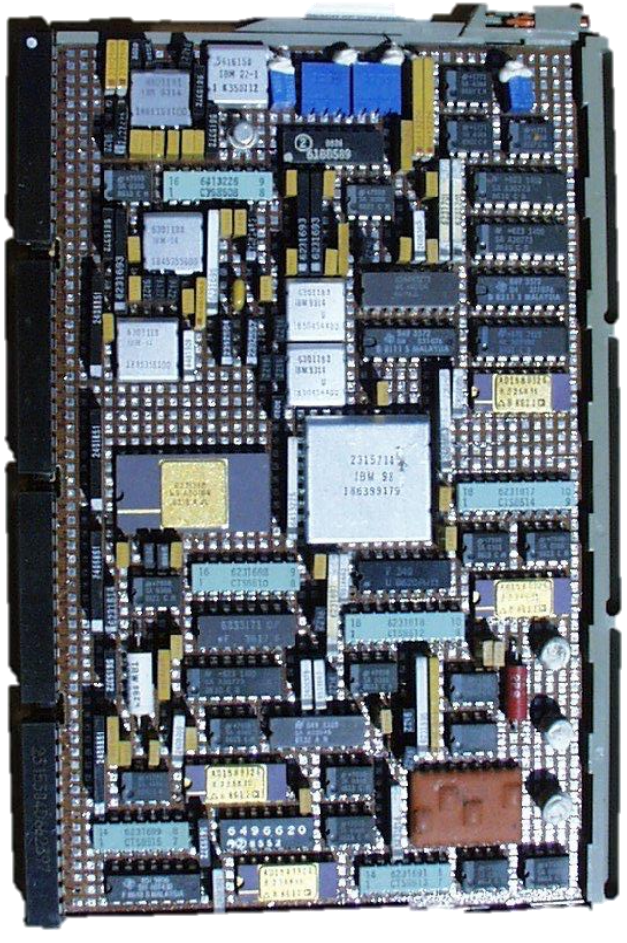
Modules

1978
Bâtiment 513

# IBM 370/168 [1976-82]

- Première machine avec des circuits intégrés et une architecture moderne
  - Mémoire virtuelle, caches, robot pour bandes magnétiques
  - Pouvait supporter 200 utilisateurs simultanés
- Mémoire en semi-conducteur (4Mo)
- 12 MHz (240 plus lent qu'un PC moderne)
- 3 MIPS
- La première d'une longue série de machines compatibles IBM (3081, Siemens 7880, 3090/X)
  - CERN et SLAC ont créés leur propres émulateurs





Une carte parmi d’autre

# Les supers-ordinateurs

- CRAY X-MP/48 [1988 – 1993]
- MEIKO CS-2  [ 1993-96]
  - 32 processeurs, réseau grande vitesse

# CRAY X-MP/48 [1988 – 1993]

- 4 processeurs à 105 MHz ( 29 plus lent qu'un PC)
  - Architecture moderne avec calcul vectoriel (SIMD)
  - 112 MIPS en calcul scalaire
  - Performances vectorielles beaucoup plus élevée, mais très peu de programmes en profitaient
- 64 Mo de mémoire rapide et 1 Go de mémoire lente
- 48 Go de disques
- Connecté aux systèmes IBM et VAX du centre de calcul

ISSUE DE SECOURS
EMERGENCY EXIT
CRAY

# L’arrivée des stations de travail

- Dans les années 90, des processeurs complètement intégrés avec suffisamment de capacité de calcul sont apparus
  - Pour un prix relativement abordable
- Beaucoup d’architectures et de vendeurs différents:
  - HP/Apollo
  - SUN
  - SGI
  - IBM
  - DEC .....
- En reliant beaucoup de tels systèmes, beaucoup de capacité de calcul pouvait être fournie pour une fraction du prix

# SHIFT [1990 – 200x]

- Scalable Heterogeneous Integrated FaciliTy
- Système hétérogène, OS: variantes UNIX
  - Apollo, HP, SUN and SGI
  - La première machine, à 150.000 CHF, pouvait fournir ½ de la puissance d'un CRAY X-MP
  - En croissance constance avant d'être remplacé par des PCs génériques au début des années 2000

HP - SHIFT
DELPHI - CMS
ALICE - NA49 - ATLAS
SUN
SHIFT - CMS
SGI - SHIFT
ALEPH

# Le règne du générique

- Les PCs IBM sont devenus de facto le standard pour les ordinateurs de bureau
- Rapport prix/performance a toujours été inégalé
- Première génération de cluster de PC: ordinateurs de bureaux
  - Nombreux désavantages: densité, refroidissement, fiabilité…
- Deuxième génération: montés sur baies
  - Même technologie, meilleurs propriétés mécaniques et thermiques
- Le CERN utilise actuellement plus de 15.000 serveurs avec 260.000 cœurs (processeurs)

