

RENCONTRES EXPLORA PROVENCE

L'invisible qui change nos vies

La révolution de la microélectronique

24 juin 2026 · 18h00 · Campus de Gardanne



Qui sommes-nous ?

Philippe LALEVÉE

Formation

Ingénieur Télécom
Docteur en informatique

Expériences

Enseignant-Chercheur IMT
Directeur du Campus de Provence EMSE
Transition Manager KINCY

Gérard STEHELIN

Formation

Docteur en sciences des matériaux

Expériences

Management de la production en microélectronique
Responsable de programmes collaboratifs de R&D
Expertise technique pour projets de start-ups et PME

Membres « Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF) »

<http://iesfprovence.fr>

L'IESF est une association fédérant les ingénieurs et scientifiques de France. Reconnue d'utilité publique, elle agit pour valoriser les formations scientifiques, encourager les vocations scientifiques et faciliter les échanges et partages d'expériences

Au programme de ce soir

01

Introduction

Le numérique, qu'est-ce qu'il y a derrière ?

02

Du silicium aux puces

Histoire, fabrication, marché, chaîne de valeur

03

À quoi ça sert ?

Transports, santé, industrie, télécoms

04

Quel futur ?

Limites, enjeux, nouvelles technologies

01 · Introduction

Le numérique est partout...



Smartphones
& objets connectés
Domotique



Voitures
& transports



Centres de
données



Dispositifs
médicaux



Réseaux &
communications

...mais qu'y a-t-il à l'intérieur ?

Il y a des puces microélectroniques derrière chaque écran, chaque réseau, chaque service

01 · Introduction

Des puces de plus en plus petites, efficaces et économes

50 milliards

de puces produites par an
dans le monde

< 3 nm*

Taille des transistors
les plus récents

(*) Nanomètre (10^{-9} mètre)

700 milliards \$

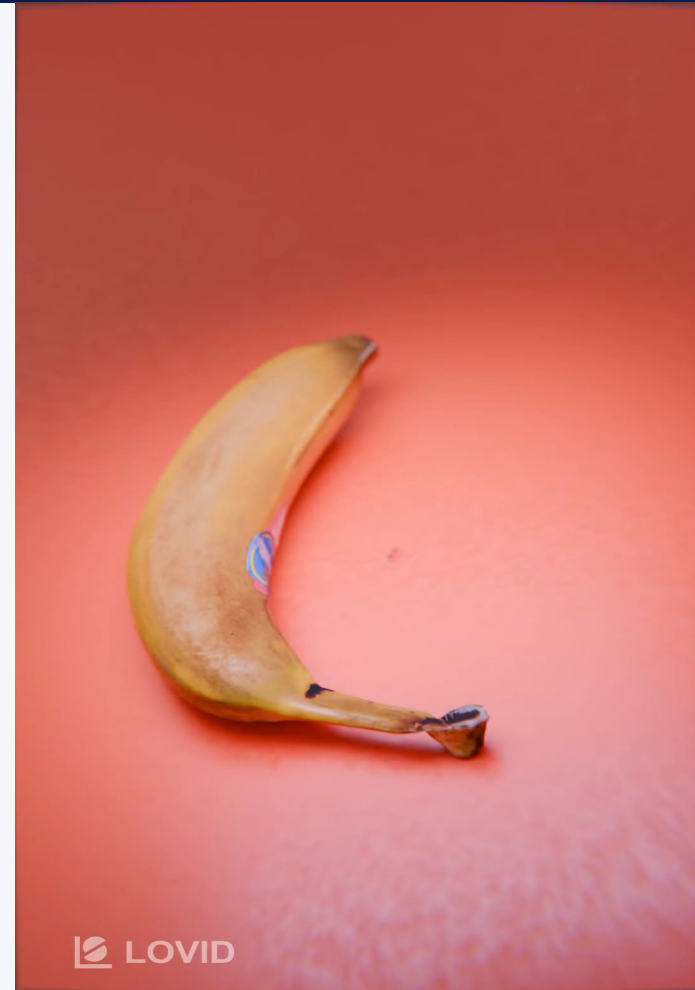
Marché mondial des
semi-conducteurs en 2024

Loi de Moore : le nombre de transistors double tous les 2 ans depuis 1965

01 · Introduction

**Faisons un zoom avant
pour se rendre compte
de la taille d'un transistor**

Source : <https://www.instagram.com/melonimation>



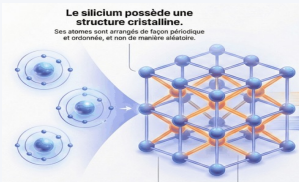
02

Du silicium aux puces

Histoire · Fabrication · Marché

02 · Du silicium aux puces

Qu'est-ce qu'un semiconducteur ?



