

# *Stockage des données : toujours plus ?*

Stéphane Mangin



<http://spin.ijl.cnrs.fr>

# Big Data

THE INTERNET IN **2023** EVERY MINUTE



Created by: eDiscovery Today & LTMG

## Internet Aujourd'hui

161 exabytes de données créées en 2006

= 3 millions de fois la totalité des informations contenues dans l'ensemble des livres jamais écrits

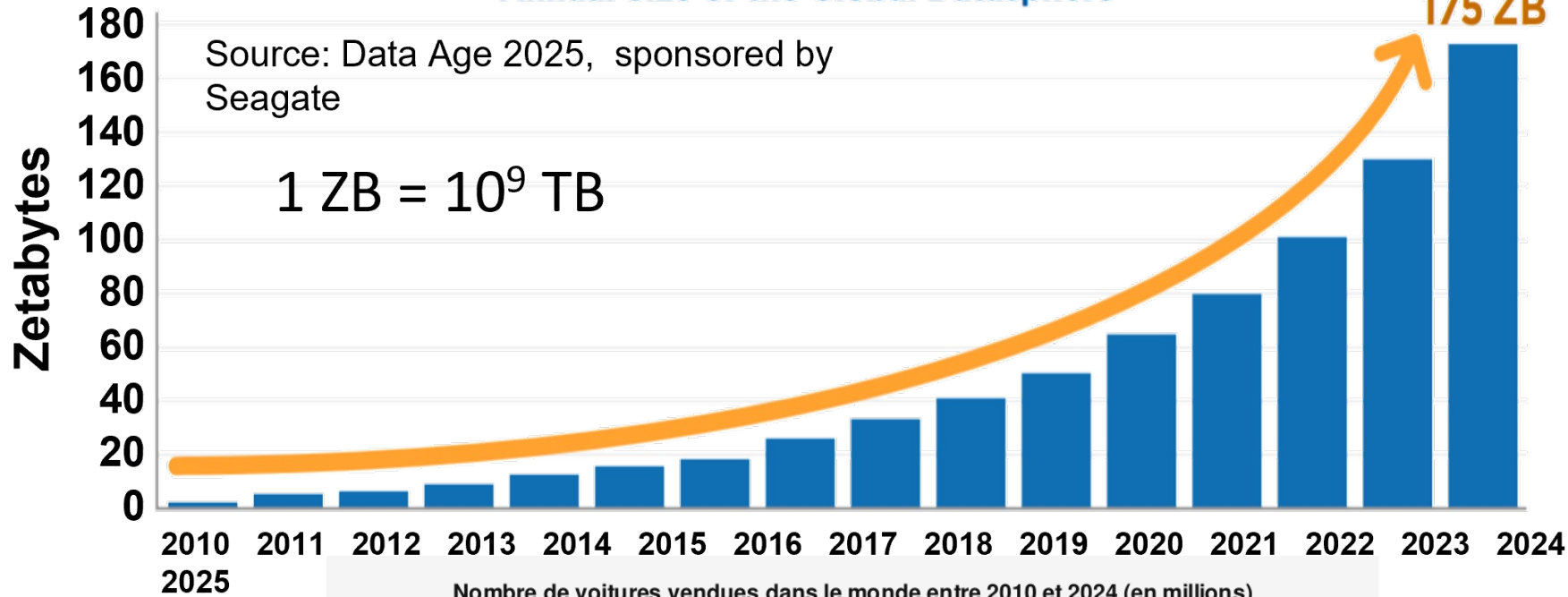
2010 1,2 zettabytes =  $1.2 \cdot 10^{21}$  bytes

2020 50 zettabytes =  $50 \cdot 10^{21}$  bytes

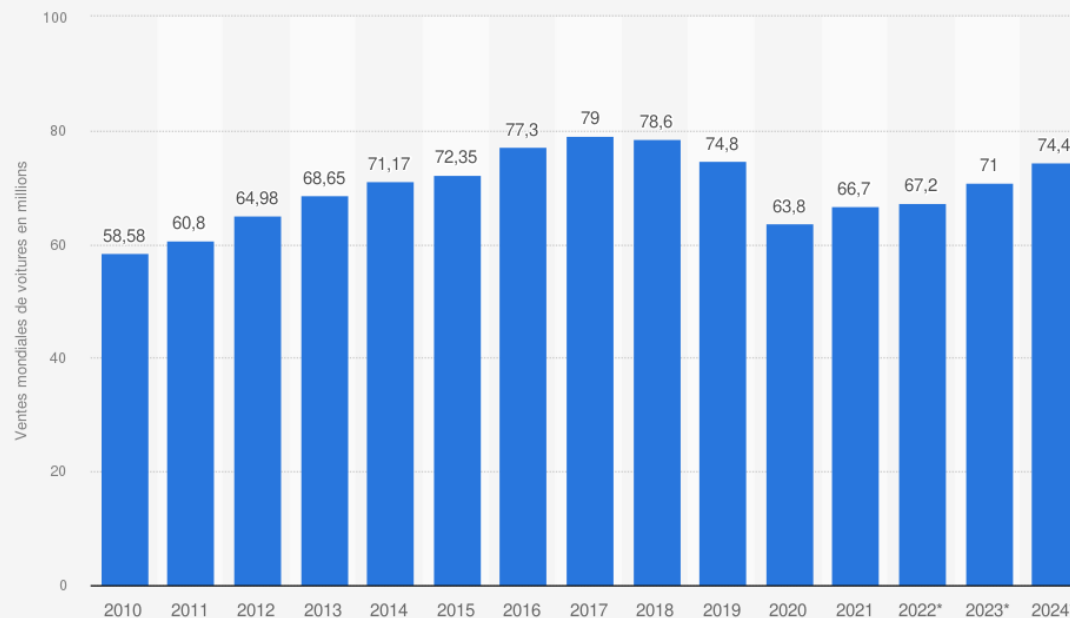
**90 % des données dans le monde ont été générées durant les 2 dernières années**

# Croissance exponentielle du digital

Annual Size of the Global Datasphere



Nombre de voitures vendues dans le monde entre 2010 et 2024 (en millions)

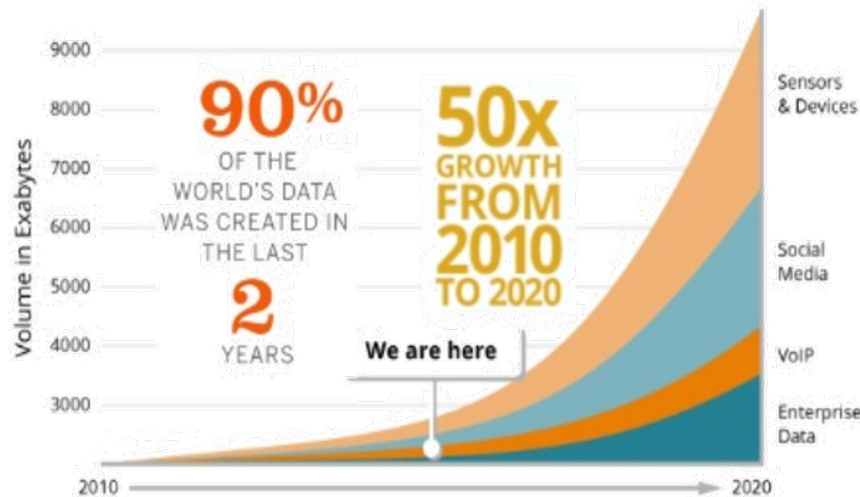
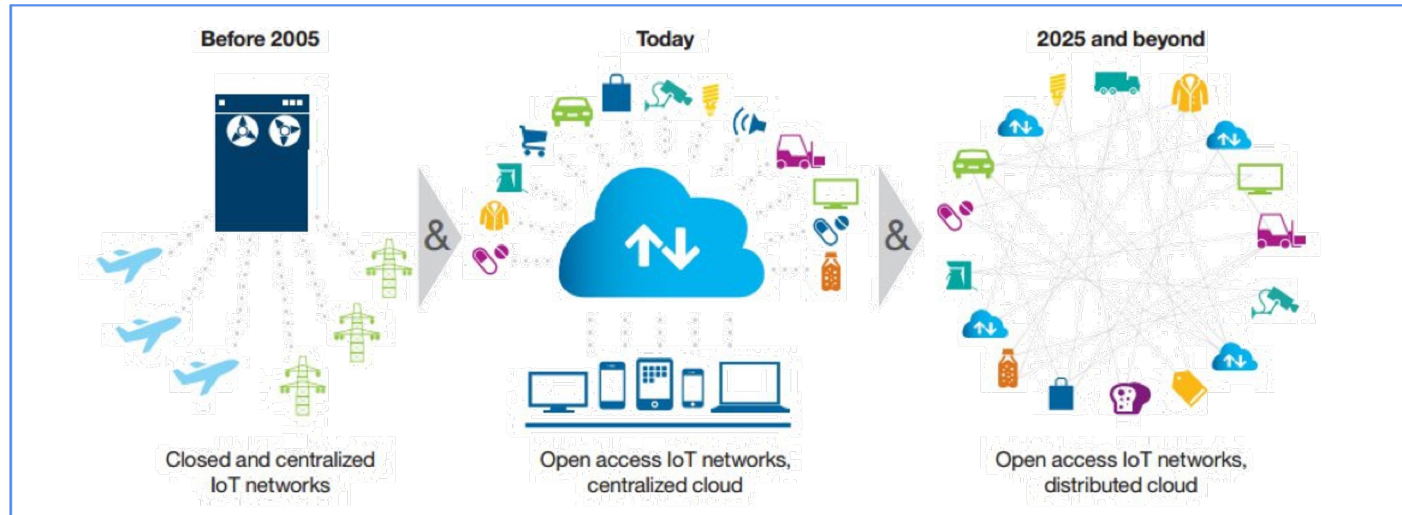


