

# Comprendre les enjeux de la sobriété numérique

*Agir contre la pollution du numérique  
pour un monde numérique plus responsable*

Pr. Michel ROBERT

*Université de Montpellier, Polytech Montpellier, LIRMM*

CINES



LIRMM



MINISTÈRE  
DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE



**Calcul intensif,  
Hébergement,  
Archivage pérenne**

# Comprendre les enjeux de la sobriété numérique

*Agir contre la pollution du numérique  
pour un monde numérique plus responsable*

Pr. Michel ROBERT

*Université de Montpellier, Polytech Montpellier, LIRMM  
CINES*



LIRMM



MINISTÈRE  
DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE



**Calcul intensif,  
Hébergement,  
Archivage pérenne**

# Quelques grandeurs physiques du monde numérique



■ Le nanomonde numérique    Micro  $10^{-6}$     Nano  $10^{-9}$

■ Le monde numérique

✓	<b>Kilo</b>	$10^3$	
✓	<b>Méga</b>	$10^6$	(million)
✓	<b>Giga</b>	$10^9$	(milliard)
✓	<b>Téra</b>	$10^{12}$	(mille milliard)
✓	<b>Péta</b>	$10^{15}$	(million de milliards)
✓	<b>Exa</b>	$10^{18}$	(milliard de milliards)
✓	<b>Zetta</b>	$10^{21}$	

○ Livre =            x **Kilo**-octets

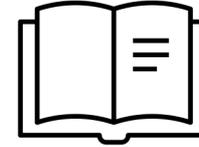
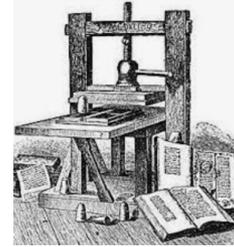
○ Image =            x **Méga**-octets