Première génération

# Capacité de calcul du CERN

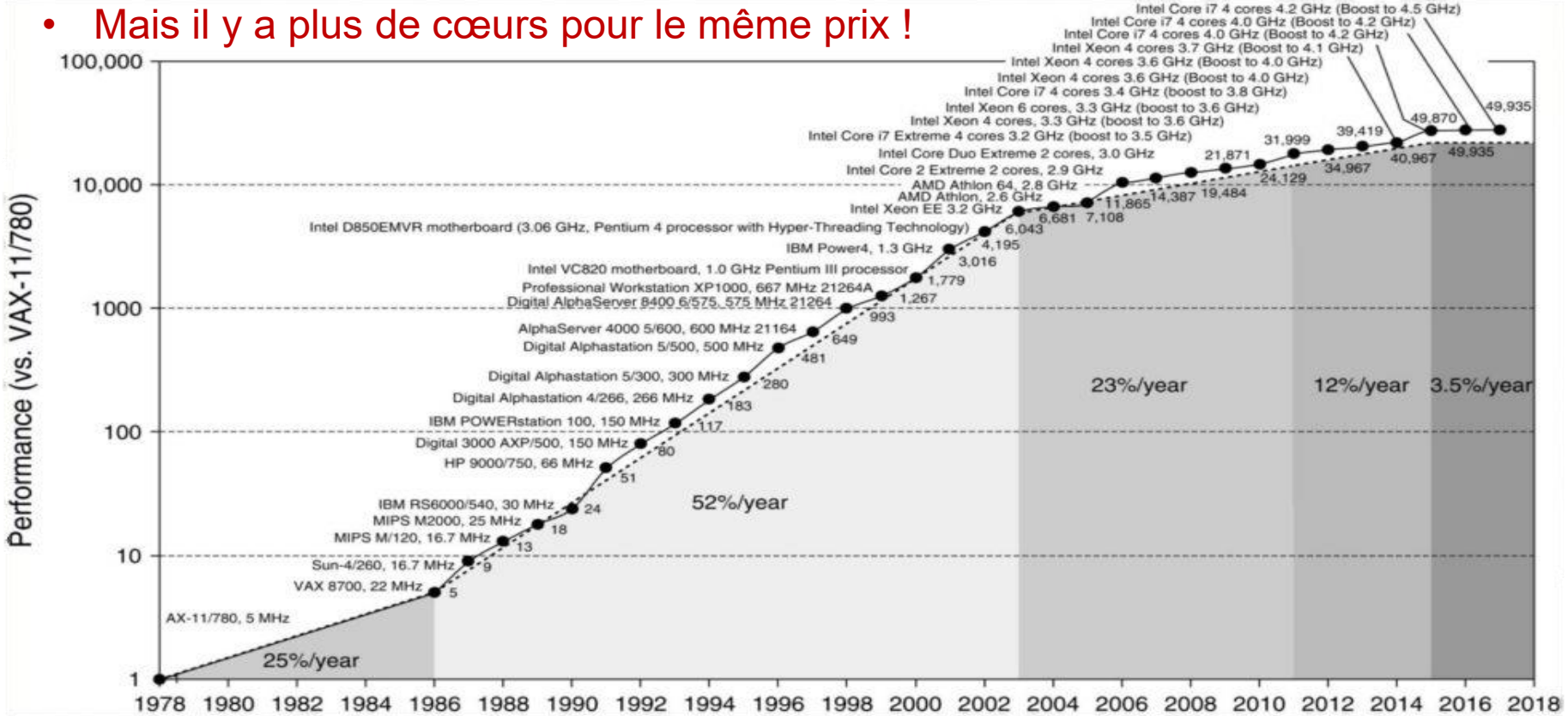
- 1990 1000 Million FLOPS
- 2019 520 Tera FLOPS
- 520 000 fois la capacité de calcul que nous avions il y a 29 ans!

