

On a pas fini de se secouer les puces ...

Évolution des circuits intégrés passé, présent, futur ...

Steven **DERRIEN**
équipe **R2D2**



IRISA

UNE UNITÉ DE RECHERCHE
À LA POINTE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Au sommaire ...

- **Dis papa, c'est quoi une puce ?**
- **Comment c'était il y a 30 ans ?**
- **Et aujourd'hui ?**
- **Et dans trente ans ?**
- **Et la recherche dans tout ça ?**
- **Questions**

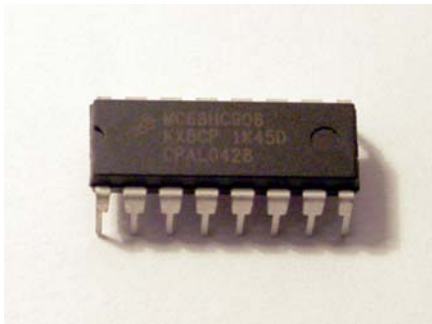


IRISA

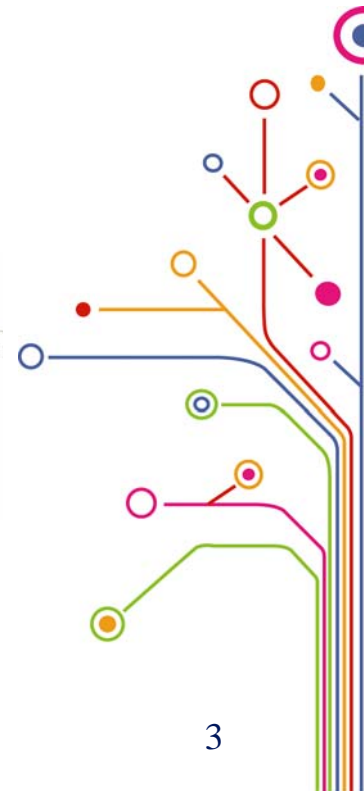
UNE UNITÉ DE RECHERCHE
À LA POINTE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Dis papa, c'est quoi une puce ?

- Le terme “puce” sert à désigner ce qu'on appelle dans le jargon technique un **circuit intégré**.
- Un circuit intégré permet de regrouper dans un seul composant des **fonctionnalités très complexes**
- Pourquoi est-ce qu'on appelle ça une **puce** ?

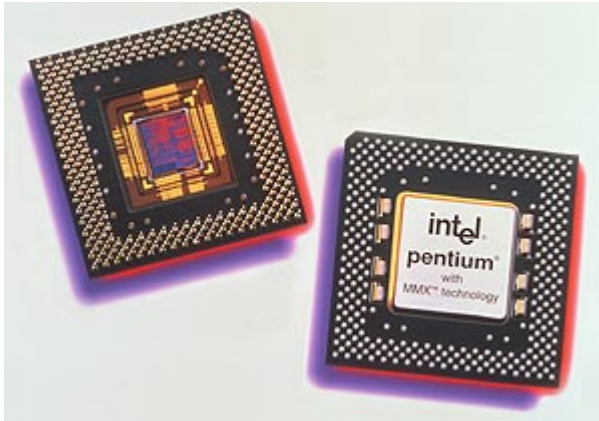


Il y a un petit air de ressemblance, non ?

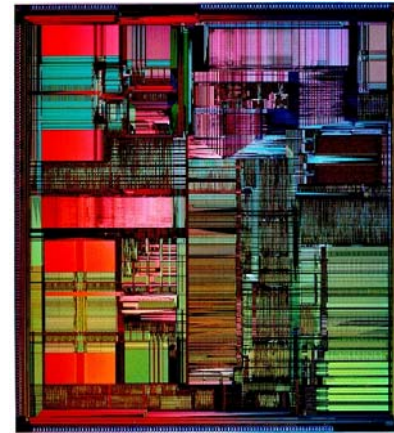


Dis papa, c'est quoi une puce ?

- Aujourd'hui cela ressemblerait plutôt à ça ...



Vue externe ...

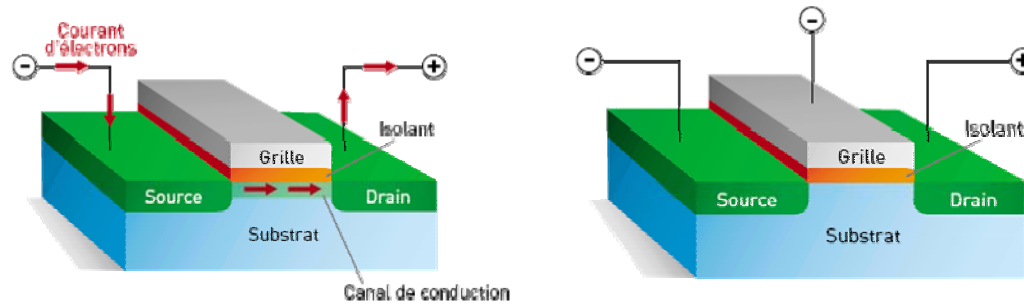


... vue interne

- Et justement : qu'y a t-il vraiment dedans ?