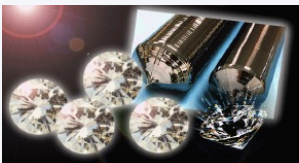
- Un matériau dont on peut modifier la résistivité

Quel est le matériau utilisé, on le trouve où ?



- C'est la silice (SiO_2) qui est le principal constituant du sable
- D'où on extrait le silicium (Si)

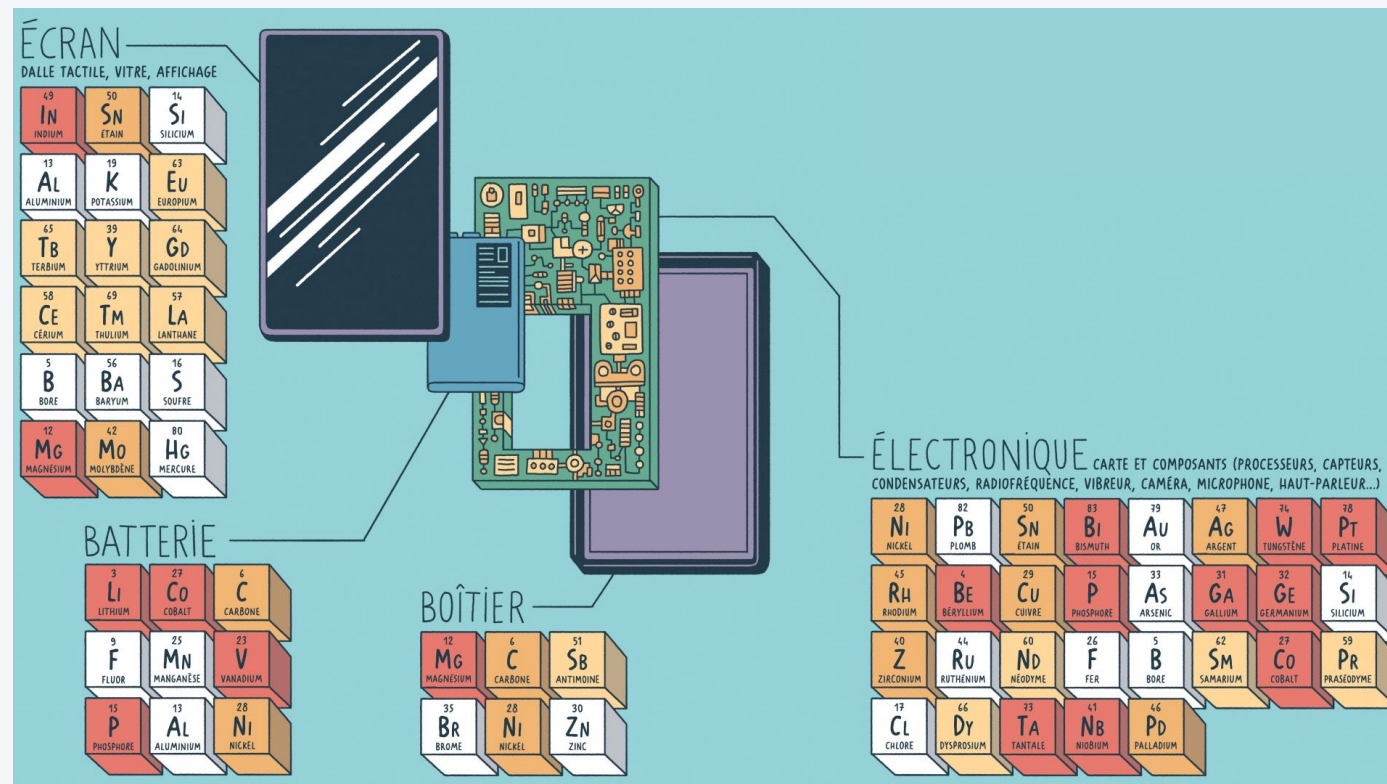
Est-il rare ? Est-il cher ?