# Le Futur?

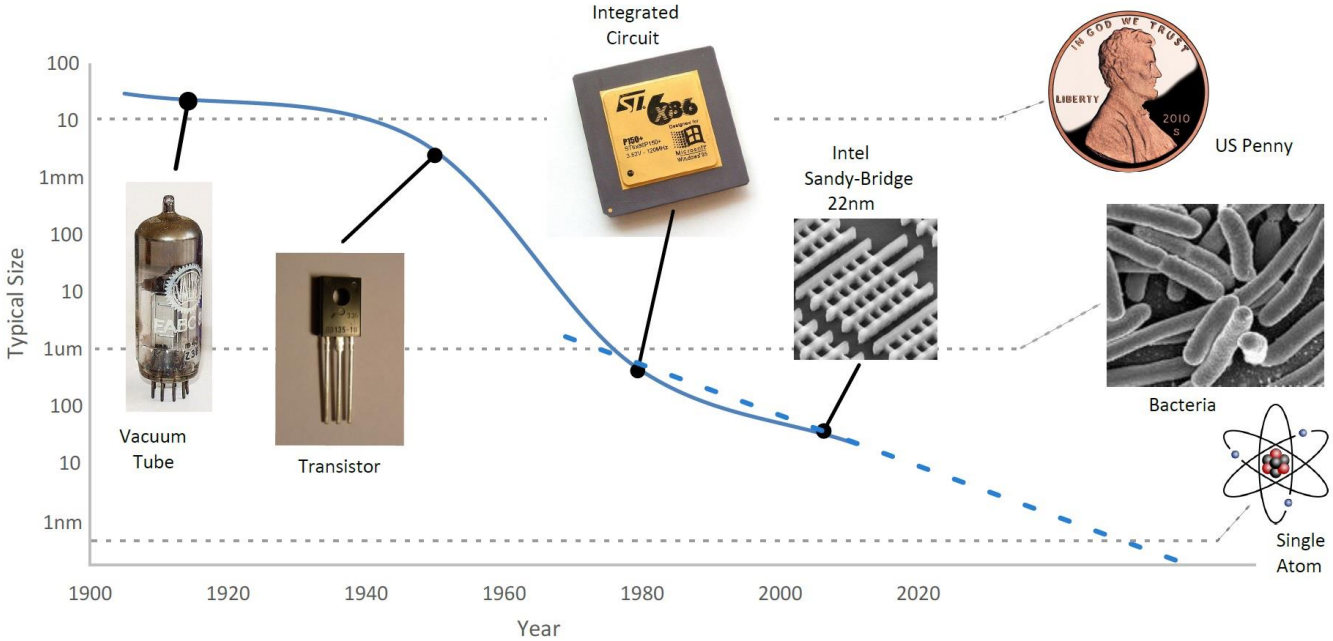
- Tout le progrès a été poussé par:
  - Les évolutions technologique en lois d'échelle
    - Lois de Moore (taille et prix des  transistors)
      - Processeurs et mémoire
    - Lois similaires pour les disques et le réseau
  - Le marché
    - Les investissements suivent le marché

L'augmentation des performance de chaque cœur se ralenti:

- 52%/an en 1986-2003
- 3.5%/an en 2015
- Mais il y a plus de cœurs pour le même prix !



# La réduction de taille s’arrêtera-t-elle?




https://theglobalscientist.files.wordpress.com/2014/03/fig1.jpg

Oui! Bien avant d’atteindre la taille d’un atome

# Performance: Quatre chemins

- Parallélisme (traitement simultané)
  - Difficile à exploiter
- Matériel spécialisé (accélérateurs)
- Technologies alternatives
  - Beaucoup.....
- Ordinateurs quantiques
  - Domaine relativement jeune, mais avec un progrès remarquable et des investissements massifs