Que met-on dans un circuit intégré

- Il contient des **transistors** qui fonctionnent comme des **interrupteurs** commandés électriquement



Lorsque l'on applique une tension négative sur la grille du transistor, c'est comme si on ouvrait l'interrupteur.

- Chaque transistor a un **état binaire** (ouvert/fermé)
- À partir du binaire, on sait coder plein d'autres informations
 - Des nombres, du texte, des sons, des images, etc.

Comment le fabrique-t-on ?

- On grave les transistors par photolithographie

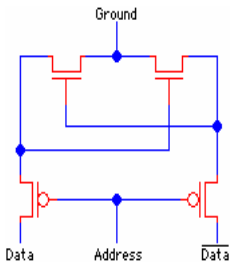
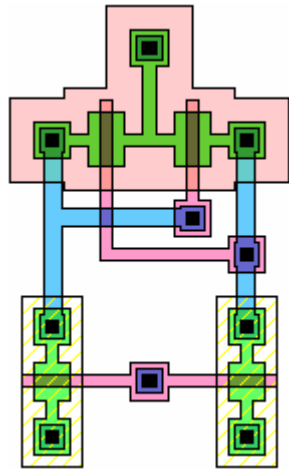
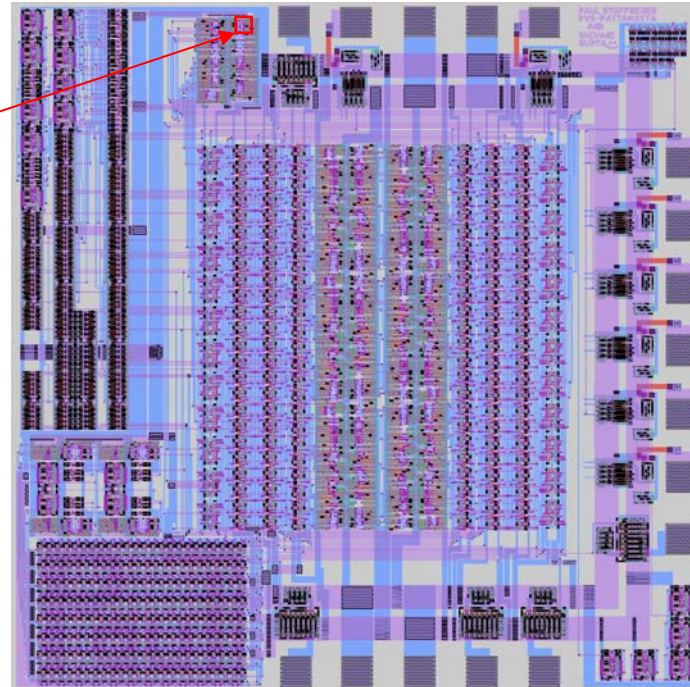