○ Film =              x **Giga**-octets

➤ *Supercalculateur : du **Péta** flops à l'**Exa** flops*

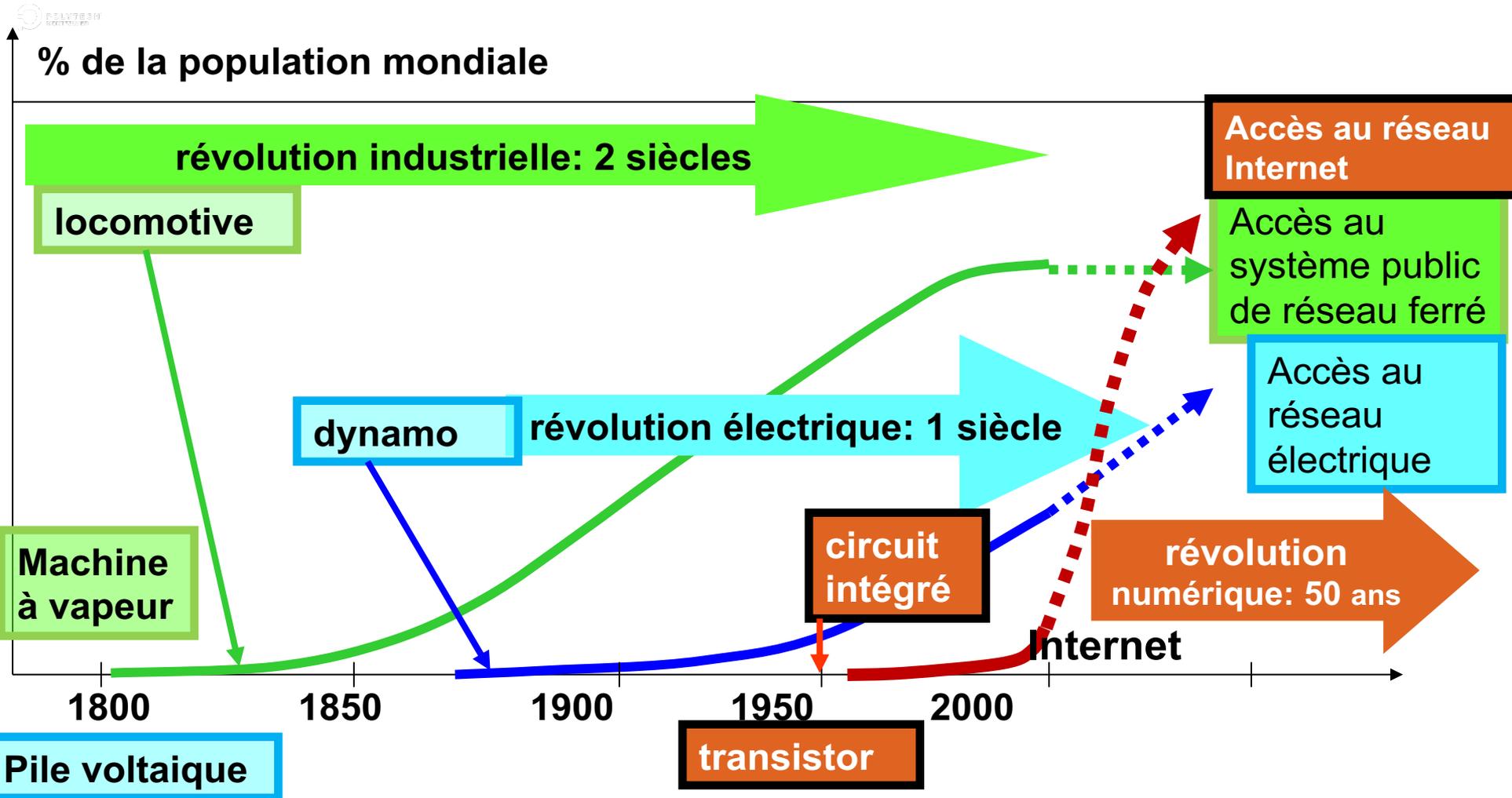
➤ *1 **Zetta** octets de données ?*

- - 10 000 ans, Homo sapiens & agriculture



- III<sup>e</sup> siècle av. JC : Bibliothèque d'Alexandrie
- XV<sup>e</sup> siècles : moines copistes → imprimerie
- XIX<sup>e</sup> siècle : basculement vers une société industrielle
- XX<sup>e</sup> siècle : basculement vers une société numérique
- XXI<sup>e</sup> siècle ?... 2025-2050 ?
  - IA? Robots conversationnels Open AI (ChatGPT) ?

# De L'accélération des évolutions technologiques ...

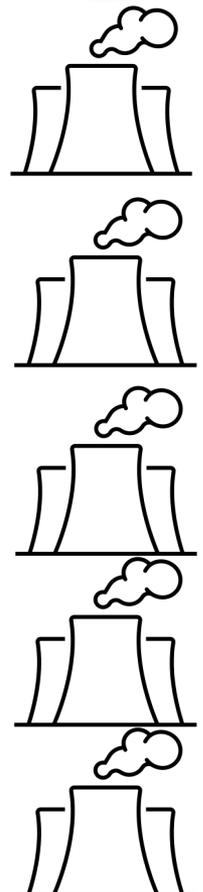
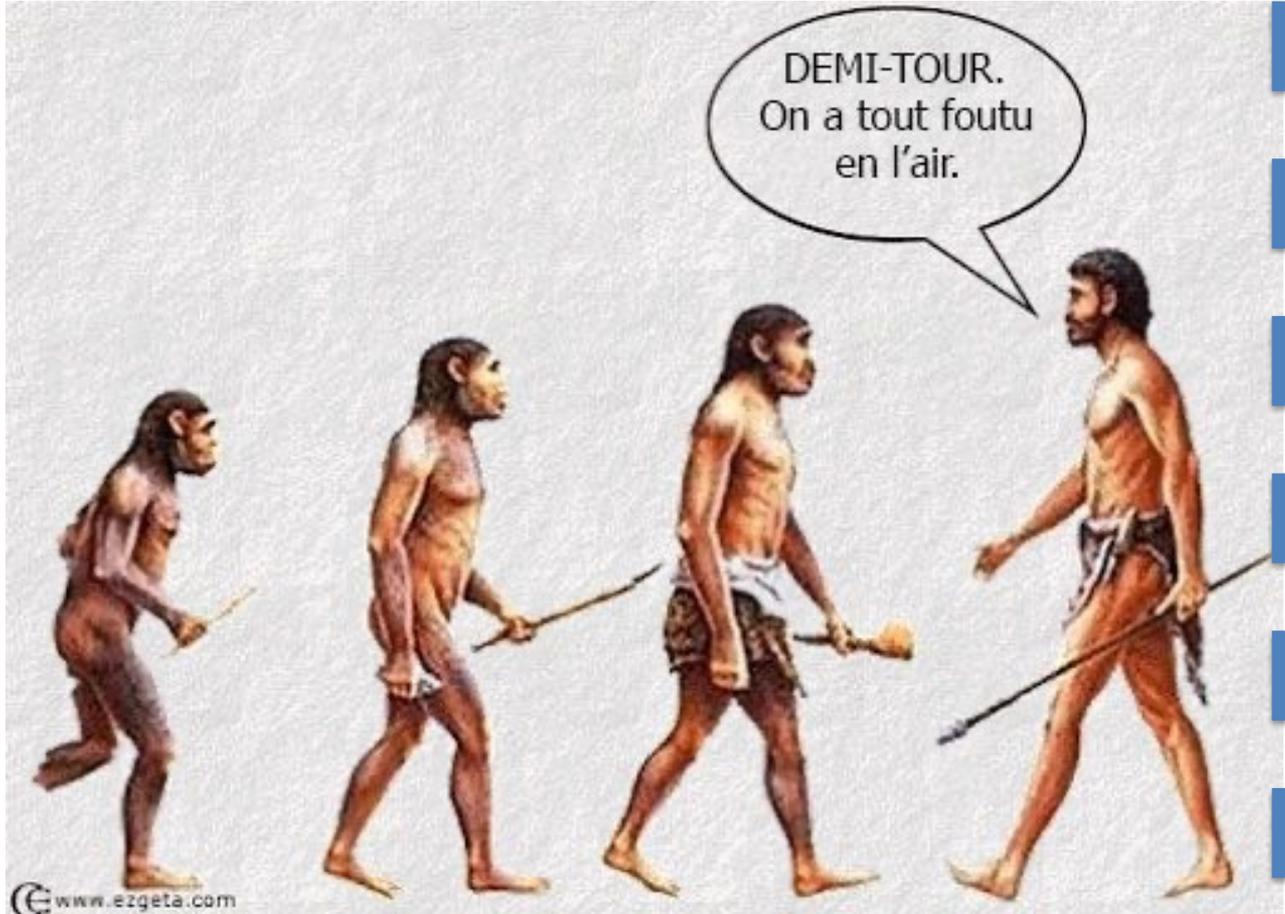
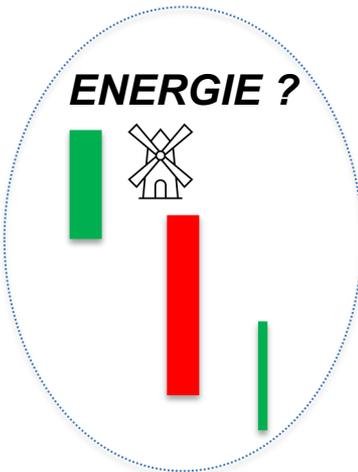