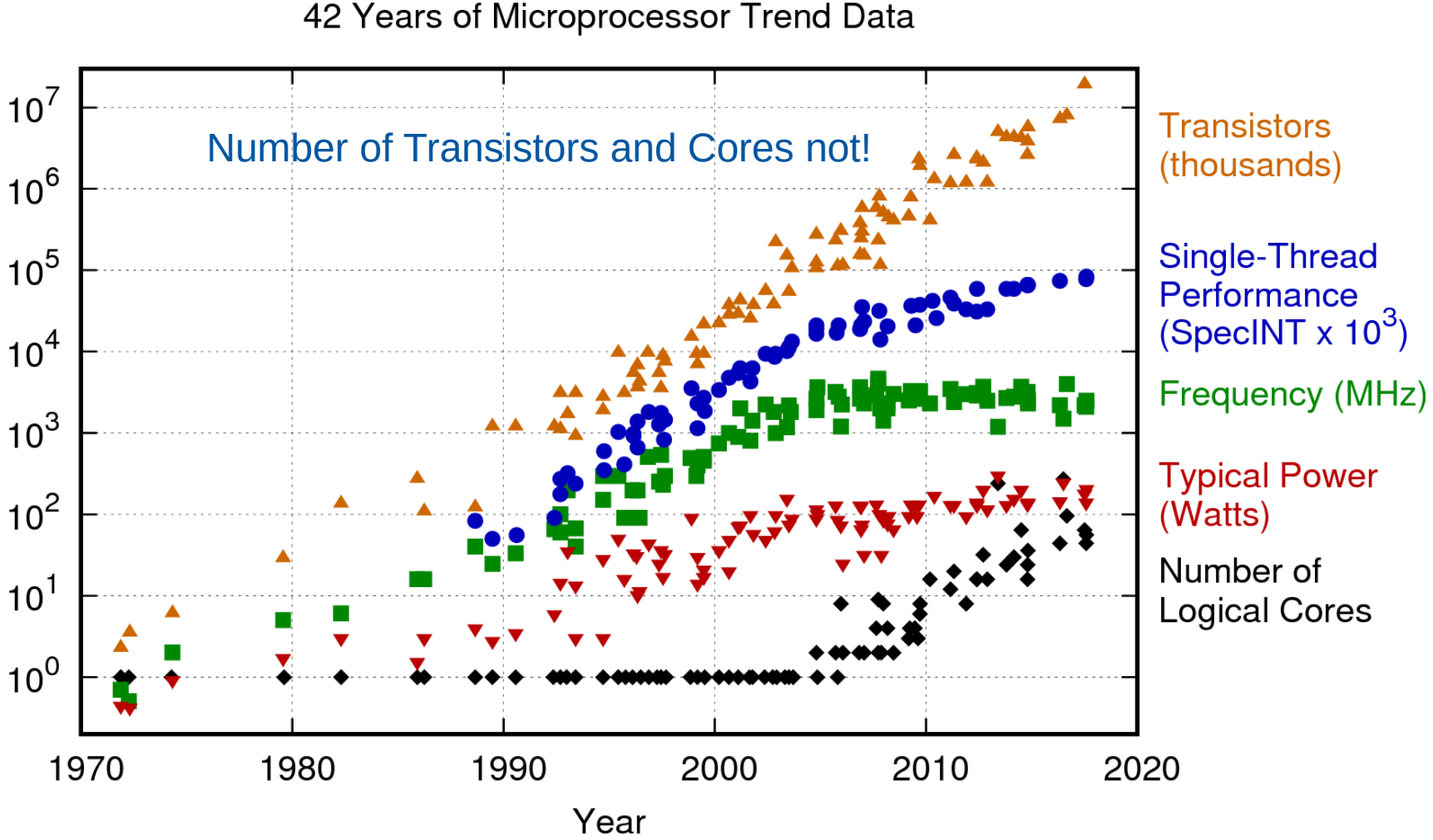
# Et pour la physique?

- 5-10 ans
  - 40% d'augmentations des performance par cœur
  - 5 fois plus de cœurs
  - Gros défi pour les logiciels (parallélisme)
- 20 ans
  - Les composants atteindrons le niveau moléculaire
    - Les effets quantiques dominerons → difficile à prévoir
- 50 ans
  - Soit complètement ennuyeux, soit extraordinaire ;-)

Merci pour votre attention

www.cern.ch

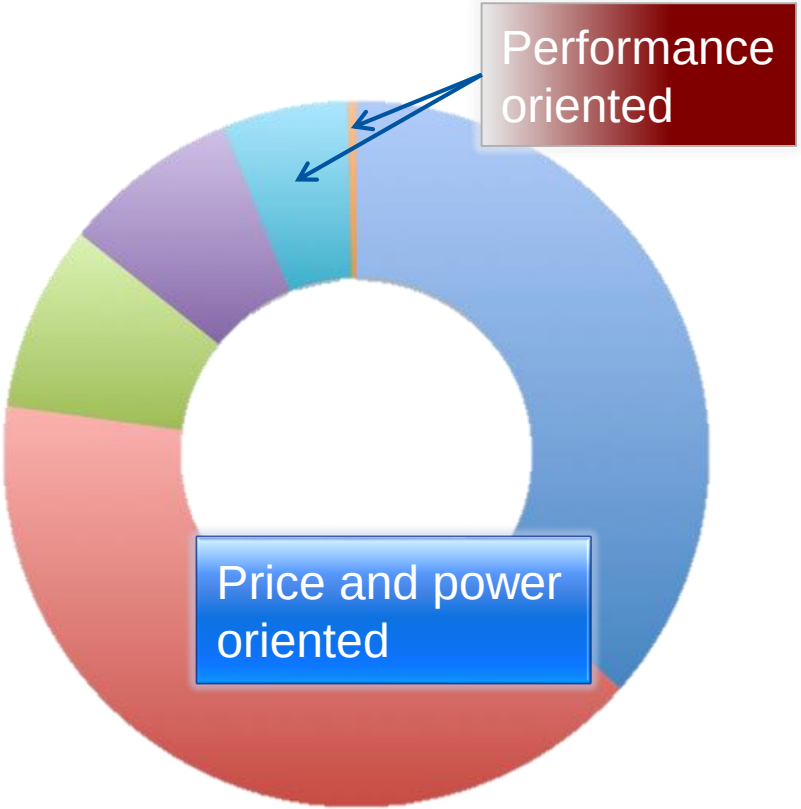
Et profitez bien du (prochain) changement de paradigme !!!! ☺