Schéma à base de transistors

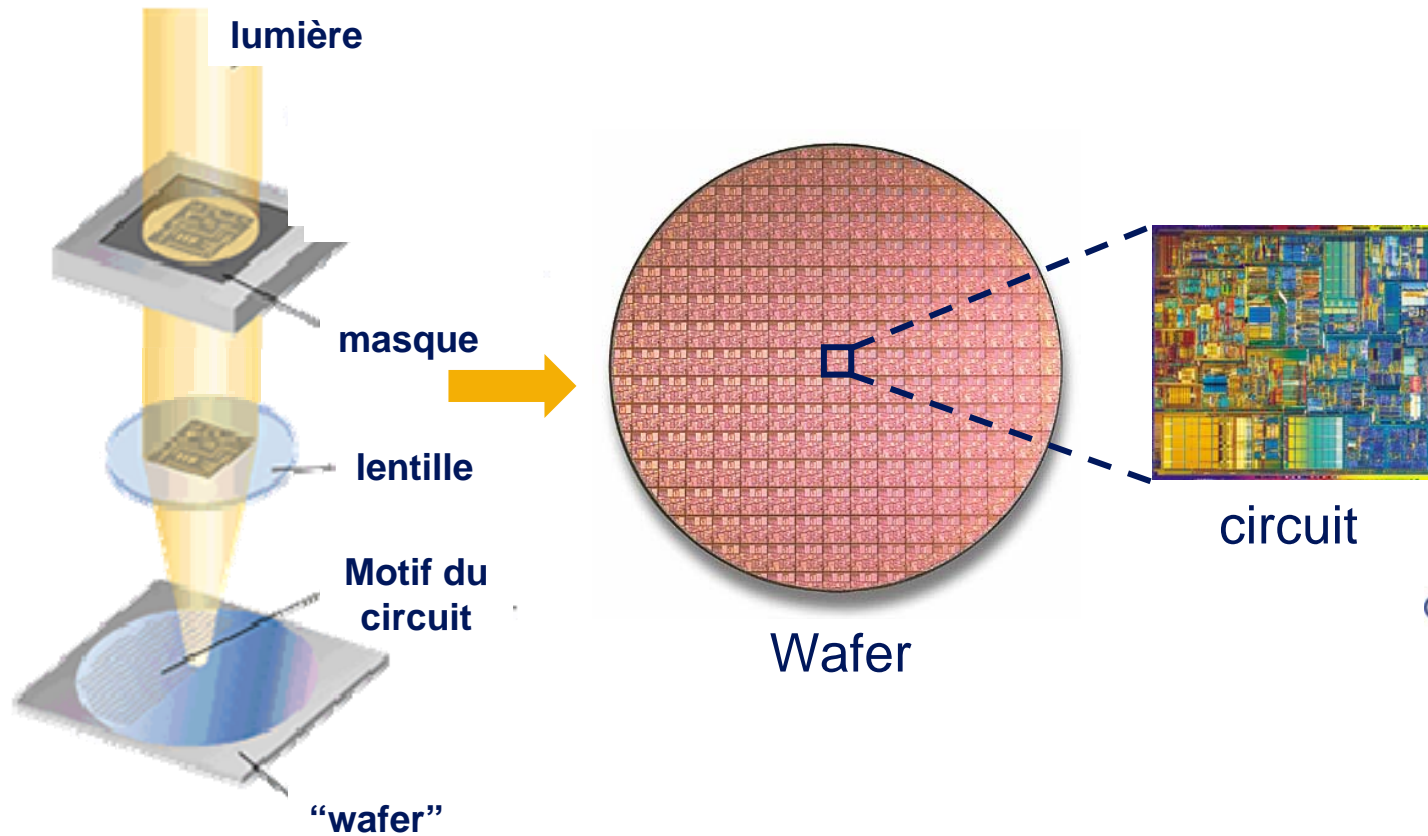


Dessin de masque équivalent



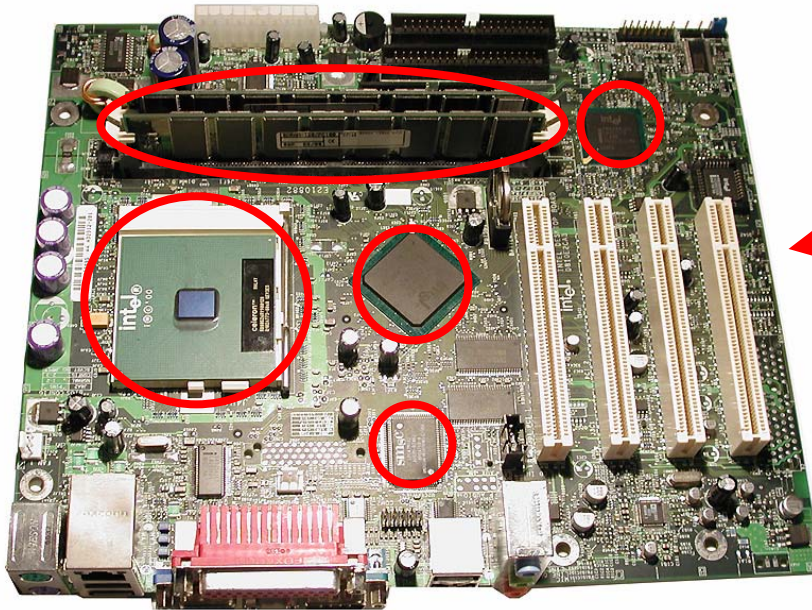
Dessin de masque du circuit complet

Comment le fabrique -t-on ?



Où trouve-t-on des circuits intégrés ?

- Evidemment, dans les ordinateurs !



- Ils servent notamment à réaliser les **processeurs** qui forment le “cerveau” de l’ordinateur.

Où trouve-t-on des circuits intégrés ?

- **Hmm, mais a bien y réfléchir, il y en a partout !**



- **Ils sont souvent cachés dans ce qu'on appelle des systèmes enfouis ...**



IRISA

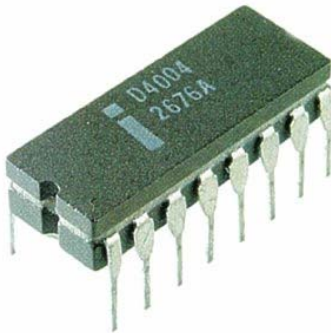
UNE UNITÉ DE RECHERCHE
À LA POINTE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Au sommaire ...