- C'est le 2^e élément le plus fréquent sur la planète (28 %)
- Mais il est cher, car il faut le purifier pour qu'il soit utilisable

02 · Du silicium aux puces

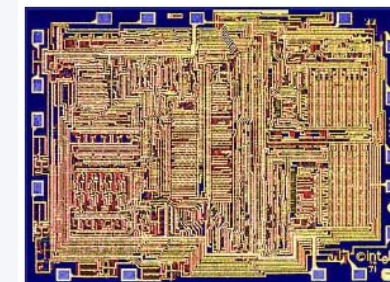
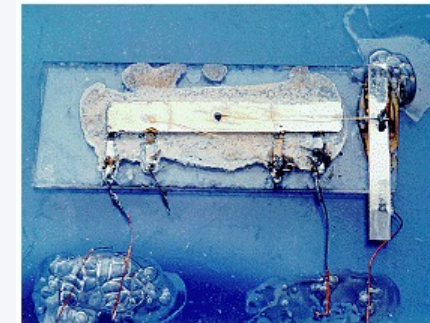
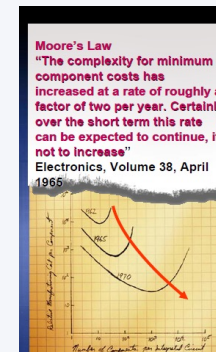
On n'utilise pas que le silicium dans l'industrie microélectronique



02 · Du silicium aux puces

Une révolution née en 1947

- **1947** Invention du transistor (Bell Labs)
- **1958** Premier circuit intégré (Kilby / Noyce)
- **1965** Loi de Moore
On double la complexité tous les 2 ans
- **1971** Premier microprocesseur Intel 4004
2 250 transistors, technologie 10 μ m, 1087kHz
- **2000+** Ère du nanomètre — puces sous 10 nm



02 · Du silicium aux puces

Comment fabrique-t-on une puce ?

1

Purification du silicium et fabrication des tranches (wafers)

Lingots de Si ultrapur

2

Lithographie

Fabrication d'un masque, transfert des motifs par illumination à très courtes longueurs d'onde (UV / EUV)

3

Dépôts & gravures

Couches successives (> 1000 étapes)

4

Traitements thermiques

Traitements haute température, atmosphère contrôlée

5

Test électrique et découpe des puces

Validation des propriétés électriques, individualisation des puces

6

Assemblage et test final

Encapsulation, plusieurs puces dans un boîtier, interconnexions

02 · Du silicium aux puces

Comment fabrique-t-on une puce ?

1

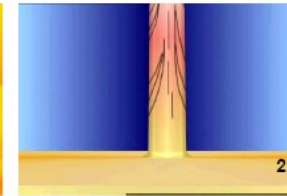
Purification du silicium et fabrication des tranches (wafers)