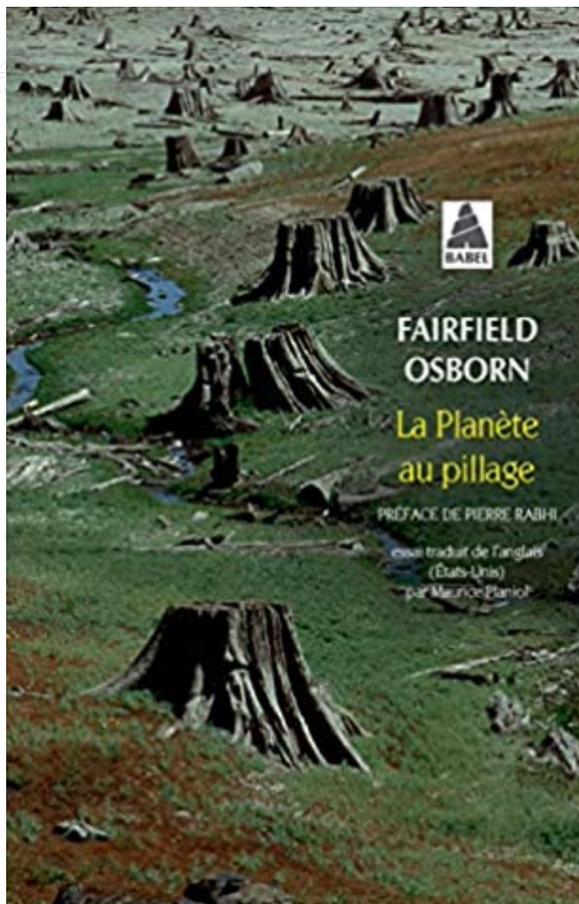
*... à l'explosion du nombre d'objets numériques*

Contexte

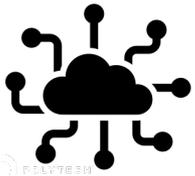
# Activités humaines et pollutions

- - 10 000 ans, Homo sapiens & agriculture
- XIX<sup>e</sup> siècle : basculement vers une société industrielle
- XX<sup>e</sup> siècle : basculement vers une société numérique
- XXI<sup>e</sup> siècle : impacts de la période 1850-2050 ?