Voitures



## Internet des objets

# Domain: Internet des Objets (IoT)



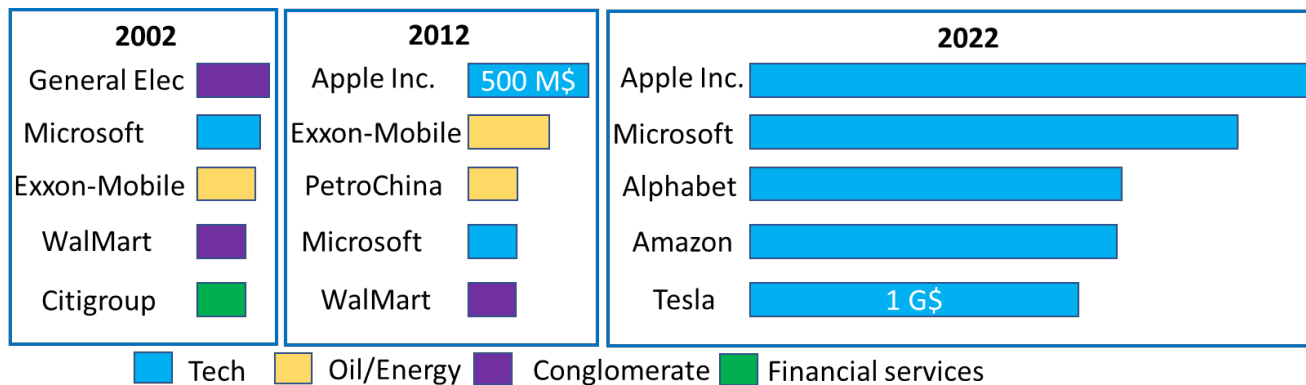
80 milliards d'*objets* en 2025



# Le monde digital : un impact majeur

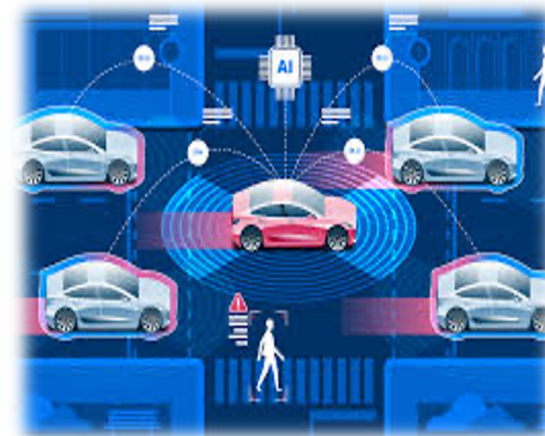
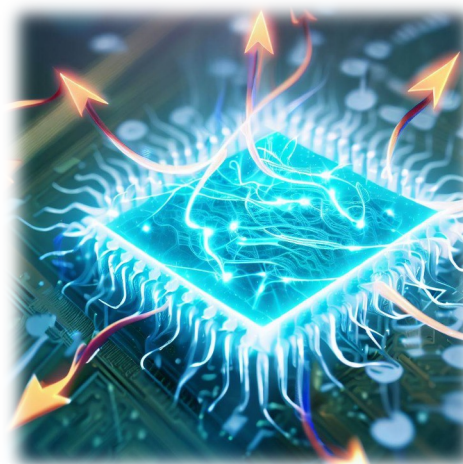
## Un impact économique déjà majeur

The Age of Tech: Top 5 Market Capitalizations over the past 20 years



## L'Intelligence Artificielle.

## Les véhicules autonomes

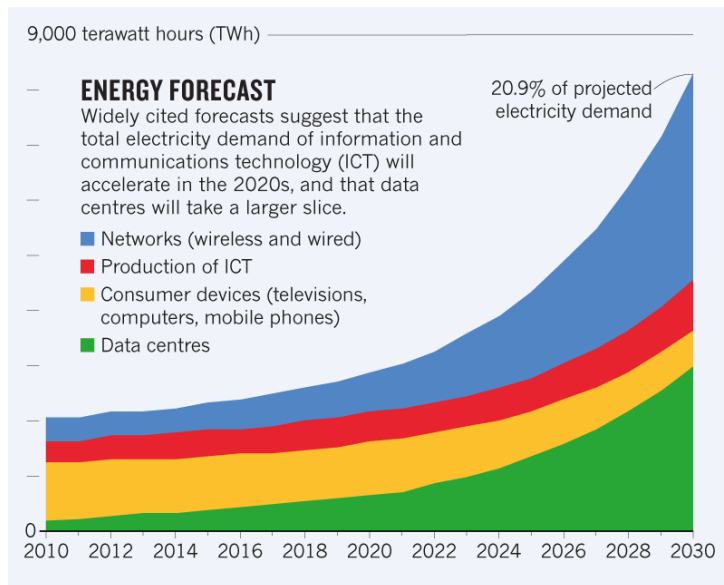


# Le digital : Virtuel ?

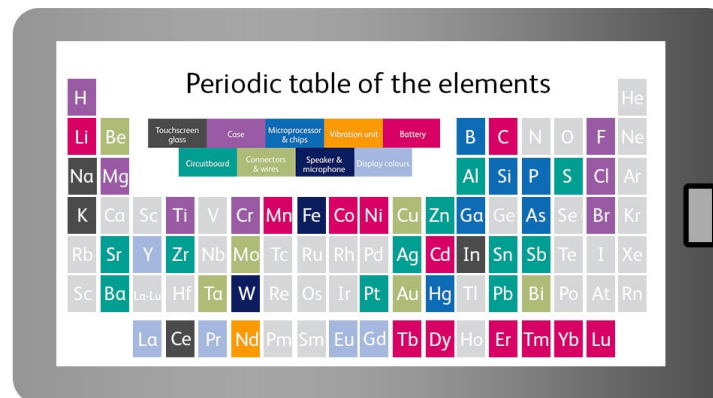
NON



## 1. Consommation énergétique



## 2. Utilisation de matériaux critiques

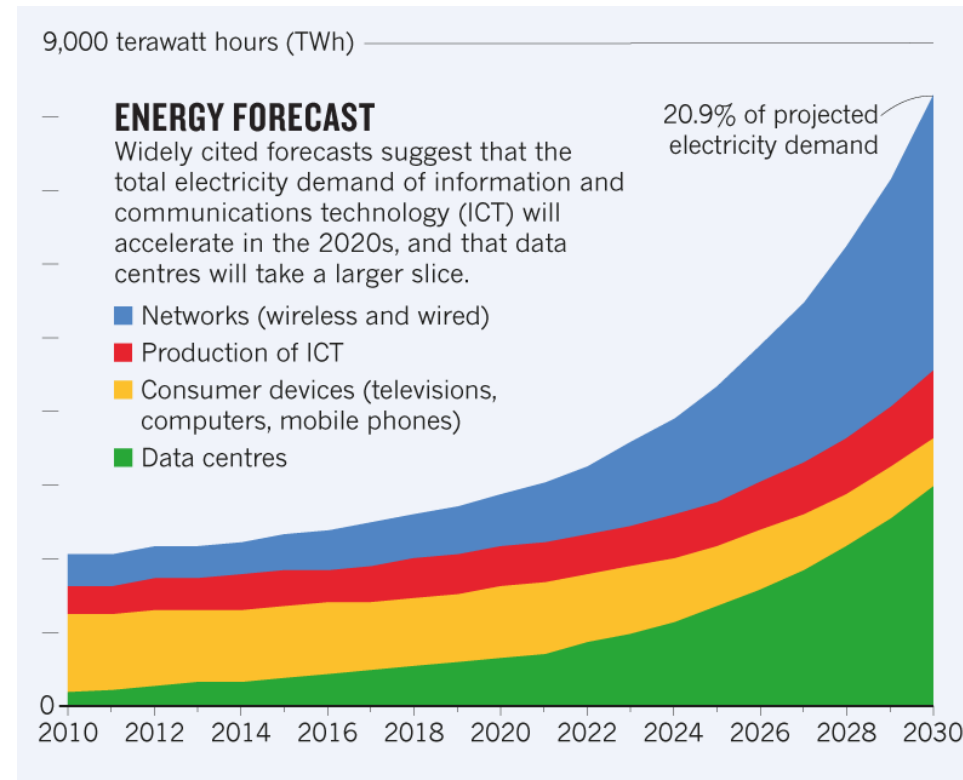


## 3. Recyclage

70 Millions de tonnes de déchets électroniques (2018)



# Le monde digital : un impact énergétique croissant

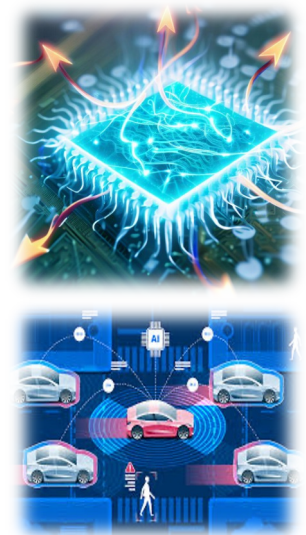


## ❑ L'Intelligence Artificielle consomme trop d'énergie !

- Création d'une image par IA : **quelques W.h** vs **40 W.h** batterie portable.
- L'apprentissage de Google PALM : **3,5 GW.h**  $\approx$  **20 000 ans** d'activité d'un cerveau humain.

## ❑ Un véhicule autonome consomme trop d'énergie !

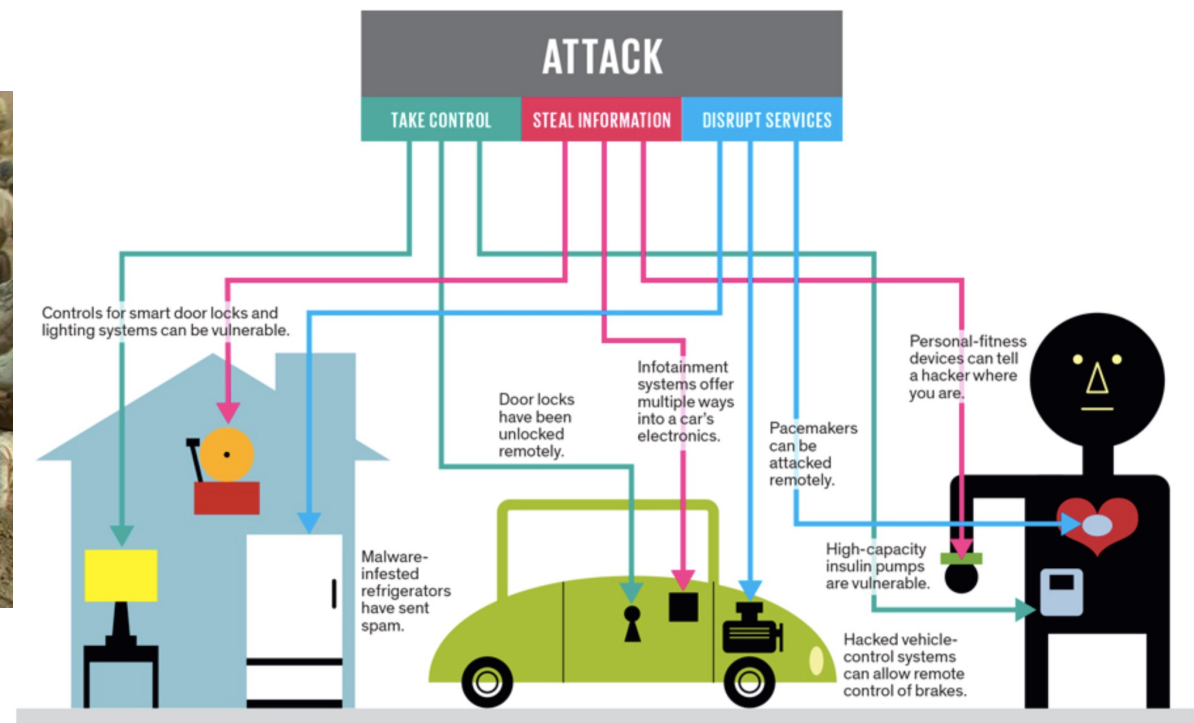
- Si 95% du parc automobile sera autonome en 2050, **l'efficacité des composants numériques devra doubler tous les 18 mois** pour maintenir les émissions carbone au niveau actuel.