Lingots de Si ultrapur

Quartz crucible filled with polycrystalline silicon



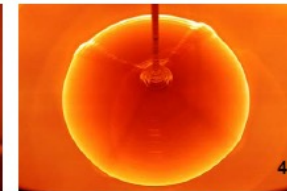
Heat up to liquid silicon



Crystal neck pulling



Increasing diameter



Crystal pulling

Single crystal silicon after CZ growth



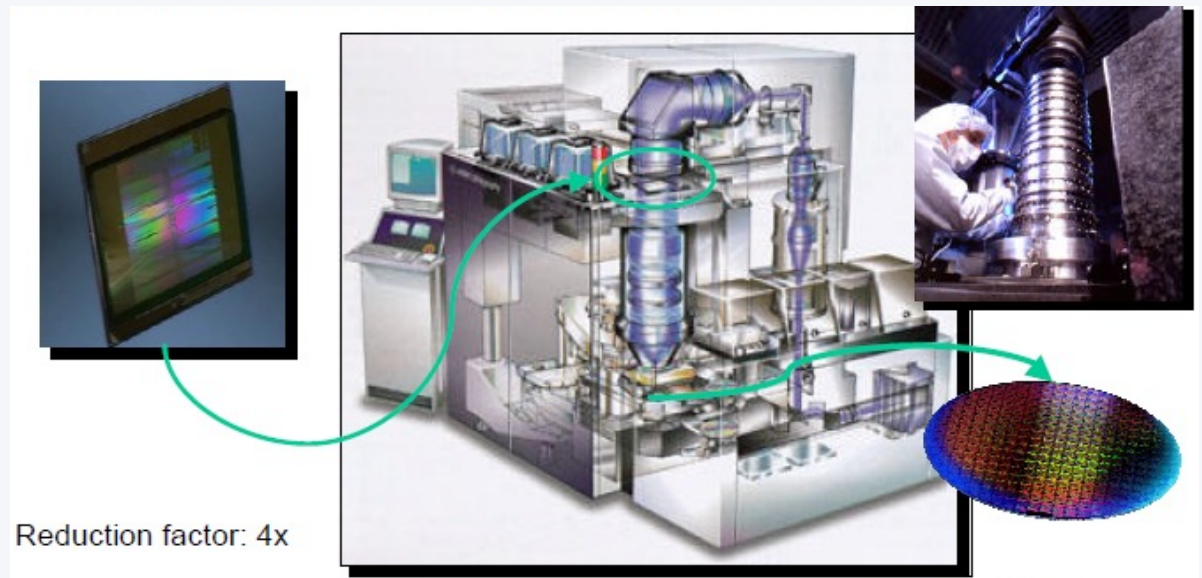
02 · Du silicium aux puces

Comment fabrique-t-on une puce ?

2

Lithographie

Fabrication d'un masque, transfert des motifs par illumination à très courtes longueurs d'onde (UV / EUV)



02 · Du silicium aux puces

Comment fabrique-t-on une puce ?

3

Dépôts & gravures

Procédés sous vide, gaz réactifs, haute pureté, robotisation



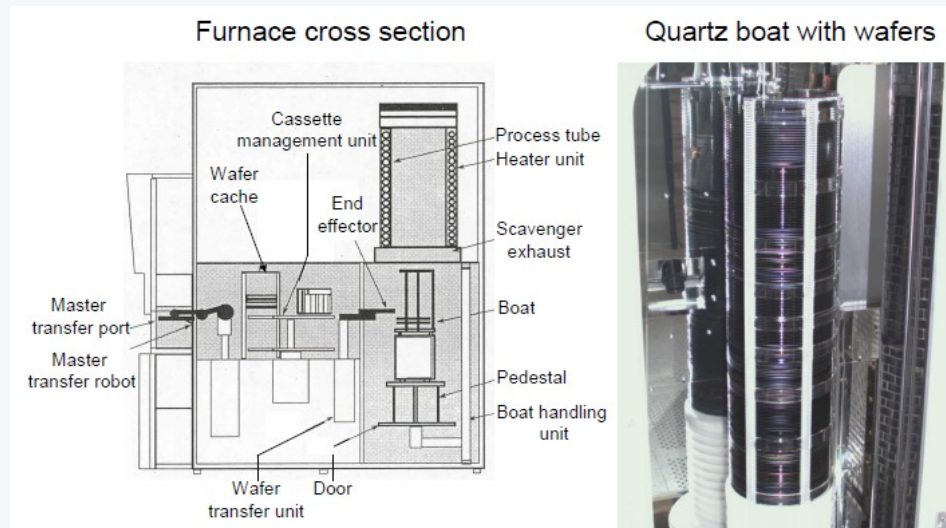
02 · Du silicium aux puces

Comment fabrique-t-on une puce ?

4

Traitements thermiques

Traitements haute température,
atmosphère contrôlée



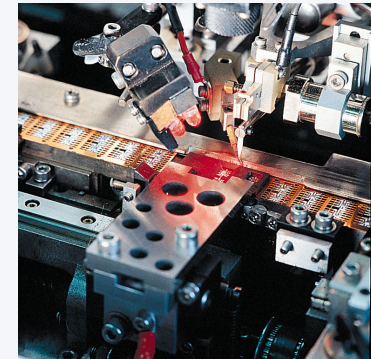
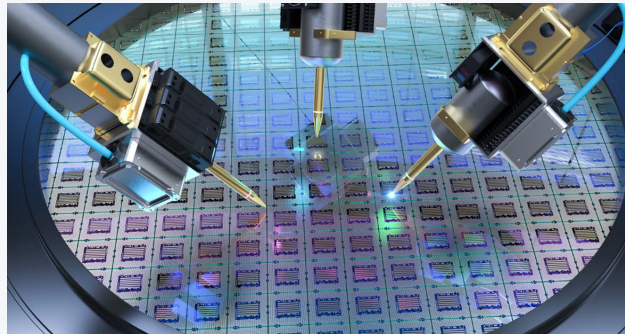
02 · Du silicium aux puces

Comment fabrique-t-on une puce ?