- **La Planète au pillage (1949)**  
*Henry Fairfield Osborn Jr (1887-1969), naturaliste*
- **Les limites à la croissance (dans un monde fini) 1972** *Rapport du Club de Rome, ou Rapport Meadows*
- **COP 26** (Conference of the Parties) Réduire les émissions de gaz à effet de serre. Sommet de la Terre” de Rio (**1992**), Protocole de Kyoto (**1997**), Accord de Paris (**2015**).
- **2022** : Sixième rapport d'évaluation du GIEC  
*Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Nations unies)* **Quelles solutions face au réchauffement climatique ?**



## LE MONDE NUMERIQUE QUELQUES QUESTIONS ...



- ✓ Définition du « numérique » ... 101100011 ...?
- ✓ L'explosion du volume des données : pourquoi ?
- ✓ Quel est l'impact du numérique sur l'environnement ?
- ✓ Pourquoi autant de minerais ?
- ✓ Est-ce qu'il est possible de recycler ?
- ✓ C'est quoi l'effet rebond ?
- ✓ Qu'est ce que l'éco-conception ?
- ✓ Quelle responsabilité sociétale avons-nous ?
- ✓ Quelles recommandations pour un numérique responsable ?

***Votre contribution  
pour un monde numérique souhaitable ?***

# Sobriété numérique : pourquoi ?



- **Quels sont les usages principaux du « numérique » ?**
  - *Se divertir, Travailler, Commercer, **Calculer**, S'informer, Se former, Communiquer, Partager...*
- **Comment fonctionne le monde numérique ?**
  - *Ordinateurs, tablettes, smartphones, terminaux,...*
- **Quelles sont les infrastructures nécessaires ?**
  - *Répartition du trafic internet, Data centers, Infrastructures réseau*



...

# Sobriété numérique : pourquoi ?

## • Quels sont les usages principaux du « numérique » ?

➤ *Se divertir, Calculer, Commercer, S'informer, Se former, Communiquer, Partager...*

## • Comment fonctionne le monde numérique ?

➤ *Ordinateurs, tablettes, smartphones, terminaux,...*

## • Quelles sont les infrastructures nécessaires ?

➤ *Répartition du trafic internet, Data centers, Infrastructures réseau*

## • Quels sont les besoins du numérique de la fabrication aux usages ?

➤ *Il faut extraire d'énormes quantités de **minerais** pour fabriquer un équipement.*

➤ *Les **ressources** en métaux et en énergies fossiles sont **limitées** et se raréfient*

➤ *Recyclage ?*

## • Impacts du numérique sur la planète ?

➤ *Stress hydrique, Emission de GES, Dérèglement climatique,*

*Destruction de la biodiversité, Pollution des sols, de l'eau et de l'air*

## • Impacts du numérique sur les humains ?

➤ *Santé, conflits géopolitiques, ...*

*Internet, logiciels, objets connectés, cloud ...*

**Le numérique est il  
matériel ou immatériel ?**



Internet, logiciels, objets connectés, cloud ...

# Le numérique est matériel et immatériel

## Sciences

Mathématiques  
Algorithmes  
Informatique  
...

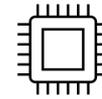
1010  
1010

## Convergence Informatique & communications

TSI  
Réseaux  
Internet, Web  
Cloud

## Technologies

Electronique  
Microélectronique  
Physique  
Chimie ...



## IA

Données  
...



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES

# Convergences : électronique, capteurs, informatique, télécom, multimédias



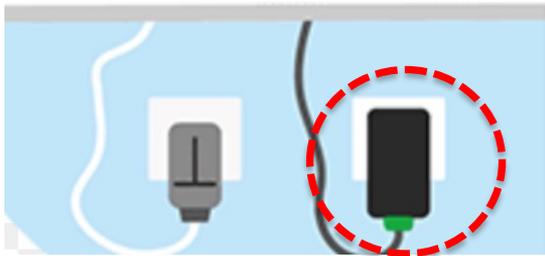
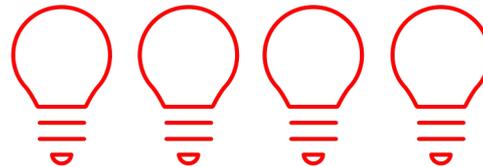
# Consommation électrique des box internet et des décodeurs

France = **30 millions** de box internet non mutualisées

- Mode normal : de 7 W à 20 W
- Mode veille : de **5W à 14 W**
- Veille profonde ?



=



MUTUALISATION ?