# Le monde digital : un impact sociétal



## Securité



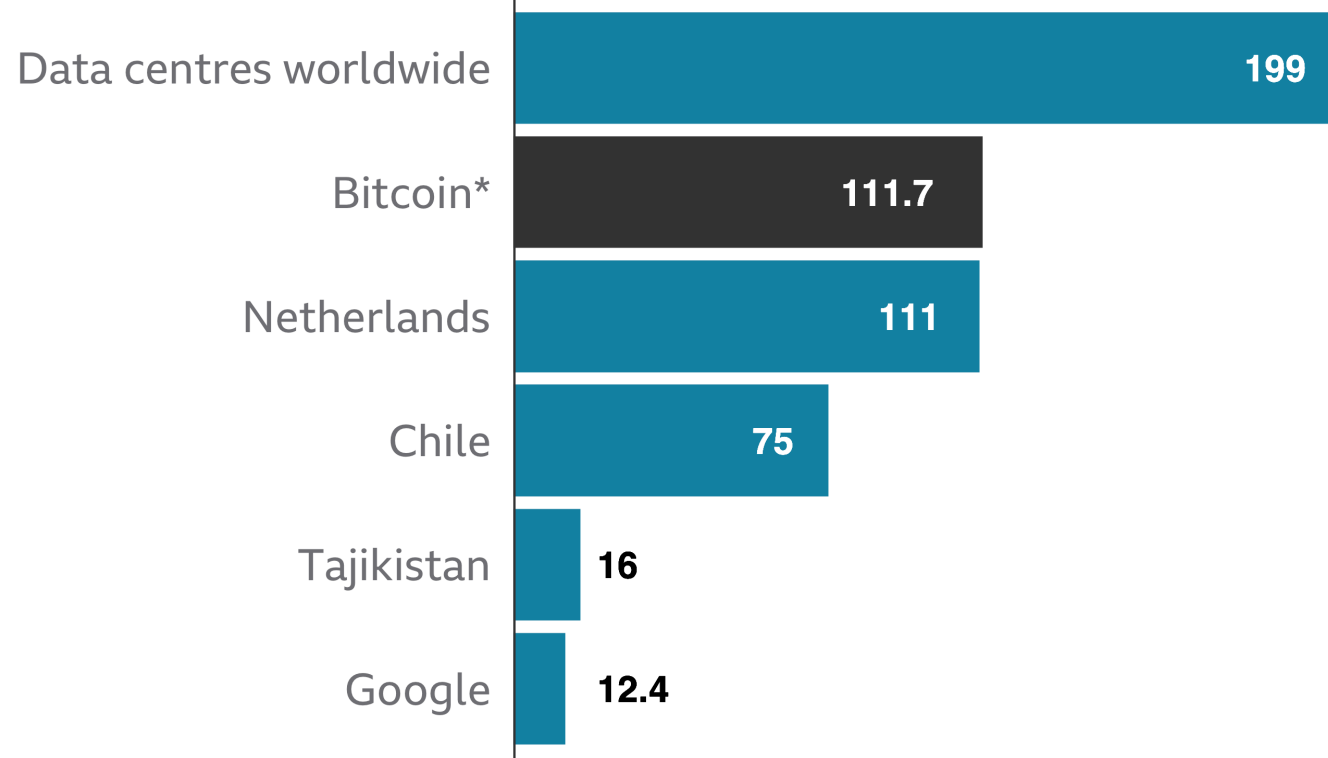
# Le monde digital : un impact positif ?



# Le monde digital : un impact positif ?

## Bitcoin consumes a 'similar amount of power to the Netherlands'

Annual power consumption, in TWh



\*All figures 2019 except Bitcoin, which is annualised middle estimate for bitcoin electricity consumption in January 2021

Source: Forbes, IEA, EIA, Cambridge Centre for Alternative Finance

BBC

# Le monde digital : un impact énergétique croissant

Dans un contexte d'augmentation des températures produite par l'activité humaine

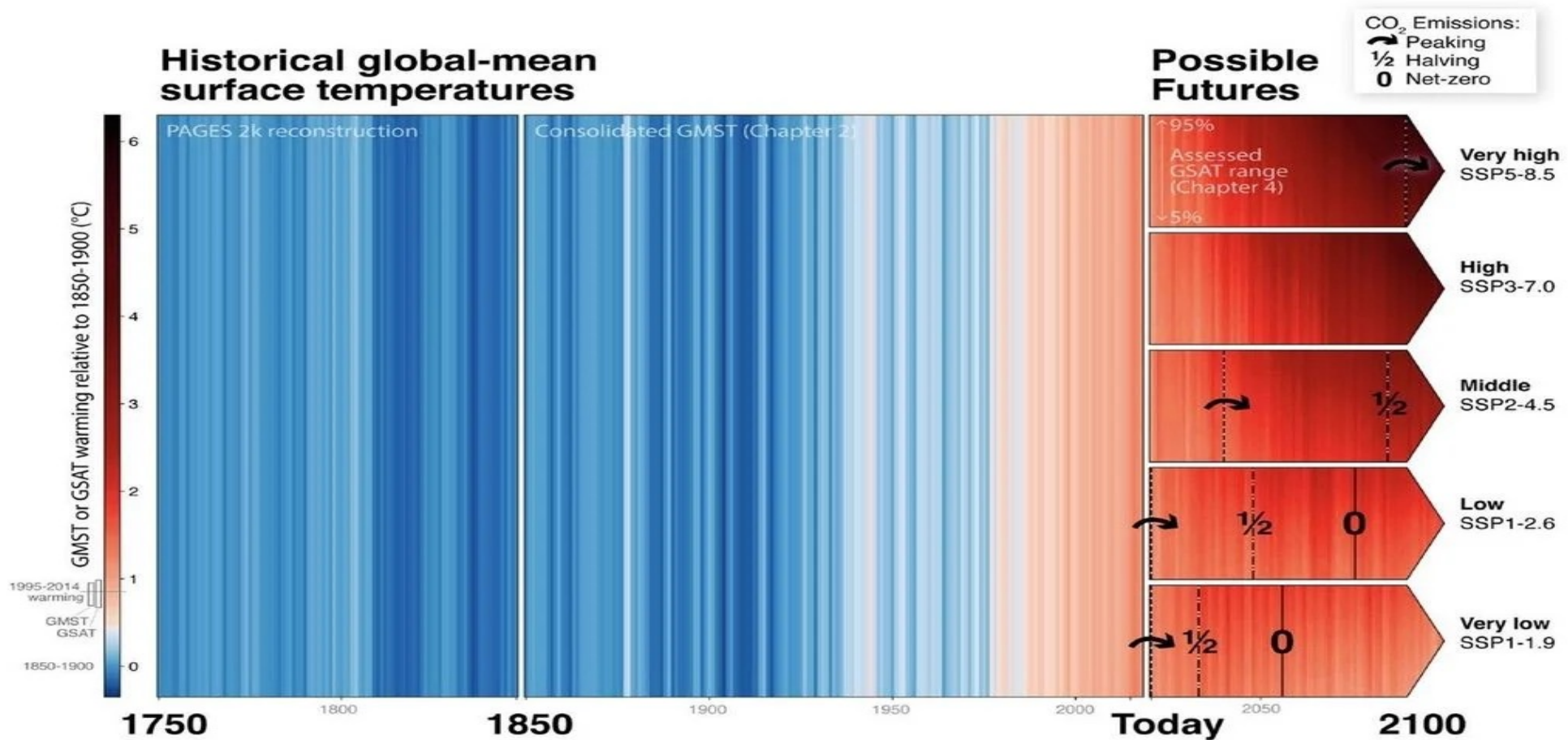
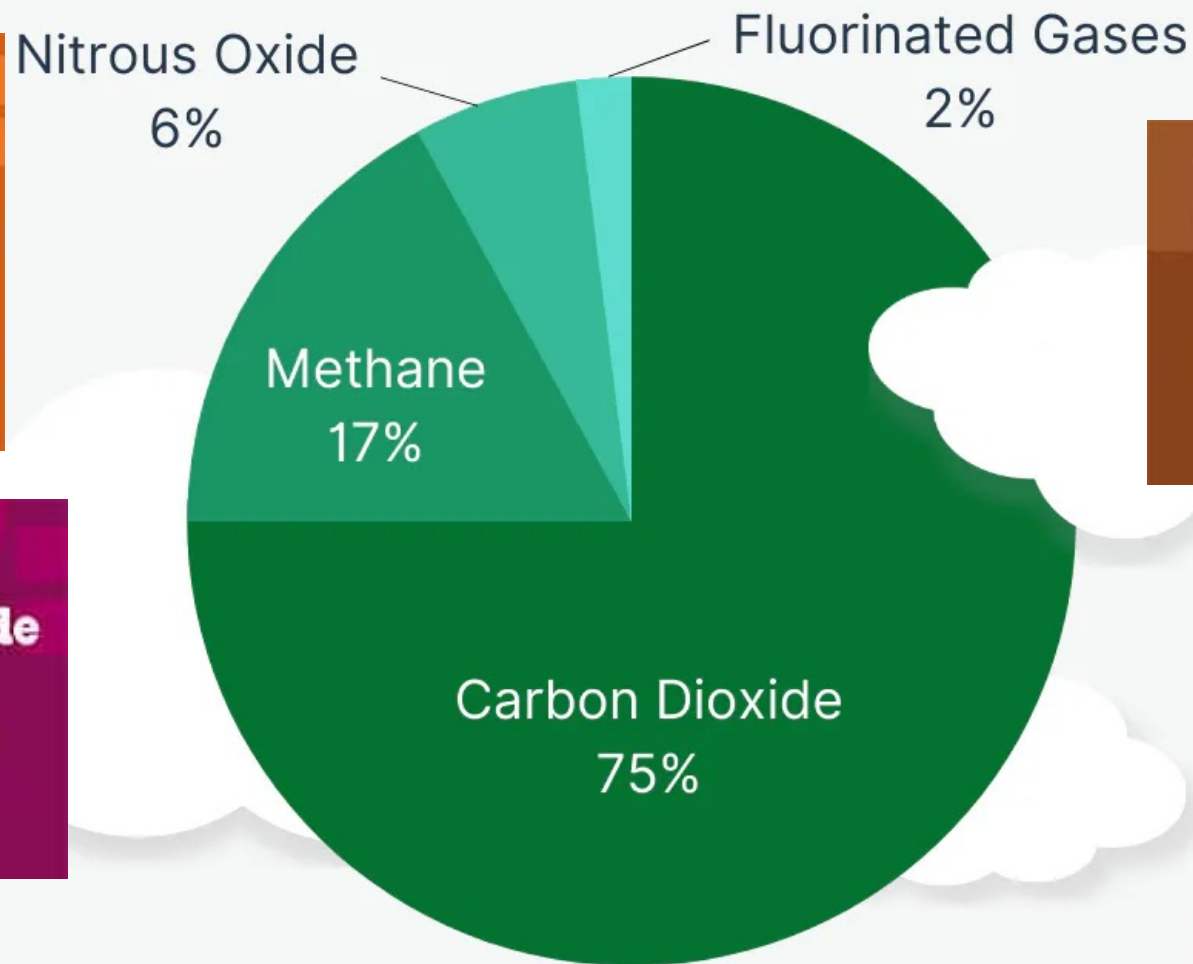


Figure reprise au chapitre 1 du Sixième rapport du GIEC (AR6)