5

Test électrique et découpe des puces

Validation des propriétés électriques,
individualisation des puces

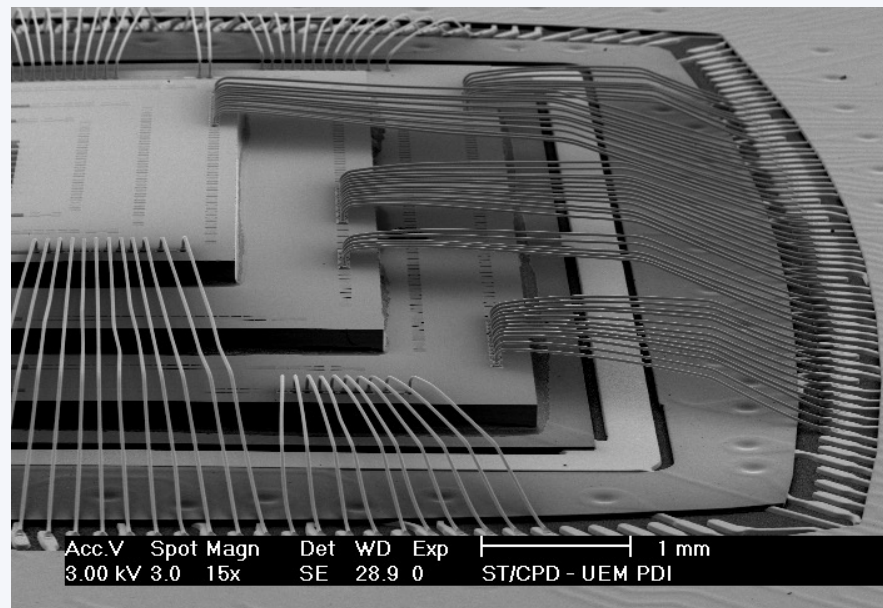


Comment fabrique-t-on une puce ?

6

Assemblage et test final

Encapsulation, plusieurs puces dans un boîtier, interconnexions



02 · Du silicium aux puces

Où fabrique-t-on une puce ?

- Dans une salle « blanche », un environnement ultrapropre et très contrôlé :
 - Pureté, température, humidité, vibrations
 - Beaucoup plus propre qu'une salle d'opérations chirurgicales
- Fabriquer un circuit intégré, c'est comme :
 - Construire une ville de 50 étages niveau après niveau,
 - Avec des contraintes d'alignement draconiennes,
 - Avec un niveau de propreté absolu
 - Et sans savoir si tout marche avant plusieurs semaines de fabrication

02 · Du silicium aux puces

Visite guidée dans une usine de fabrication de puces (usine STMicroelectronics à Crolles)

Source : STMicroelectronics



02 · Du silicium aux puces

Journal de voyage d'une puce

Exemple d'un processeur d'application pour smartphone

- Europe : conception de l'architecture
- USA : logiciel de conception de la puce
- USA : conception de la puce
- USA, Corée, Chine : conception du smartphone
- Europe, USA, Japon : fabrication des équipements de la salle blanche
- USA, Europe, Asie : extraction du SiO₂, raffinage en silicium de « qualité électronique »
- Japon : fabrication d'un lingot de silicium monocristallin
- Corée du Sud : découpage du lingot en tranches de silicium
- Taiwan : fabrication du composant sur tranches de silicium
- Malaisie : découpe de la puce et mise en boîtier
- Chine : intégration de la puce dans la fabrication d'un smartphone
- Europe : vente du smartphone, il est dans votre poche

03

À quoi ça sert ?

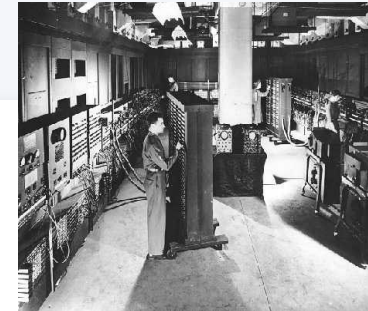
Transports · Santé · Industrie · Télécommunications

03 · À quoi ça sert ?