Référence du modèle	LED2015G3 Ampoule LED E27 470 lumen IKEA
Consommation d'énergie de la source lumineuse	3 kWh/1000h
Durée de vie ampoule	25000 h
Flux lumineux	470 lumens
Puissance	<b>3.4 W</b>



<https://interstices.info/le-vrai-cout-energetique-du-numerique/>

<https://www.echosdunet.net/dossiers/facture-denergie-peut-on-reduire-consommation-electrique-sa-box-internet>

**Le numérique  
est il  
remède ou poison ?**

# Le numérique est remède et poison, *et donc affaire de dosage entre l'utile et le futile*

Cycle de vie : fabrication et transport, utilisation, réparation, recyclage et fin de vie



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES

*Comprendre les enjeux de la sobriété numérique*  
**Agir pour un monde numérique plus responsable**



## L'utile : exemples

✓ **Santé**

✓ ...

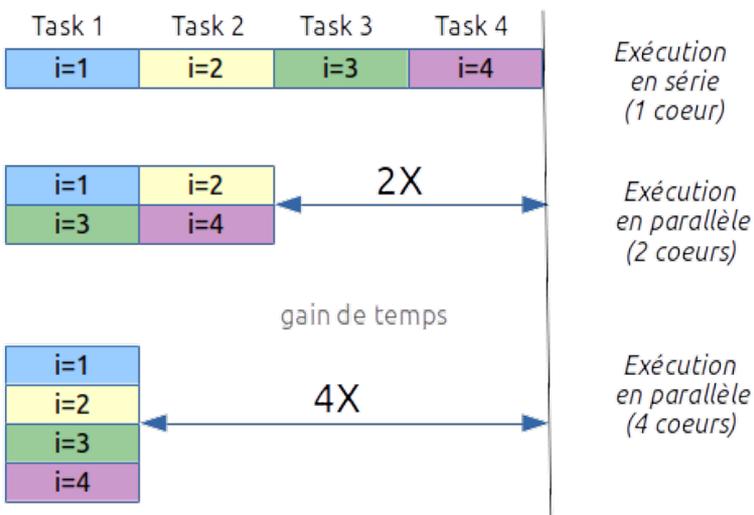
✓ ...



✓ **Ressources mutualisées pour le calcul scientifique, le stockage et l'archivage pérenne de données numériques**