# Le monde digital : un impact énergétique croissant

Dans un contexte d'augmentation des températures produite par l'activité humaine

## Greenhouse Gas Emissions by Source



**Fact!**  
Methane hangs around the atmosphere for just 12 years, but it's 25 times more potent than CO<sub>2</sub>.

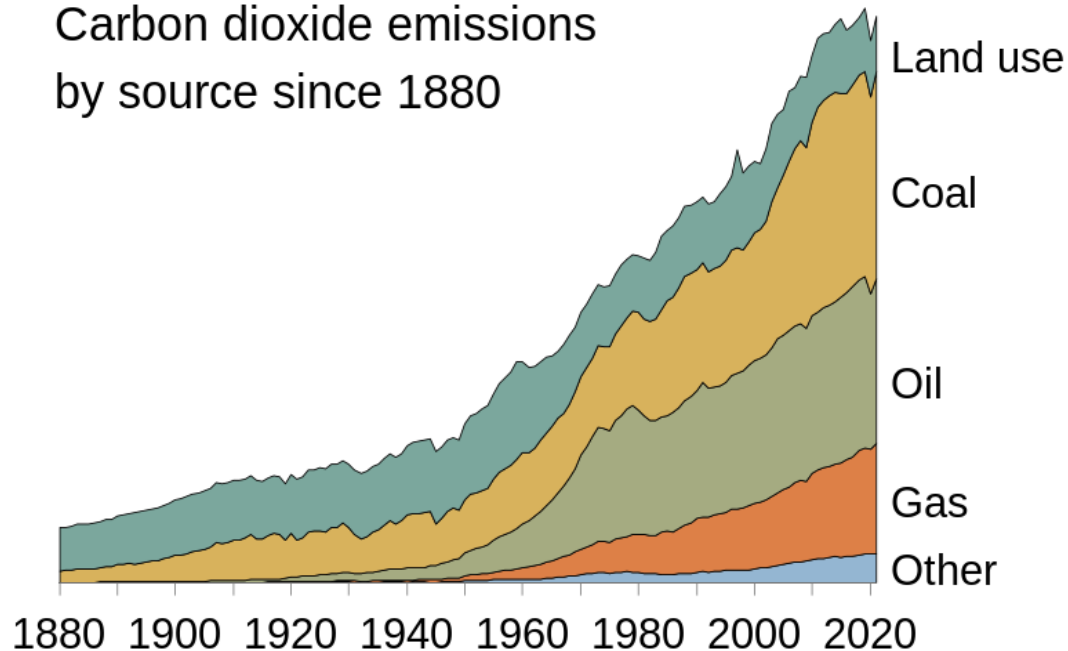
**Fact!**  
Nitrous oxide is not only powerful, it stays in our atmosphere for 120 years.

**Fact!**  
The carbon dioxide we emit today will trap heat for 100 years.

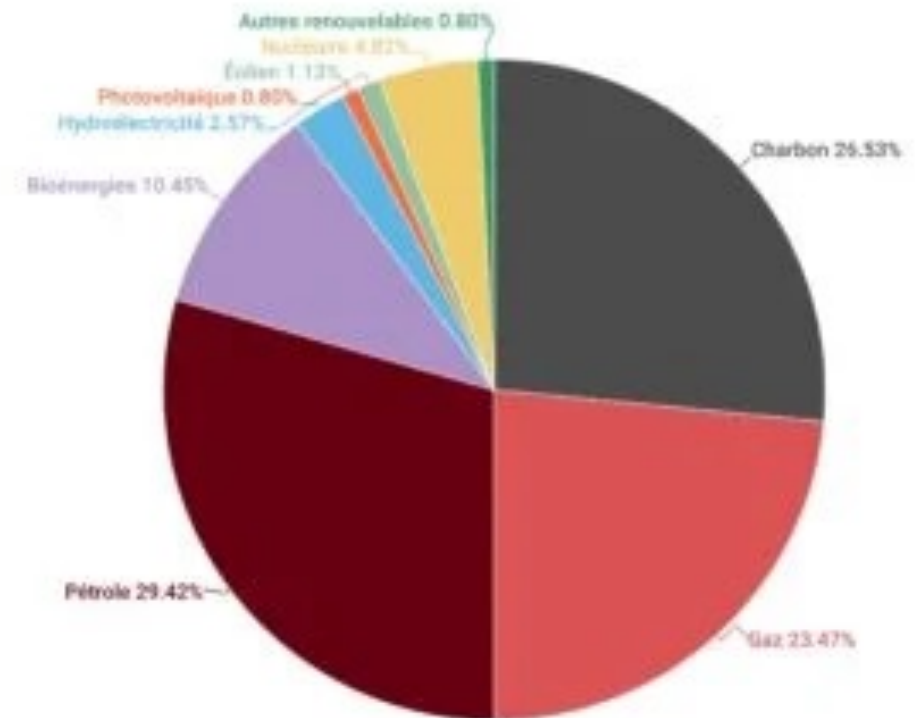
# Le monde digital : un impact énergétique croissant

Dans un contexte d'augmentation des températures produite par l'activité humaine

Carbon dioxide emissions  
by source since 1880



D'où vient l'énergie consommée dans le monde en 2021 ?



Source : Agence Internationale de l'Énergie

révolution  
énergétique

Informations

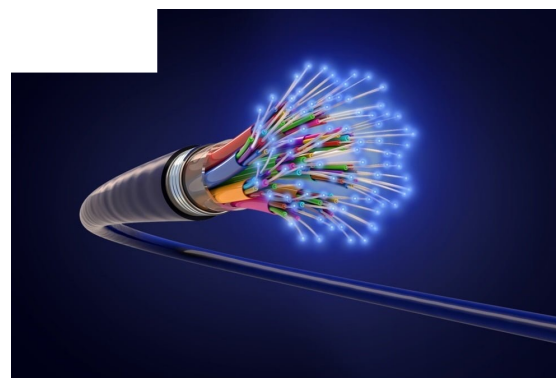


Capter

Stocker

traiter

diffuser



# Où stocker toutes ces informations ?

Dans le cloud ?



# Où stocker toutes ces informations ?

Dans le cloud ?

Dans des data centers !



# Et dans les data centers ?



# Et dans les data centers ?

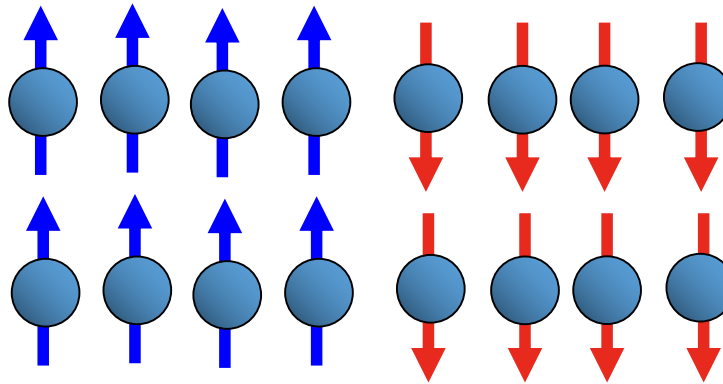


**Des disques durs !**

# Stockage de l'information / Mémoires

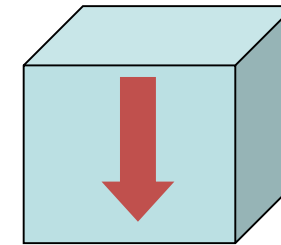
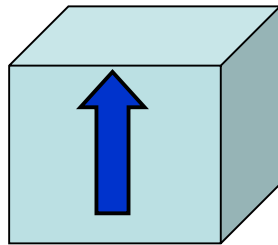