L'ère numérique : de l'ordinateur à Internet

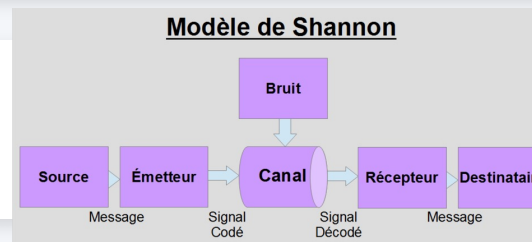
Naissance de l'ordinateur

ENIAC (1945, 17468 tubes, 180m², 174kW) → PC (1981) → smartphones
Une salle entière dans votre poche



Numérisation

Son (MP3), image (JPEG), vidéo (H.264) :
tout devient 0 et 1



Télécommunications

RTC → GSM (1991) → ADSL → Wi-Fi → 5G → Internet des objets



Tout cela n'existe que grâce à des milliards de transistors gravés dans du silicium

03 · À quoi ça sert ?

Systèmes microélectroniques embarqués



Transport

- Véhicule électrique (batterie, moteur)
- Véhicule autonome (LIDAR, radar, IA)
- Spatial (calculateurs de vol, satellites)



Industrie

- Contrôle-commande et capteurs
- Optimisation de production
- Finance algorithmique (HFT)



Santé

- Bloc opératoire & imagerie médicale
- Pacemakers, prothèses connectées
- Capteurs biologiques & diagnostic

03 · À quoi ça sert ?

Systèmes microélectroniques embarqués



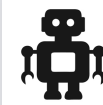
Grand public

- Musique
- Vidéo
- Jeux



Informatique embarquée

- Internet mobile
- IoT (internet des objets)
- Capteurs



IA et robotique

- Robots industriels
- Cobotique
(collaborations homme/robot)
- Drones

04

Quel futur ?

Limites · Enjeux · Nouvelles technologies

04 · Quel futur ?

Défis et horizons de la microélectronique



Limites physiques & quantiques

Le transistor approche de la taille atomique. L'informatique quantique ouvre de nouvelles voies



Bioélectronique

Circuits implantables, interfaces cerveau-machine, capteurs biologiques : la frontière corps/machine



Cybersécurité & IA

IA embarquée sur les puces (Edge AI), sécurité hardware, Chiffrement post-quantique



Enjeux énergétiques

Les data centers consomment ~2 % de l'électricité mondiale. Écoconception et sobriété numérique



Enjeux stratégiques

Terres rares, dépendance à l'Asie, CHIPS Act (USA), Plan UE : la puce est un enjeu géopolitique



Enjeux économiques et industriels

Industrie énormément capitalistique : coût des usines et de la R&D, cycles économiques violents et rapprochés

04. Quel futur ?

Un peu d'humilité pour conclure

Les prédictions, c'est difficile, surtout pour le futur

**Thomas Watson,
Président d'IBM en 1943**

*Je pense qu'il y a un marché pour
peut-être 5 gros calculateurs*

**Un anonyme dans la revue
« Popular Mechanics » en 1949**

*Les ordinateurs dans le futur ne
pèseront pas plus de 1,5 tonne*

**Un ingénieur de la division
calcul avancé d'IBM en 1968**

*Mais à quoi ça peut servir une puce
électronique ?*

**Ken Olsen, PDG et fondateur de
« Digital Equipment Corp. » en
1977**

*Il n'y a aucune raison pour qu'une
personne ait un ordinateur à la maison*

**Bjarne Stroustrup, auteur du
langage C++**

*J'ai toujours rêvé d'un ordinateur qui soit
aussi facile à utiliser qu'un téléphone. Mon
rêve s'est réalisé. Je ne sais plus comment
utiliser mon téléphone.*

Bill Gates en 1984

*640 ko devrait être une capacité
mémoire suffisante pour n'importe qui*

Pour finir : Le monde de la microélectronique, ce sont :

- Des crises fréquentes
- Des croissances fortes
- Un renouvellement permanent des technologies
- Un impact sur la société énorme
- Un accroissement continu des capacités de calcul et de stockage d'information
- Des besoins immenses à satisfaire : énergie, communication, santé, éducation...
- Des limites sans cesse repoussées
- Des métiers passionnants



04. Quel futur ?

Un peu de poésie pour conclure

Plus que jamais ...

... don't speak too soon, the wheel's still in spin

... ne parle pas trop vite, la roue continue de tourner

The times they are a-changin'
Bob Dylan, 1963

Rencontres Explora Provence · Campus de Gardanne · 24 juin 2025

Questions & échanges

15 minutes d'échanges avec la salle



Merci de votre attention !