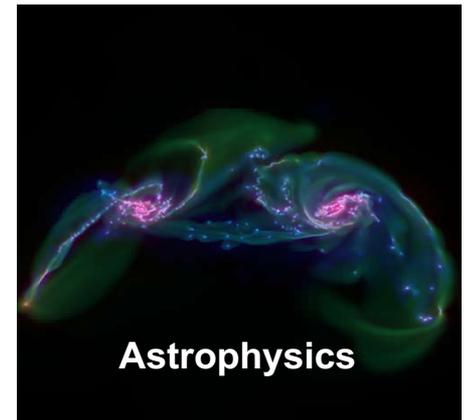
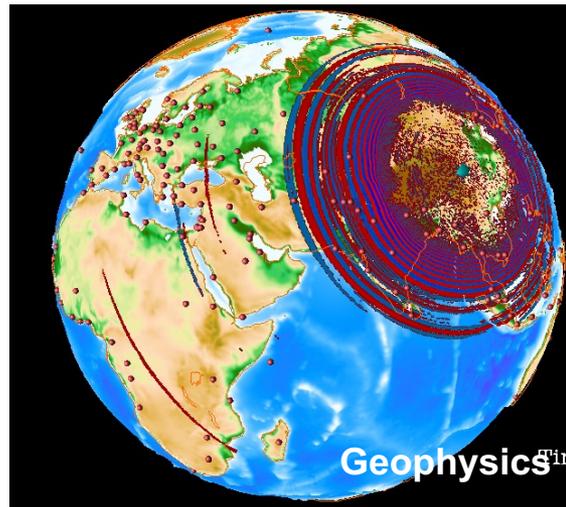
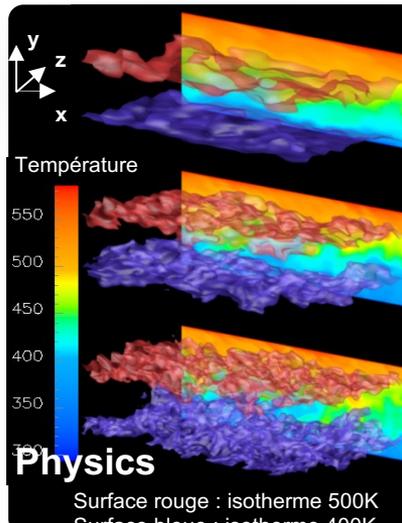
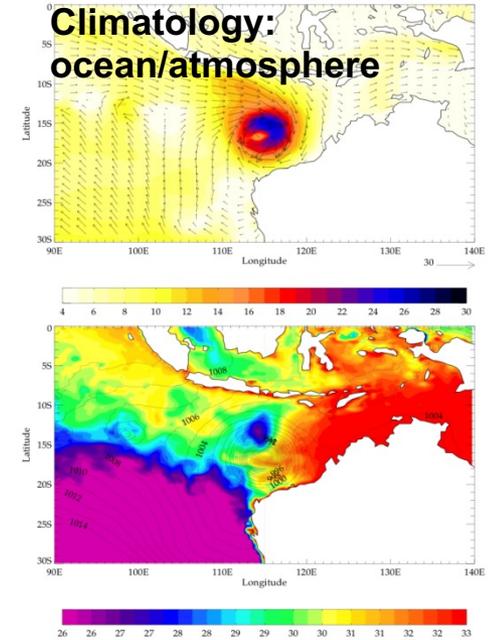
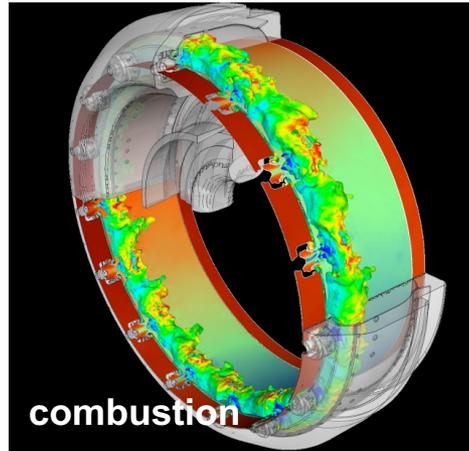
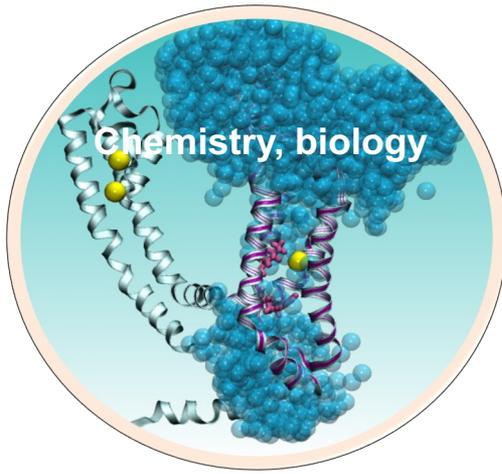
# La science à l'ère de la simulation numérique: calcul & données

- ✓ Hier : Théorie & Observation (expérimentation)
- ✓ Aujourd'hui : numérique = Modélisation & Simulation (méthodes et algorithmes)
- ✓ Demain : HPDA, IA, Environnements hétérogènes, adaptation, sobriétés