Disque Dur



0

1

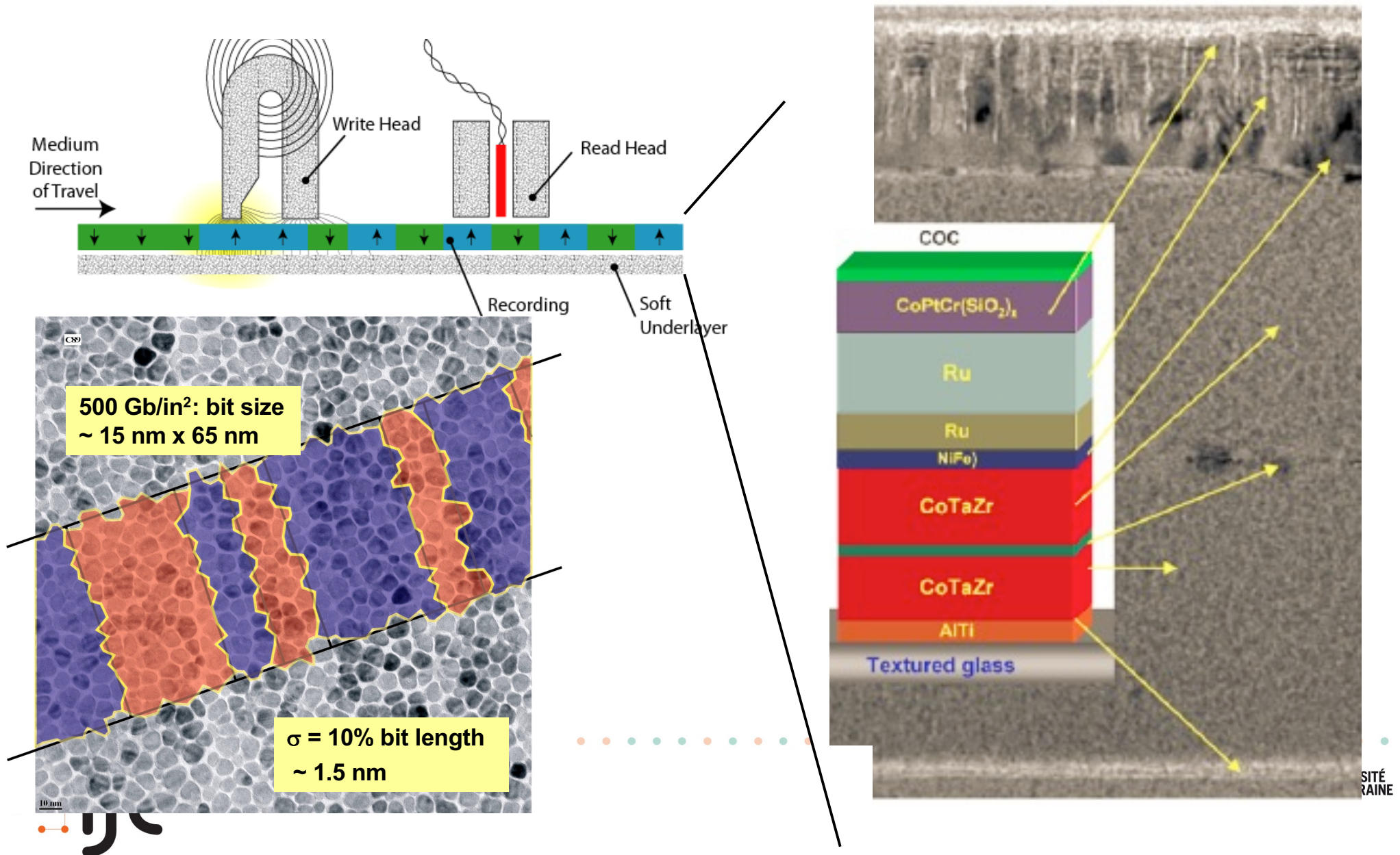


**Stocker** : définir un " 0 " et un " 1 "

**Lire** : avec un courant électrique un " 0 " et un " 1 "

**Ecrire** : Changer un " 0 " en un " 1 " et un " 1 " en " 0 "

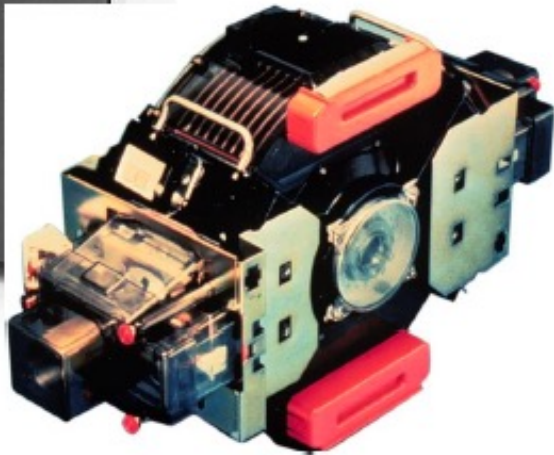
# Stockage magnétique de l'information



# Industrie du digital: diminuer les tailles et les prix



**1981**  
**3380 system**  
1.26 GigaByte



1 Tbyte  
mobile drive



10 Tbyte  
drive

**2011**



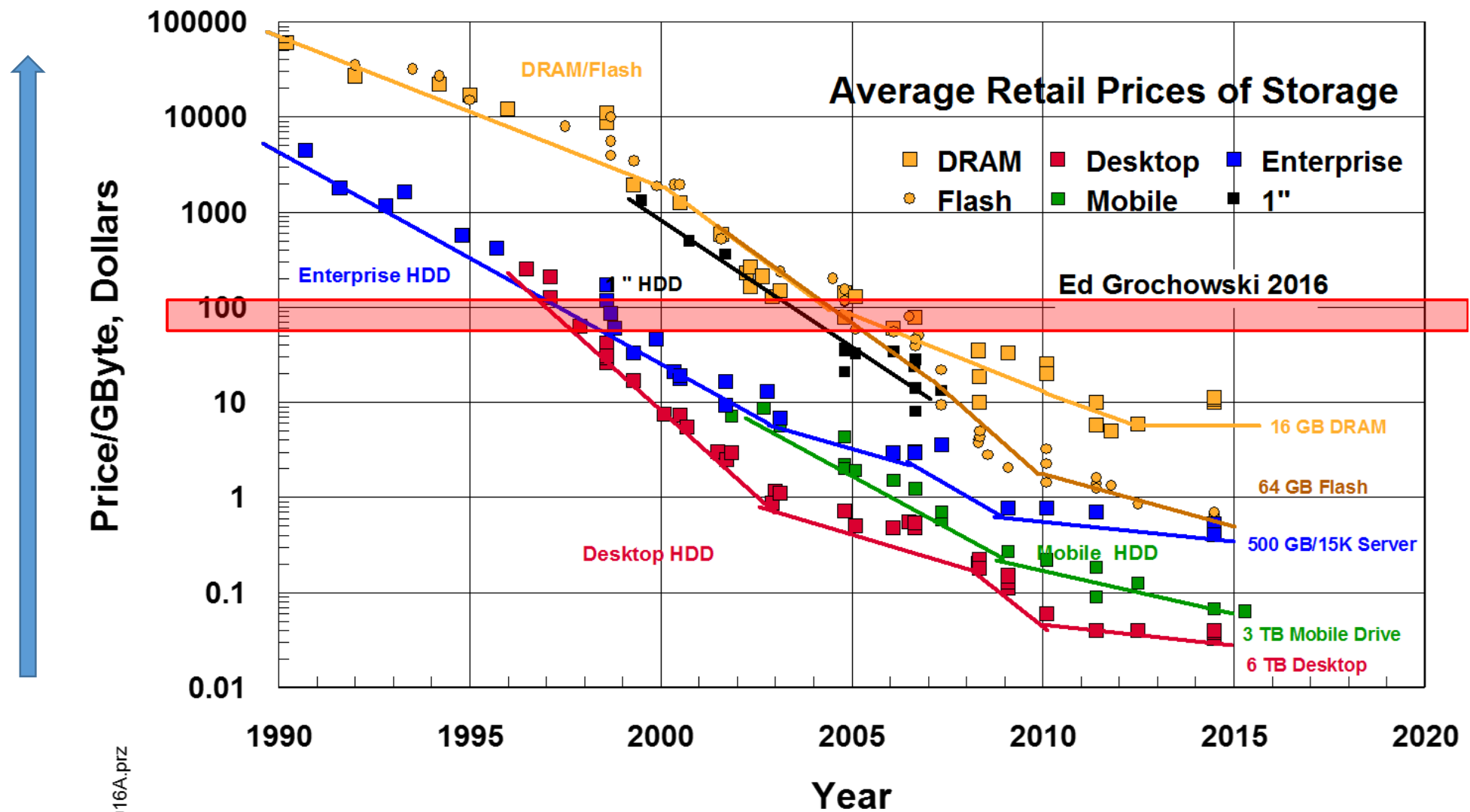
12 Mbits/in<sup>2</sup>  
20 Mbit/s  
9 x 14 in dia disks  
\$80,000/Gbyte

1.3 Tbits/in<sup>2</sup> ( $10^5$ )  
2.0 Gbits/s (100)  
1 x 2.5" glass disks  
\$0.08/Gbyte ( $10^{-6}$ )

870 Gbits/in<sup>2</sup>  
2.7 Gbits/s  
5 x 3.5" disks  
\$0.03/Gbyte

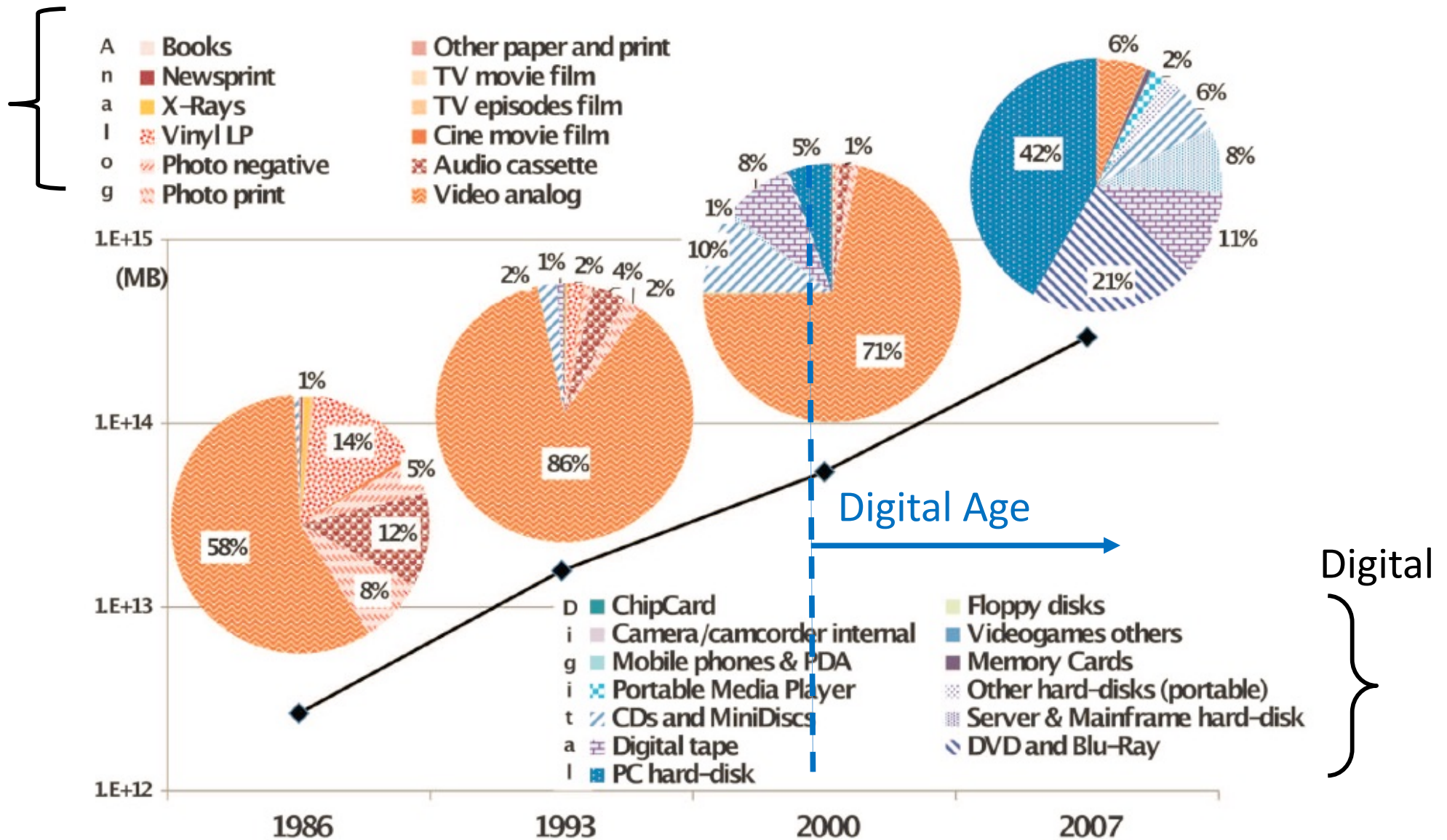
# Industrie du digital: diminuer les tailles et les prix

7 orders de grandeur = x 10 000 000 !