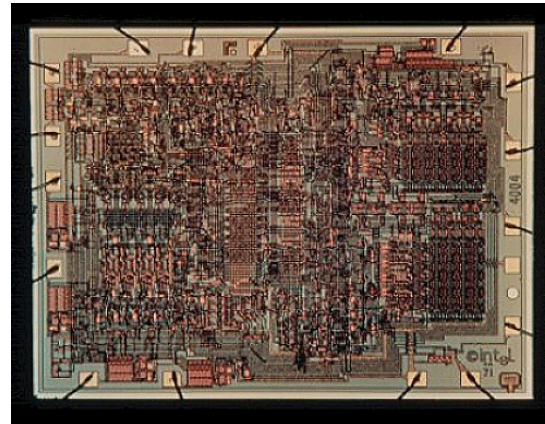
- **Dis papa, c'est quoi une puce ?**
- **Comment c'était il y a 30 ans ?**
- **Et aujourd'hui ?**
- **Et dans trente ans ?**
- **Et la recherche dans tout ça ?**
- **Questions**

Il y a un peu plus de 30 ans ...

- En novembre 1971, Intel introduit **le premier “processeur”** sur circuit intégré: le 4004
 - Il est destiné au marché des “calculatrices”
 - Conçu intégralement en 9 mois par 2 ingénieurs
 - Il utilise 2300 transistors, qui fonctionnent à 740 kHz



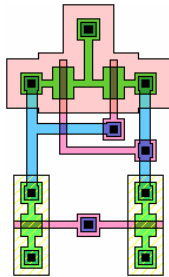
Vue externe...



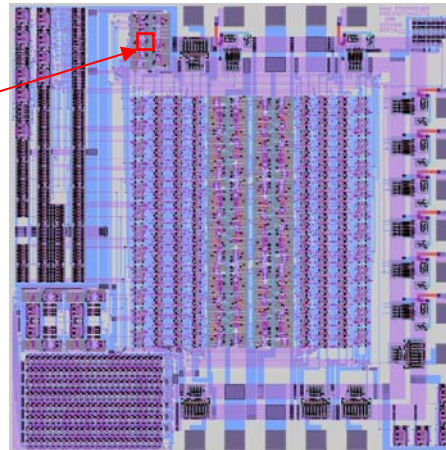
... vue interne

Les méthodes de conception en 1975

- Il fallait dessiner le masque au papier/crayon !!



Dessin de masque équivalent



Dessin de masque du circuit complet

- Très long et fastidieux ...
- Impossible de vérifier le circuit avant fabrication !



IRISA

UNE UNITÉ DE RECHERCHE
À LA POINTE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

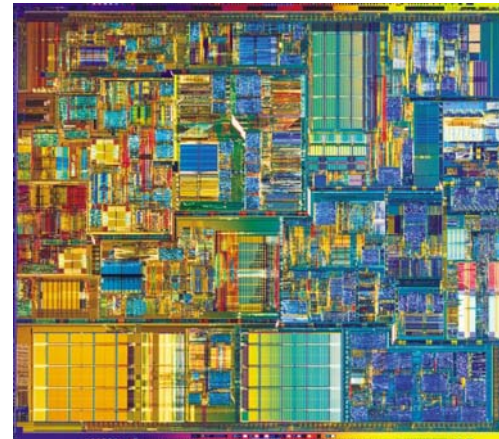
Au sommaire ...

- **Dis papa, c'est quoi une puce ?**
- **Comment c'était il y a 30 ans ?**
- **Et aujourd'hui ?**
- **Et dans trente ans ?**
- **Et la recherche dans tout ça ?**
- **Questions**

Et aujourd'hui : le Pentium 4

- **C'est un exemple de circuit très complexe**

- ▶ Introduit en 2000
- ▶ 42 Millions de transistors
- ▶ Cadencé à plus de 3GHz
- ▶ 10^6 x la performance du 4004
- ▶ 500 ingénieurs pendant 4ans
- ▶ Consomme 70 Watt



Vue interne du P4

- **Ces évolutions ont été rendues possible par la réduction de la taille des transistors.**