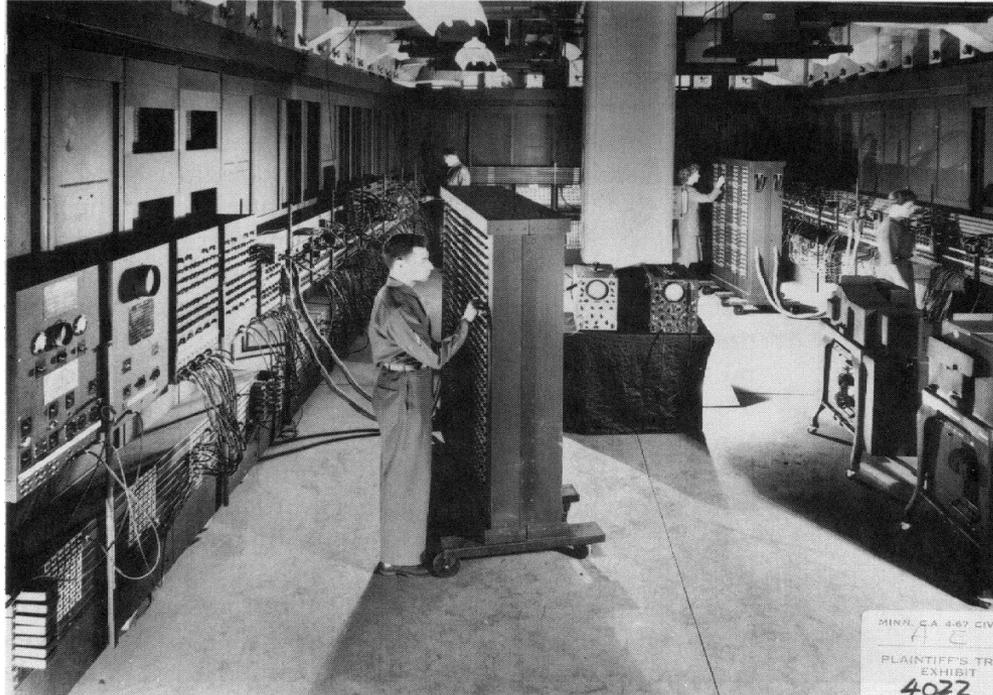


# Simulations numériques massivement parallèles (HPC)

Domaines scientifiques d'application du calcul intensif : *environnement, mécanique des fluides, astrophysique, géophysique, électromagnétisme, plasmas chaud, mathématiques, systèmes modèles, biologie, physique, chimie, matériaux ...*



**1946** : ENIAC (Electronic Numeral Integrator and Calculator)  
*premier calculateur électronique*



*17468 tubes électroniques , 1500 relais, 30 tonnes, 150 KW*  
***5000 additions par seconde***

**1947** : invention du transistor

**1957** : invention du circuit intégré

- **CINES 2010 : 267 TF/s**     *23040 coeurs INTEL Xeon 3 Ghz Processors*

- **CINES 2022 : OCCIGEN 3,5 PF/s**

*Janvier 2015 - Octobre 2022*

- ✓ 3 336 nœuds de calcul / 85 824 cœurs
- ✓ 650 millions d'heures de calcul par an



- **CINES 2023 : ADAstra 75 PF/s**  
**75 millions de milliards d'opérations/s**

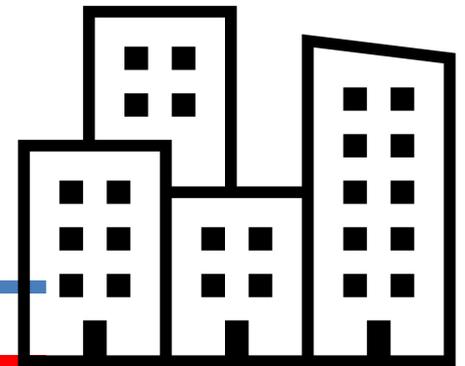
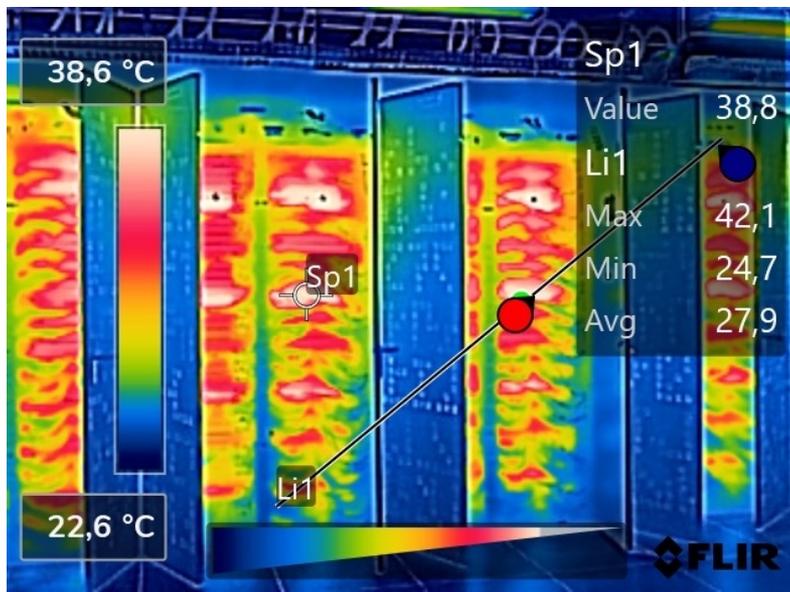
*# 10 Top 500 Juin 2022*