016A.prz

# Transition de l'analogique au digital



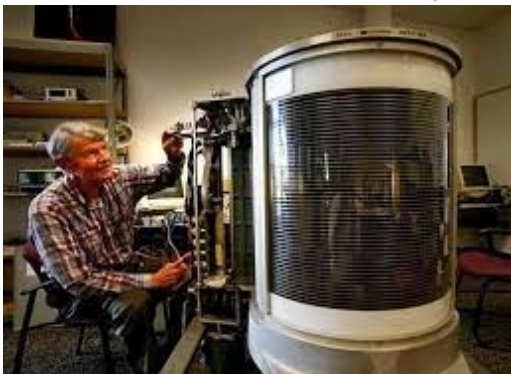
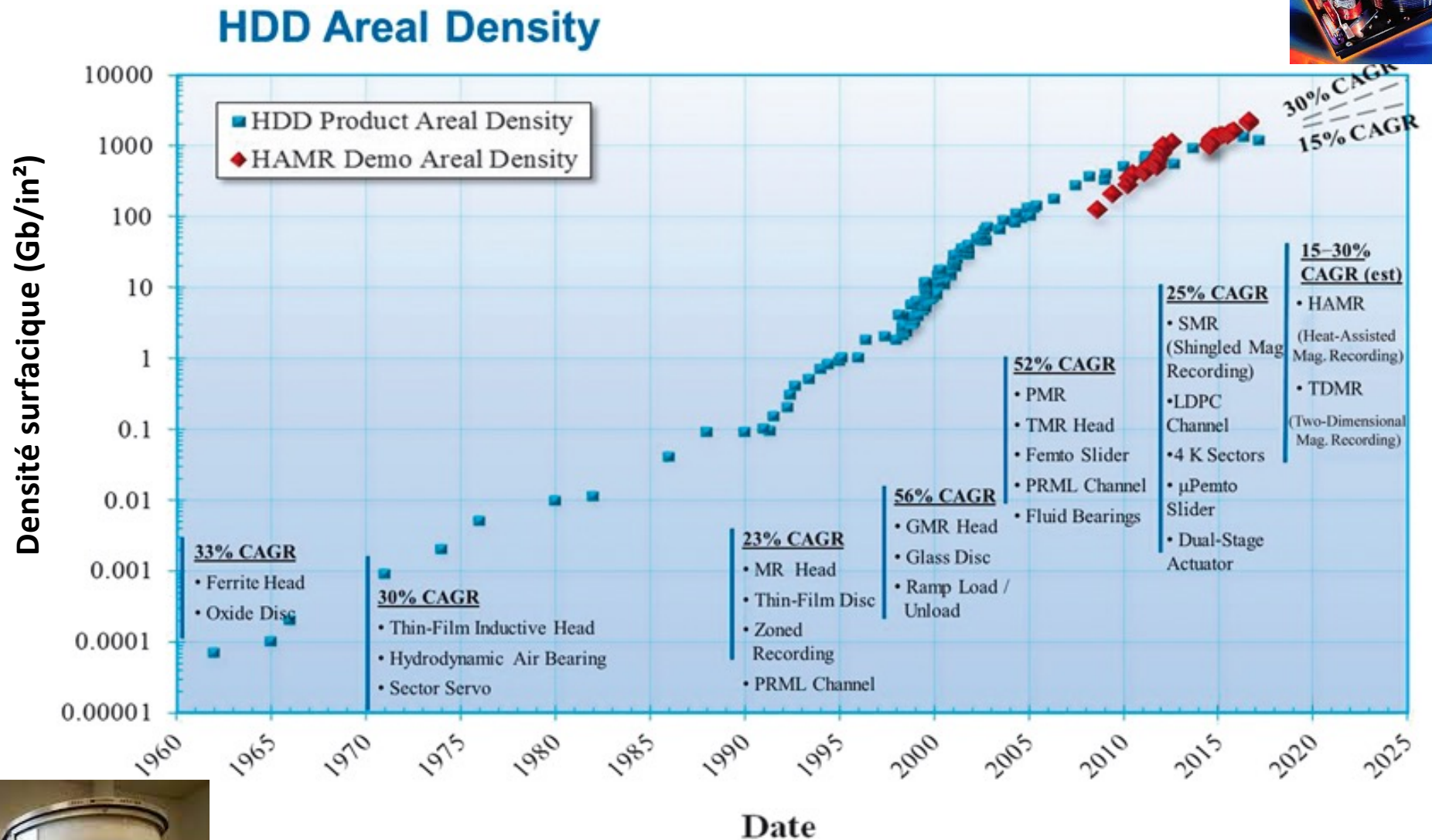
**Fig. 2.** World's technological installed capacity to store information (table SA1) (16).

# Industrie du digital: diminuer les tailles et les prix

2023  
32To



8 orders de grandeur = x 100 000 000 !



1956  
RAMAC  
5Mo

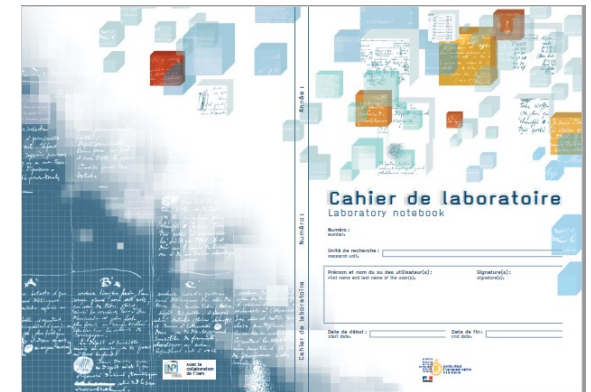
M.T. Kief, R.H. Victora, MRS Bulletin, 43, 87 (2018)

# La digitalisation

|       |   |           |                                       |
|-------|---|-----------|---------------------------------------|
| yotta | Y | $10^{24}$ | 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 |
| zetta | Z | $10^{21}$ | 1 000 000 000 000 000 000 000 000     |
| exa   | E | $10^{18}$ | 1 000 000 000 000 000 000 000         |
| peta  | P | $10^{15}$ | 1 000 000 000 000 000                 |
| tera  | T | $10^{12}$ | 1 000 000 000 000                     |
| giga  | G | $10^9$    | 1 000 000 000                         |
| mega  | M | $10^6$    | 1 000 000                             |
| kilo  | k | $10^3$    | 1 000                                 |

# La digitalisation d'un texte

|            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|
| A 01000001 | N 01001110 | a 01100001 | n 01101110 |
| B 01000010 | O 01001111 | b 01100010 | o 01101111 |
| C 01000011 | P 01010000 | c 01100011 | p 01110000 |
| D 01000100 | Q 01010001 | d 01100100 | q 01110001 |
| E 01000101 | R 01010010 | e 01100101 | r 01110010 |
| F 01000110 | S 01010011 | f 01100110 | s 01110011 |
| G 01000111 | T 01010100 | g 01100111 | t 01110100 |
| H 01001000 | U 01010101 | h 01101000 | u 01110101 |
| I 01001001 | V 01010110 | i 01101001 | v 01110110 |
| J 01001010 | W 01010111 | j 01101010 | w 01110111 |
| K 01001011 | X 01011000 | k 01101011 | x 01111000 |
| L 01001100 | Y 01011001 | l 01101100 | y 01111001 |
| M 01001101 | Z 01011010 | m 01101101 | z 01111010 |



1 octet = 1 Byte = 8 bits = 1 lettre

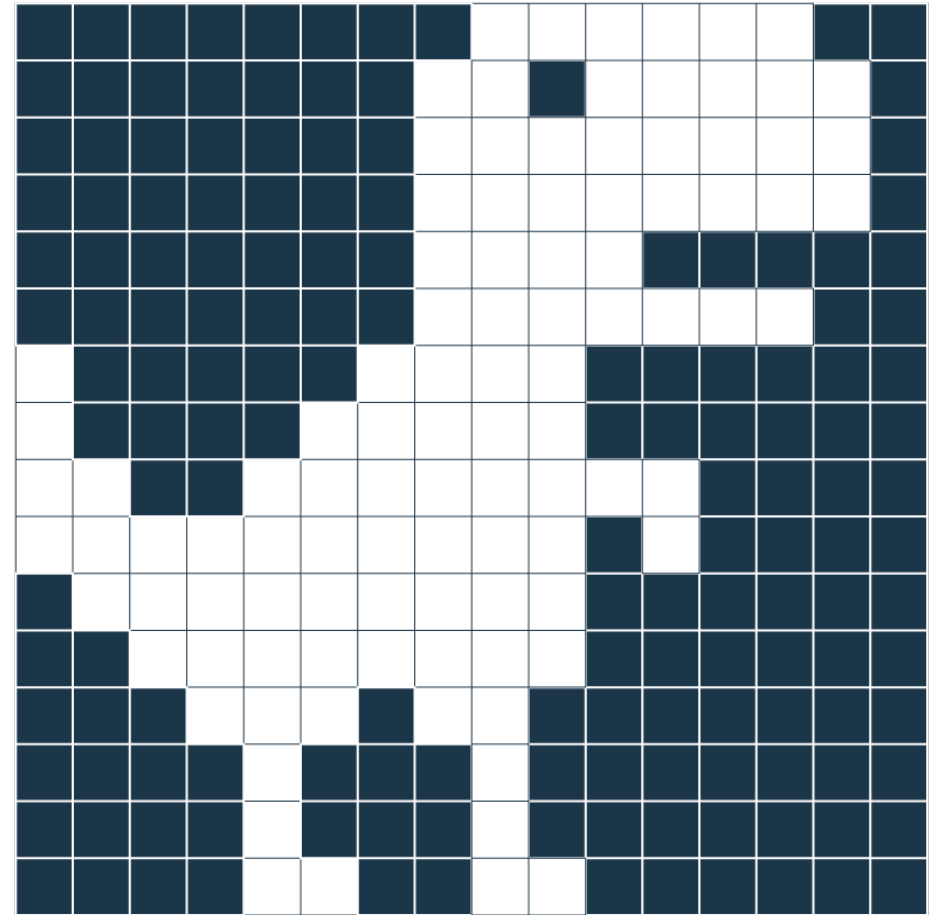
500 mots / pages  
6 lettres / mots

**Texte d'une page: 3 000 lettres : 24 000 bits → 3 kB**

# La digitalisation d'une image

un pixel

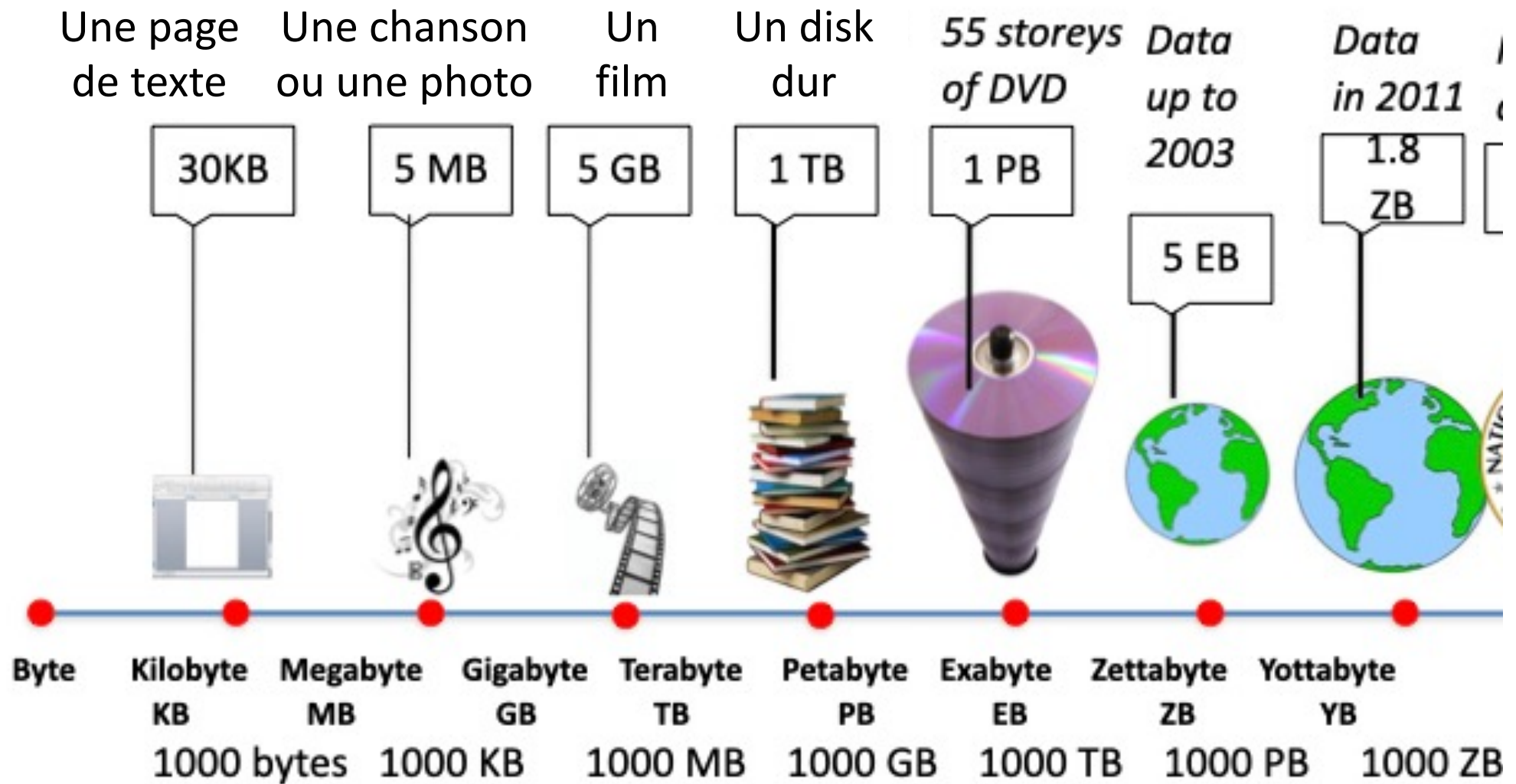
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