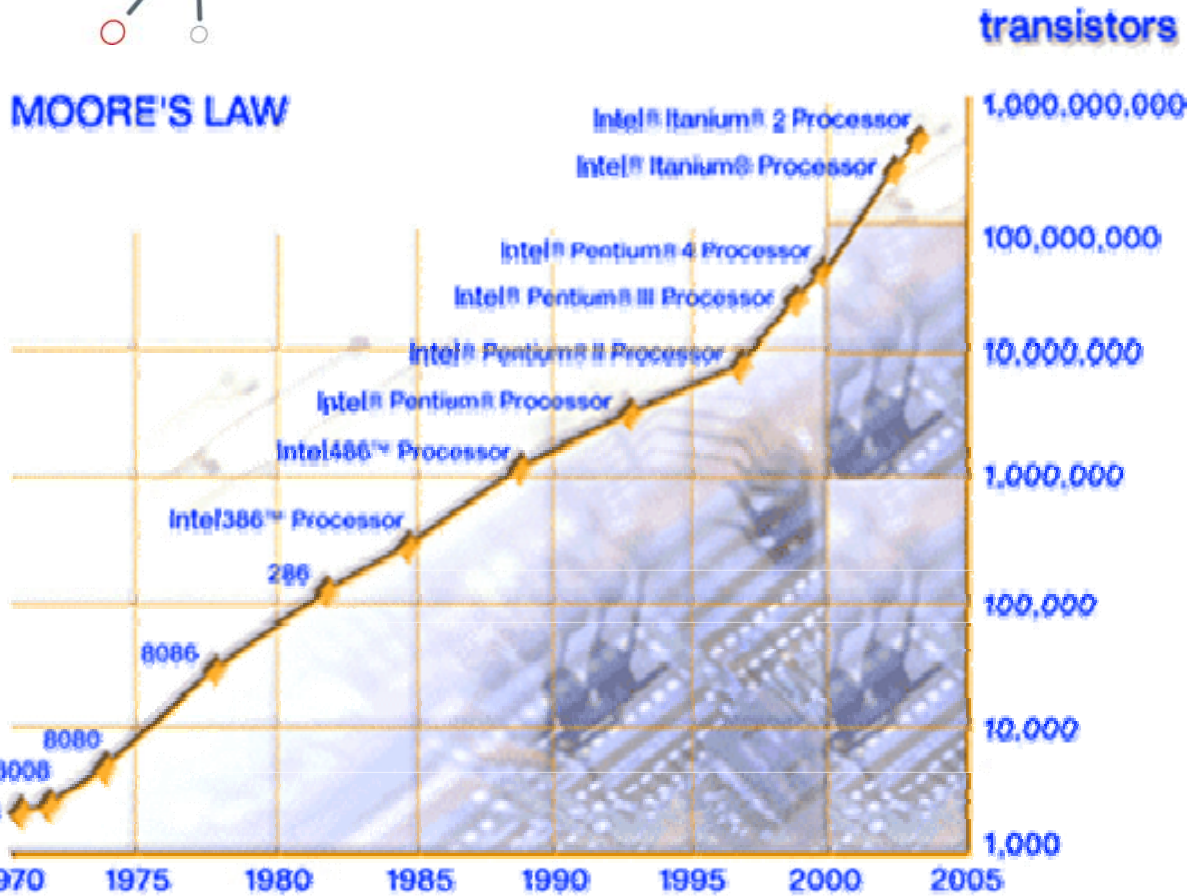
La loi de Moore

- **Gordon Moore**, co-fondateur d'Intel, a énoncé une "loi" en 1965

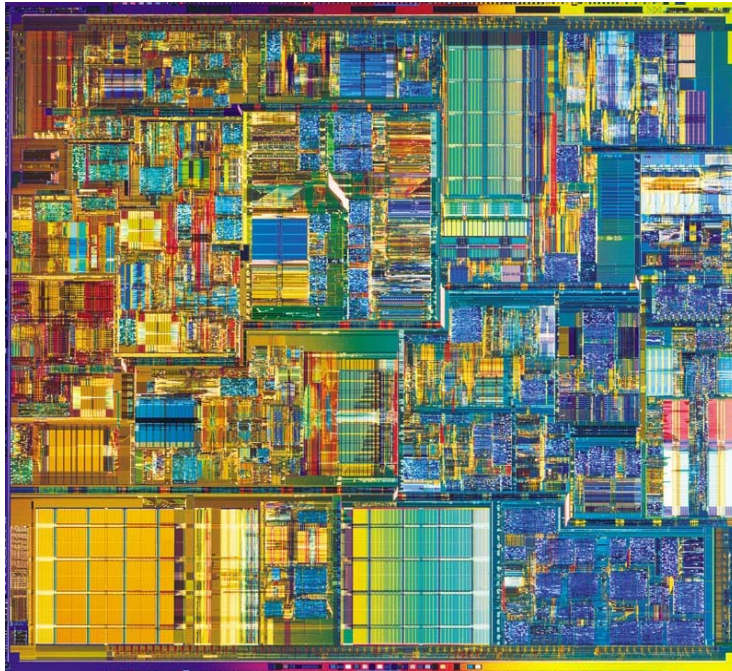
- À prix constant, le nombre de transistors sur les circuits double tous les 18 mois.
- À prix constant, la rapidité des transistors double tous les 24 mois.

- **Ce n'est pas une loi physique, mais elle est vérifiée de manière très précise depuis près de 30 ans**

Illustration de la loi de Moore



Mise en perspective



Pentium4, 2001, 42.000.000 trans



4004, 1971
 2300 trans.