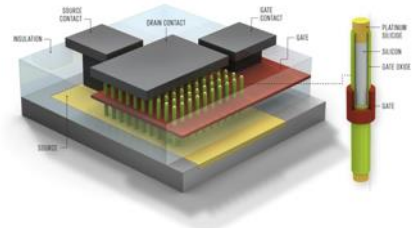

Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp

# Markets

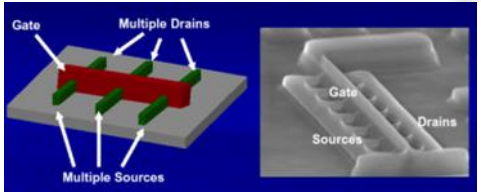
- Consumers focus shifts to price and power
  - Smart phones, IOT, etc.
- Number of producers decreases
  - INTEL > 60% of processor market

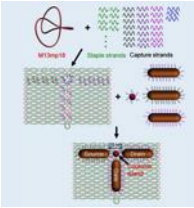


# Alternative Technologies

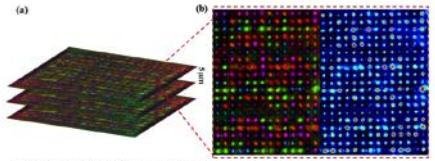


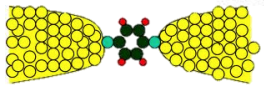
- Nanotubes, Molecular transistors, DNA, Graphen, .
  - proof of concepts (1-1000 components)
  - many challenges ahead, but promising
- 3D Structures
  - difficult to handle the heat
  - on the surface already widely used

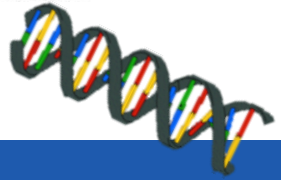


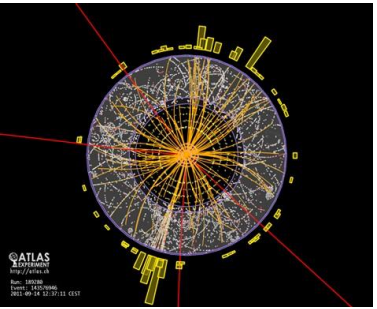
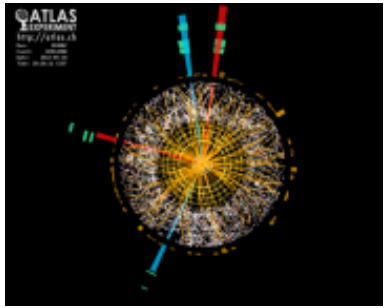
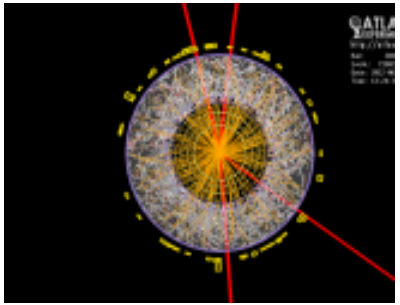
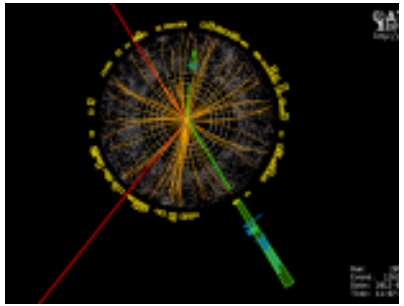



- Memristors, high density, first products soon, but minuscule compared to discs
- Laser nanostructures in glass → 360 TB glass disk
- DNA for storage
  - proof of concept ( 1cm$^3$ == 1000 TB)
  - very, very expensive, slow





# What is special about High Energy Physics?

- In HEP we process data related to collisions that are independent of each other
- → time to get all done matters (HTC)
  - High Throughput Computing