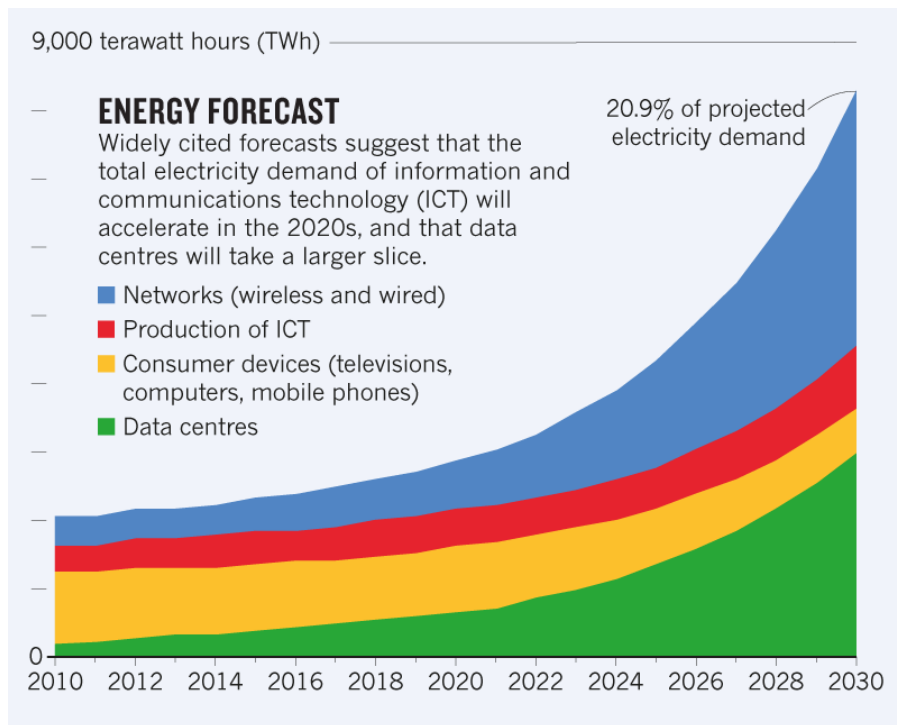
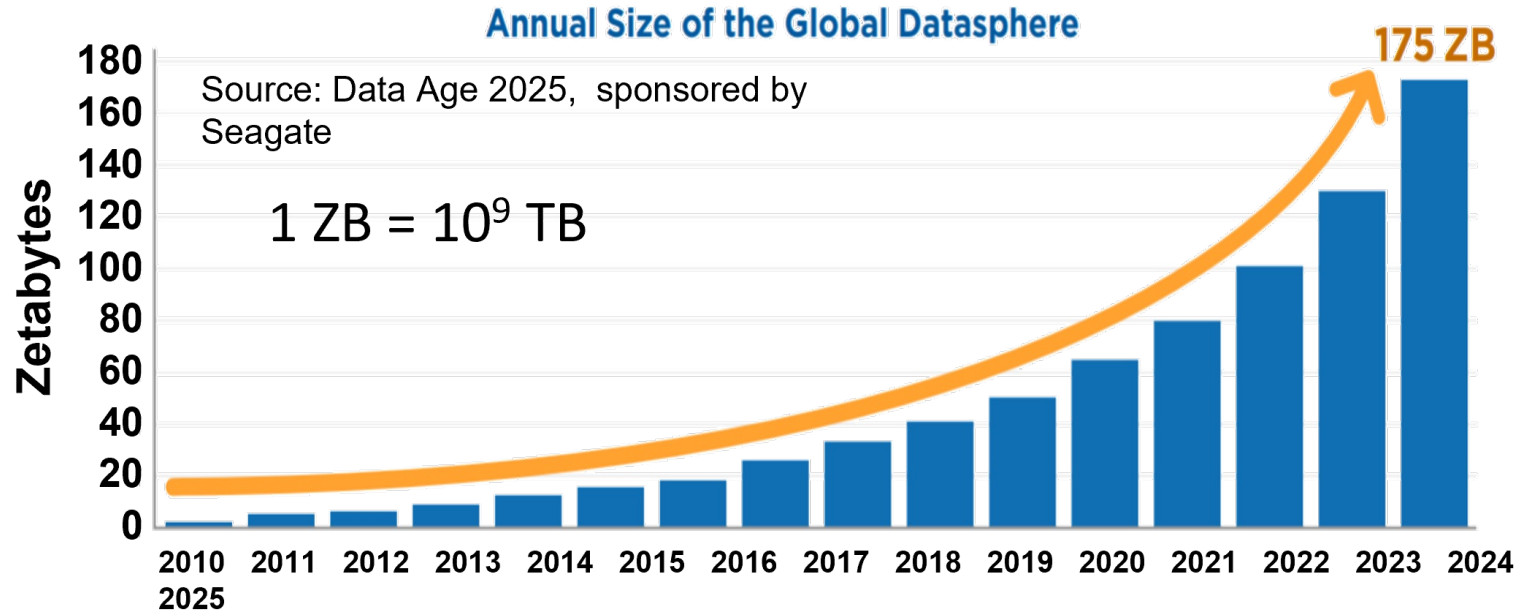
**Une photo 24 000 000 pixel → 7,2 MB**

**1 photo ( 7,2 MB) = 250 pages (30 kB)**

# La digitalisation



# Digitalisation / Energie



2020 : 50 zettabytes =  $5 \cdot 10^{22}$  Bytes

2000 T Wh =  $2 \cdot 10^{15}$  Wh

1 Wh  $\rightarrow 2,5 \cdot 10^7$  bytes = 25 MB ( 5 photos)

1 MB  $\rightarrow 0,04$  Wh

1 GB  $\rightarrow 40$  Wh

1 TB  $\rightarrow 40$  kWh

# Digitalisation / Energie

1 page de texte : 3 kB  $\rightarrow$  0,00012 Wh

1 livre (165 pages) : 0,5 MB  $\rightarrow$  0,02 Wh

1 chanson : 5 MB  $\rightarrow$  0,2 Wh

1 photo : 5 MB  $\rightarrow$  0,2 Wh

1 video You Tube 1GB  $\rightarrow$  40 Wh

1film : 5GB  $\rightarrow$  200 Wh

Ampoule led 1 heure : 6 Wh

Ampoule 1 heure : 60 Wh

1 km en train 60 Wh

1 km en voiture essence 600 Wh

Pendant 1 minutes en 2023 : 3 300 000 photos  
650 000 Wh  $\rightarrow$  1 300 km (en avion ou voiture)

En 2023: 500 000 000 photos de chat :  
260 000 000 Wh  $\rightarrow$  430 000 km (en avion ou voiture)

En 2023: 1 000 000 000 de video sur You Tube :  
40 000 000 000 Wh  $\rightarrow$  66 000 000 km (en avion ou voiture)

En France: 39 000 0000 de voiture x 11 000 km/an : 430 Milliard de km

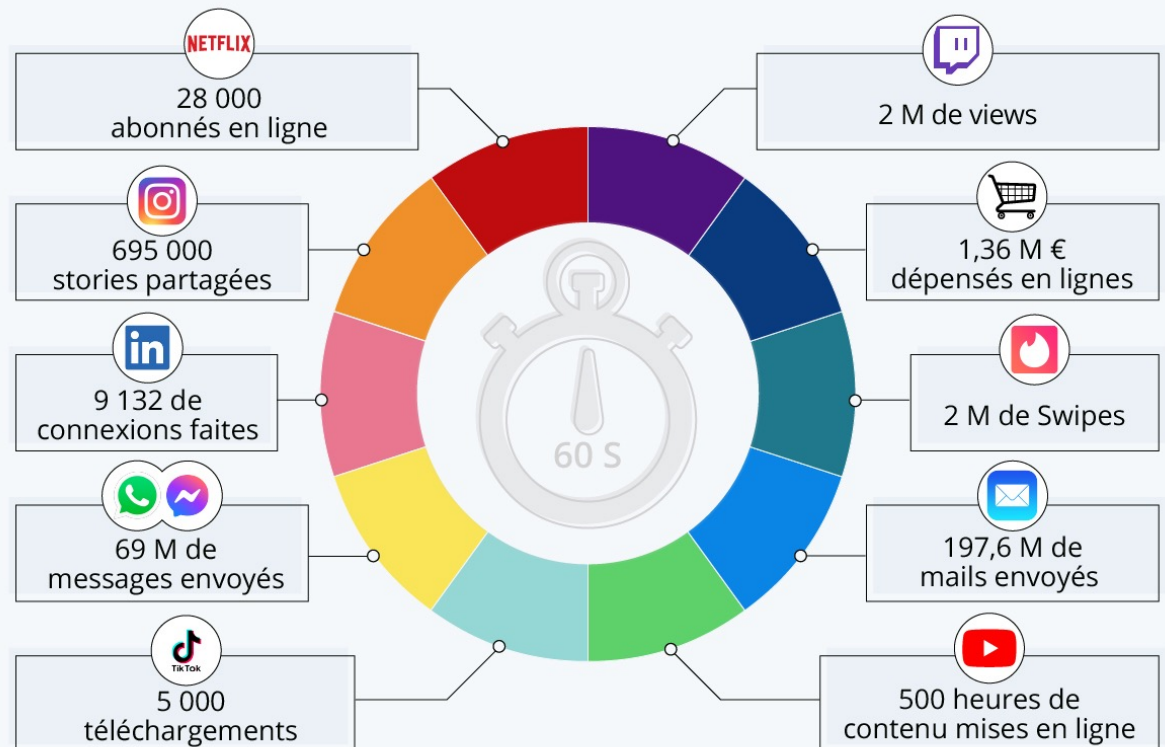
# Digitalisation / Energie

- 5,9 millions de recherches sur Google (elles étaient de 2 millions en 2012) ;
- 1 million d'heures de streaming regardés ;
- 231,4 millions de mails partagés ;
- 1,7 million de contenus partagés sur Facebook ;
- 66 000 photos partagées sur Instagram ;
- 1,1 million de Swipes sur Tinder ;