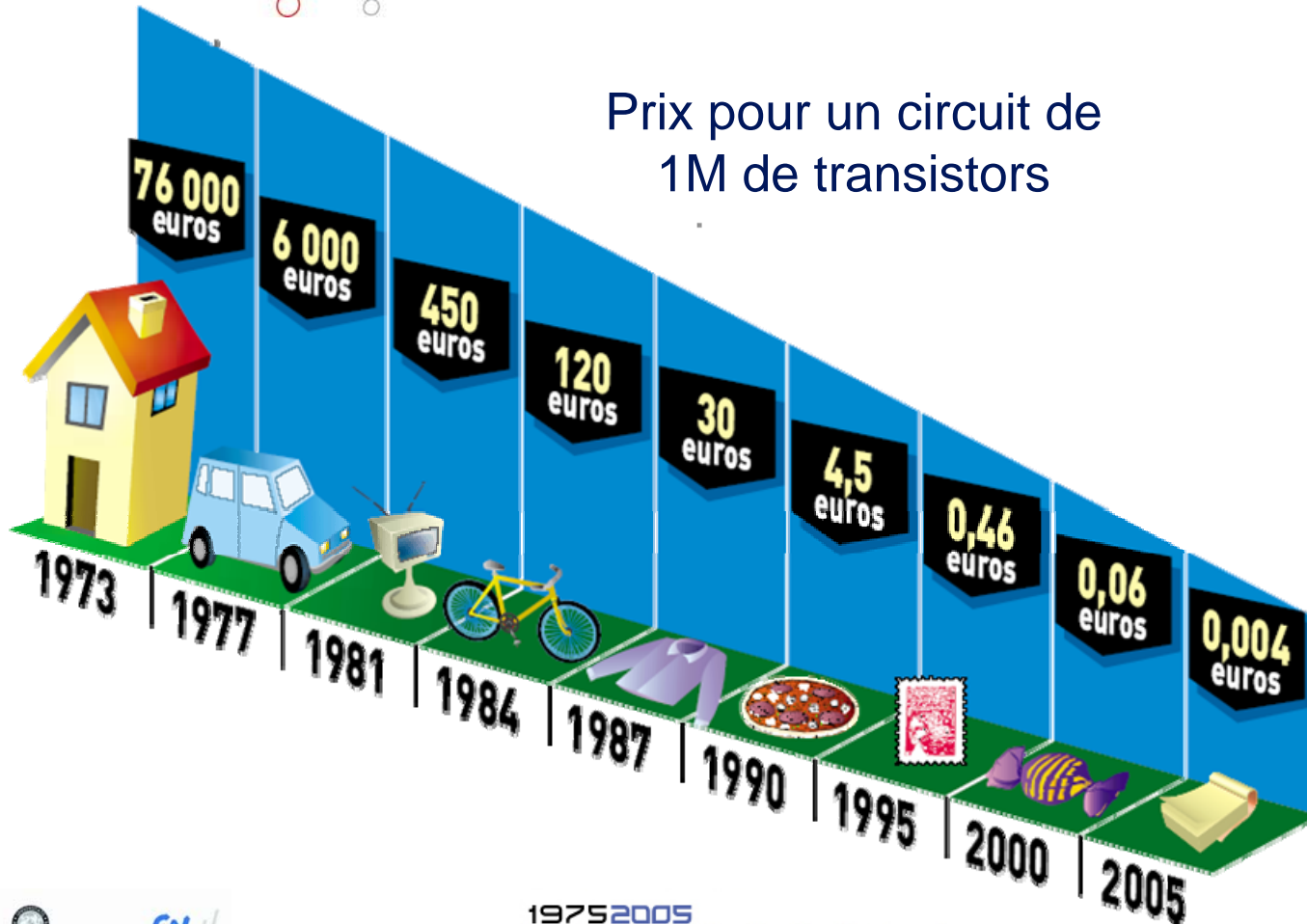
80486, 1990
 1.200.000
 trans.

Si les transistors
 avaient gardé la
 même taille ...

Pour concevoir le circuit du Pentium 4, il aurait fallu utiliser une feuille de papier d'environ 1 hectare ...

Illustration de la loi de Moore

Prix pour un circuit de
1M de transistors





IRISA

UNE UNITÉ DE RECHERCHE
À LA POINTE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Au sommaire ...

- **Dis papa, c'est quoi une puce ?**
- **Comment c'était il y a 30 ans ?**
- **Et aujourd'hui ?**
- **Et dans trente ans ?**
- **Et la recherche dans tout ça ?**
- **Questions**

La fin de la loi de Moore

Taille de la grille
 du transistor
 (nm)

1 000

100

10

Année

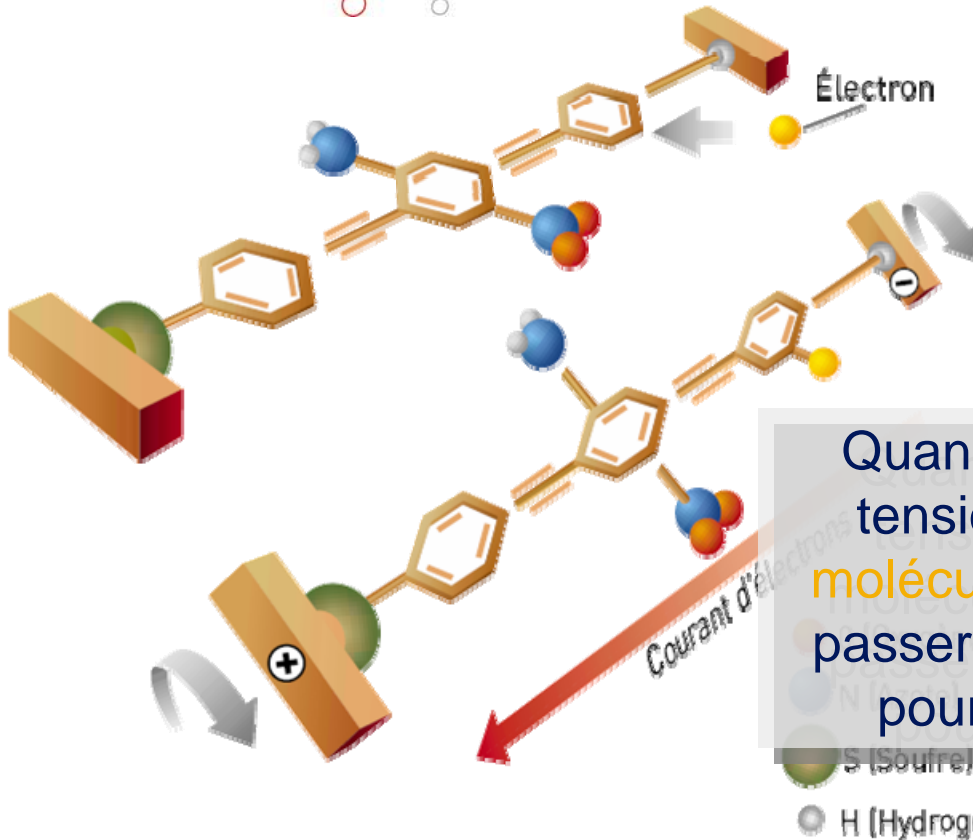
À ce rythme, vers 2020, les transistors ne feront plus que **quelques atomes de large**, on ne pourra sans doute pas faire plus petit ...
 Ce sera la fin de la **loi de Moore** ...

Arggh, mais c'est une catastrophe !

Il ne faut pas paniquer ...

Il y a plein de chercheurs avec de nouvelles pistes !

Peut-être l'électronique moléculaire ?



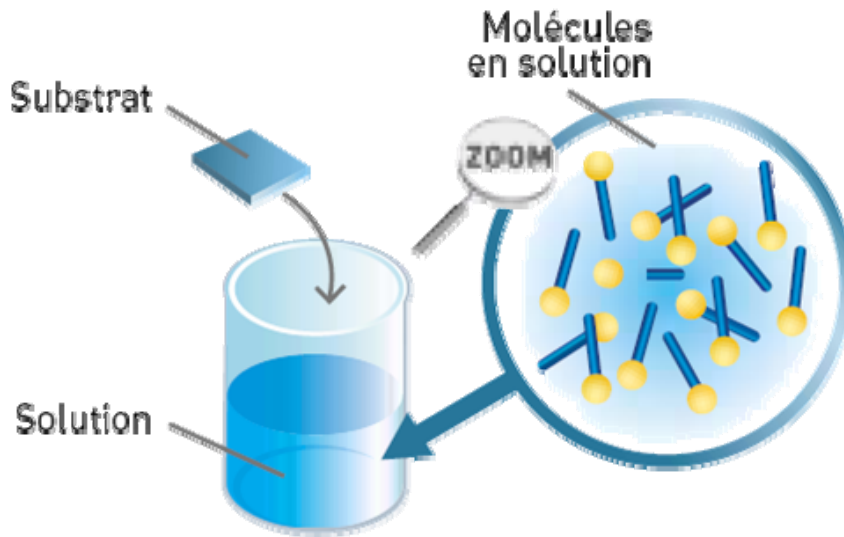
On construit un transistor à l'aide d'une molécule, par exemple le **benzenethiol**

Quand on applique une tension déterminée, la **molécule se tord**, et laisse passer le courant, comme pour un transistor ...

Mais comment **construire des circuits** à partir de cette molécule ?

Des nouveaux procédés de fabrication ?

On va **assembler** ces molécules ...



- ✓ On ne contrôle pas l'assemblage
- ✓ Il risque d'y avoir beaucoup de défauts

Les molécules s'assemblent !
 Le circuit est assemblé.