**En 1 minute**

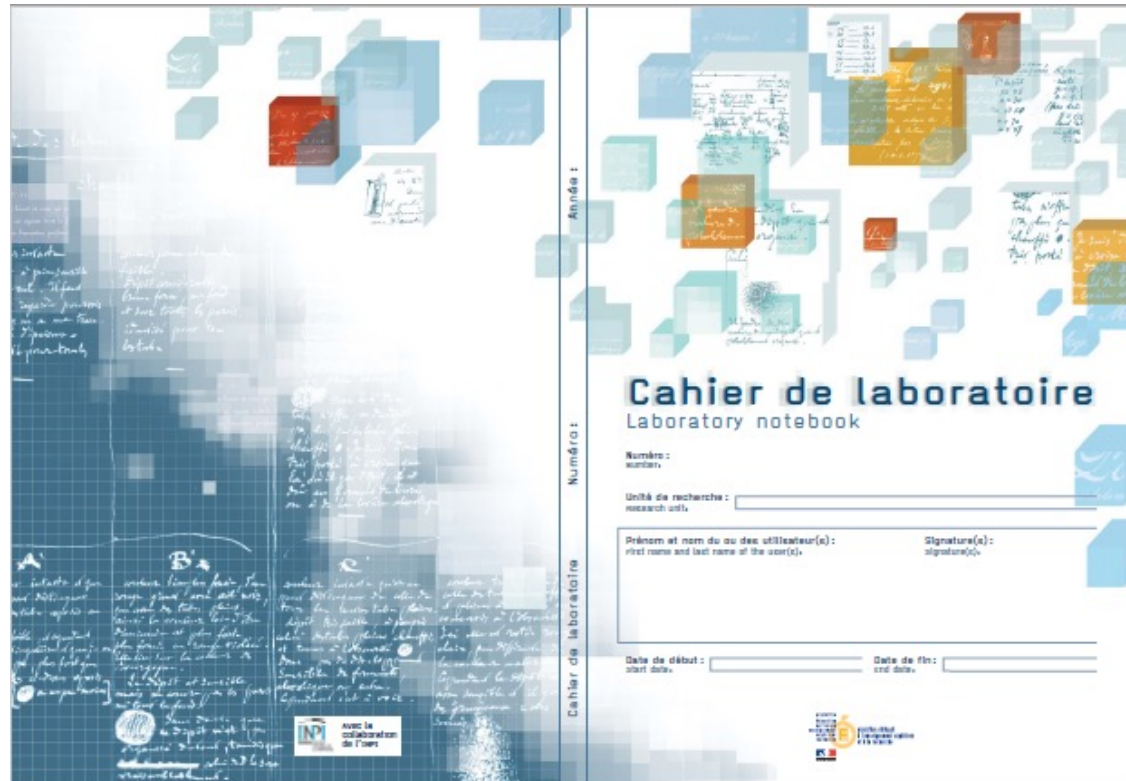
## Une minute sur Internet en 2021

Estimation de l'activité et des données générées sur Internet en l'espace d'une minute



Source : Lori Lewis via AllAccess

# Le cahier de laboratoire : une digitalisation de plus ?



Cahier de manip: 120 pages

1 page : 3 kB

Cahier de Manip ( Texte): 0,36 MB

Cahier de Manip ( Texte + Image): 12 MB

12 MB – 0, 5 Wh

# Le cahier de laboratoire : analogique?

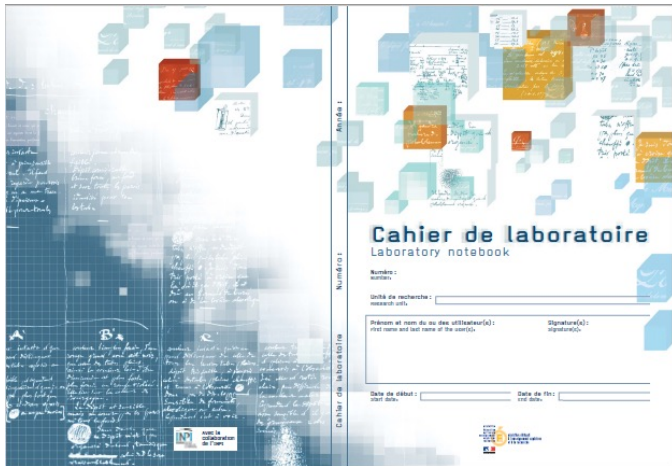


waste paper

| 1 TON PAPER                 |                     |          |           |
|-----------------------------|---------------------|----------|-----------|
| PAPER TYPE                  | WOOD                | WATER    | ENERGY    |
| I. Quality Paper            | 2400 Kg             | 100 tons | 7.600 kwh |
| II. Quality Paper           | 1700 Kg             | 80 tons  | 5.700 kwh |
| Eco-Friendly Recycled Paper | 1150 Kg Waste Paper | 8 tons   | 4.800 kwh |

1000 kg de papier – 2000 kg de bois – 50 000 litre d'eau – 5000 kwh

# Le cahier de laboratoire : analogique vs digital



2 TB

|                  |                            |          |                                 |
|------------------|----------------------------|----------|---------------------------------|
| Un cahier : 300g | 55 000 cahiers : 16 500 kg | / 40 000 | 2TB = 55000 Cahiers (x3) = 415g |
| Bois : 600g      | Bois : 33 000 kg           | / 234    | Matière première: 141 kg        |
| Eau : 15 litres  | Eau : 825 000 litres       | / 20     | Eau 40 000 litres               |
| Energie 1 500 Wh | Energie 82 500 kWh         | / 2000   | 40 kWh                          |

# Le digital peut il être moins gourmand en énergie

Mars 2016



1,920 CPUs and 280 GPUs

20 MW

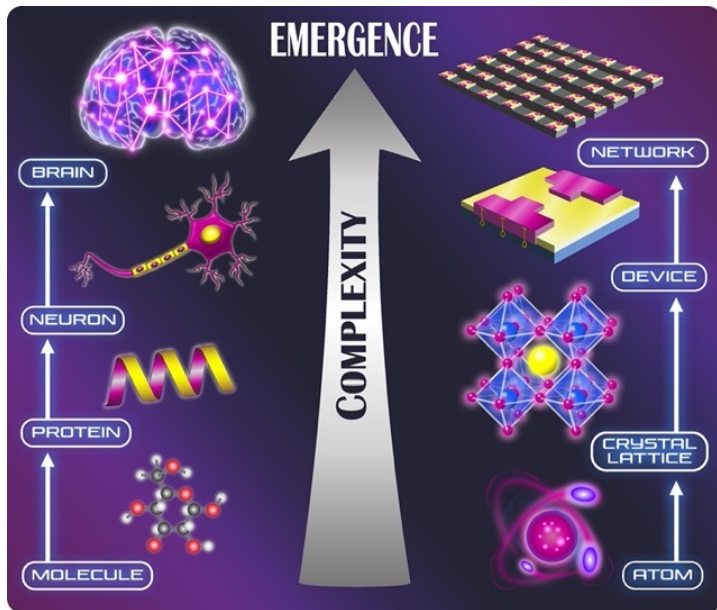


100 Milliards de neurones

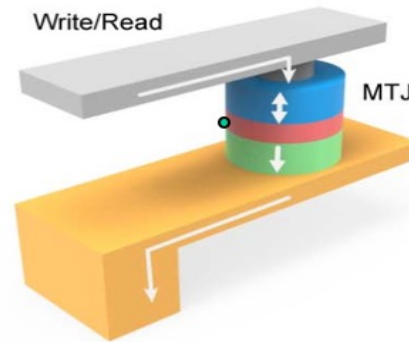
20 W

**Cerveau consomme 1 million fois moins d'énergie !**

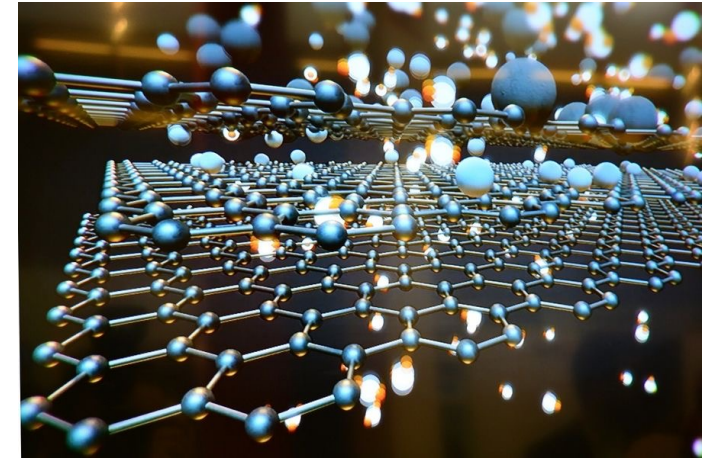
# Le digital peut il être moins gourmand en énergie



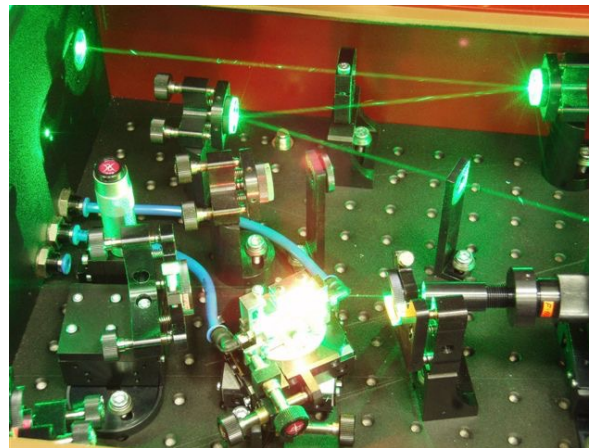
Calcul neuromorphique



Electronique de Spin



Nano Matériaux



Dispositif ultra-rapide

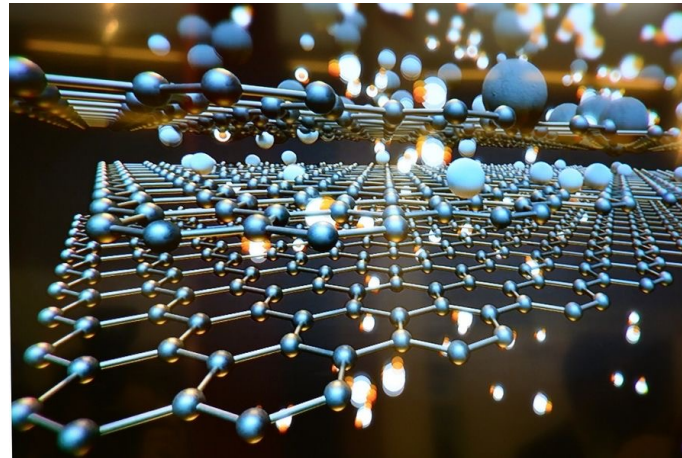
# Un digital : moins d'impact sur l'environnement



Sobriété énergétique ?



Consommer moins ?



solutions technologiques ?

Produire de l'énergie sans émission de CO2 ?

# Conclusions

Le digital a impact grandissant sur l'environnement

L'augmentation de la consommation d'énergie du digital est inquiétante

Pour une même fonction le digital est plus sobre que l'analogique



Des solutions technologiques existent ....

...mais tout dépend des comportements

# Merci