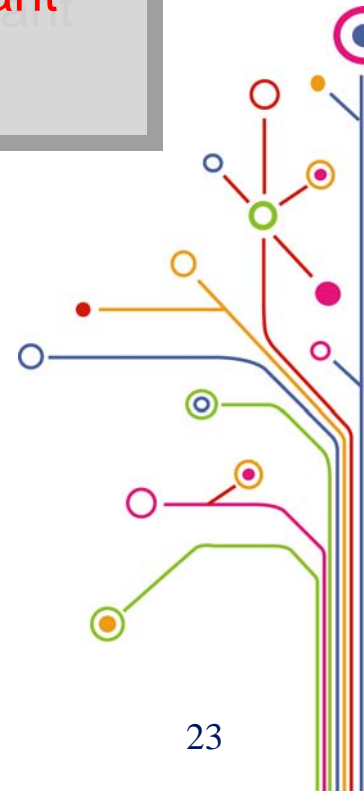
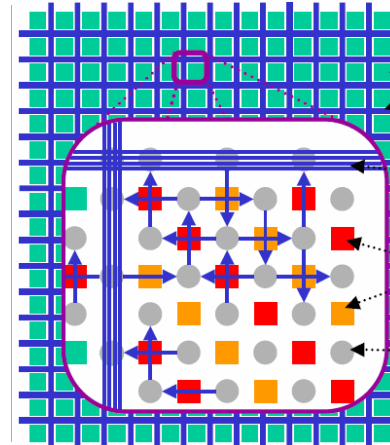
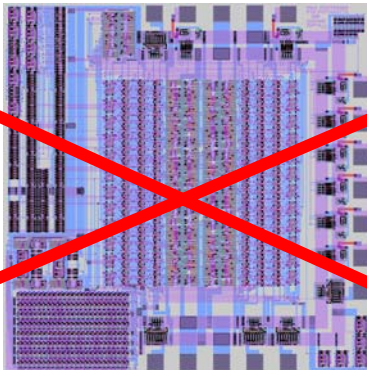
Vers des nanofabriques ?

1. Les molécules s'assemblent n'importe comment !

- ✓ Les "briques" du système devront être identiques
- ✓ Elles seront organisées selon une structure "régulière"

2. Il va y avoir beaucoup de "défauts" dans le système résultant

- ✓ On va utiliser de la "redondance" entre les blocs





IRISA

UNE UNITÉ DE RECHERCHE
À LA POINTE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Et dans trente ans ? ...

- **Dis papa, c'est quoi une puce ?**
- **Comment c'était il y a 30 ans ?**
- **Et aujourd'hui ?**
- **Et dans trente ans ?**
- **Et la recherche dans tout ça ?**
- **Questions ?**

Et la recherche dans tout ça ?

● Quels sont nos sujets de recherche ?

1. La recherche en architecture

1. Améliorer les machines existantes
2. Proposer de nouvelles machines

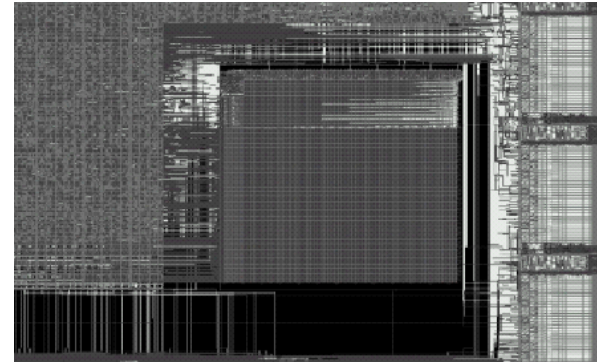
2. La recherche en conception de circuits

1. Aider les concepteurs de circuits
2. On voudrait être capable de concevoir un circuit aussi “simplement” que l’on écrit un programme.

Concevoir de nouvelles architectures

Des **circuits reconfigurables** qui peuvent changer de structure interne au cours d'un programme pour s'adapter au calculs à réaliser...

Le circuit DART



Un disque dur dans lequel on a ajouté de l'intelligence sous la forme d'un circuit.

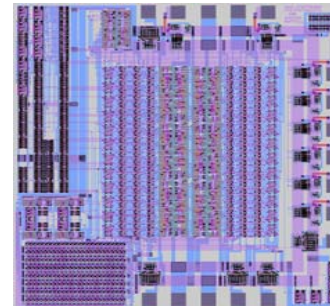
La machine RDISK

Concevoir un circuit en 2010 ?

On écrit un programme qui décrit les calculs qui devront être effectués par la camera numérique.



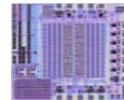
L'outil conçoit automatiquement **plusieurs circuits** qui réalisent les calculs décrits dans le programme



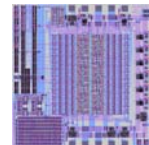
Le circuit A est très rapide, mais il utilise beaucoup de transistors ...



Le circuit B utilise très peu de transistors mais il n'est pas assez rapide ...



Le circuit C est suffisamment rapide, et n'utilise pas trop de transistors



Le circuit D est aussi rapide que le C. Il utilise un peu plus de transistors mais il consomme moins d'énergie, c'est lui qui sera choisi ...



Questions ?