*# 3 Green 500 Novembre 2022 (58,2 GF/W)*



## ➤ Limiter l'impact environnemental

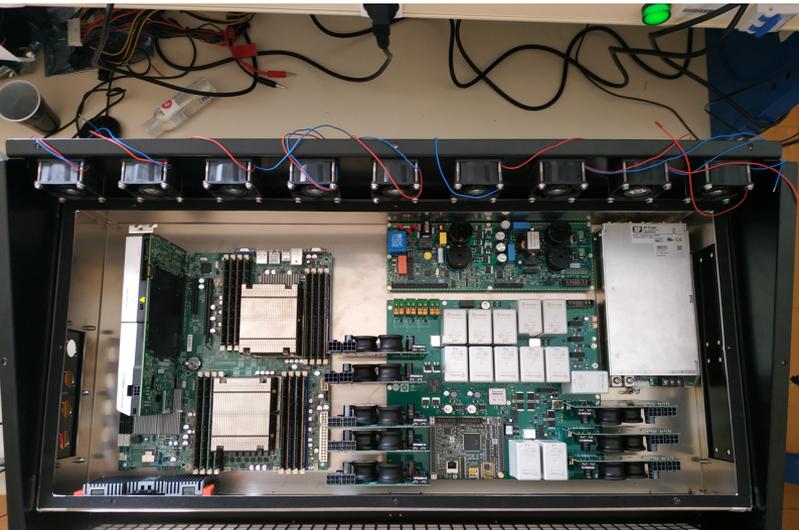
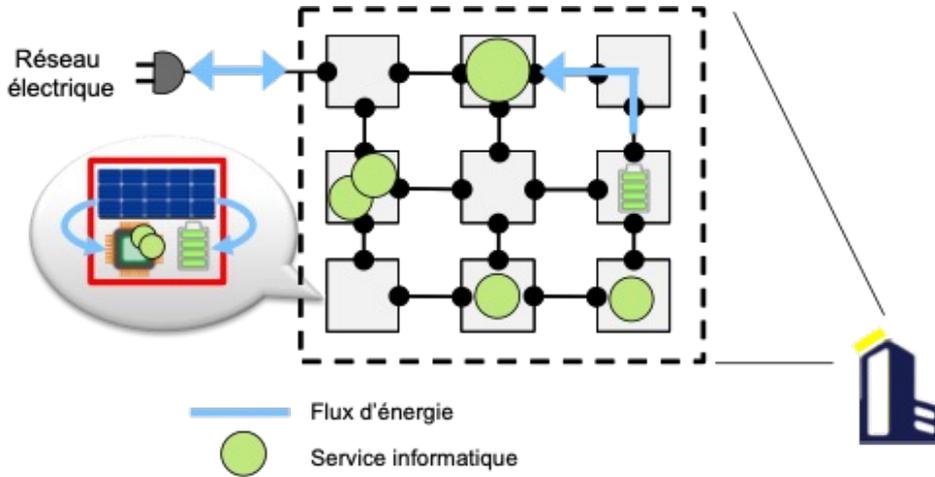
- Optimisation de l'efficacité du refroidissement
- Récupération de la chaleur : chauffage bâtiment
- Mesures de consommation électrique : optimisation et supervision
- Optimisation des calculs

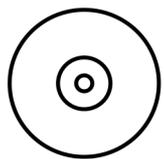


# INFRASTRUCTURE ASSOCIANT EN TOITURE DE BATIMENT LA PRODUCTION D'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE ET DES CALCULATEURS INFORMATIQUES NEUTRES EN CARBONE

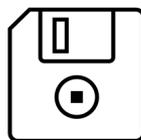
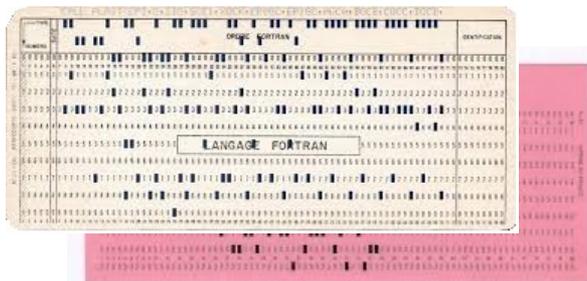
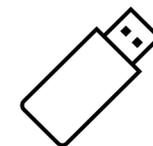


- Couplage en « circuit court » des flux de données et d'énergie
- Approche distribuée sur des surfaces inexploitées





# Obsolescence des technologies



**Qu'est-ce que la préservation numérique à long terme ?**



**➤ Sécurité & Sobriété**

# L'archivage des documents électroniques consiste à conserver le document et l'information qu'il contient :

- Dans son aspect physique comme dans son aspect intellectuel
- Aussi longtemps que nécessaire
- De manière à ce qu'il soit en permanence accessible et compréhensible



*6000 cartouches # 60 -70 Po*



# L'archivage des documents électroniques consiste à conserver le document et l'information qu'il contient :

- Dans son aspect physique comme dans son aspect intellectuel
- Aussi longtemps que nécessaire
- De manière à ce qu'il soit en permanence accessible et compréhensible



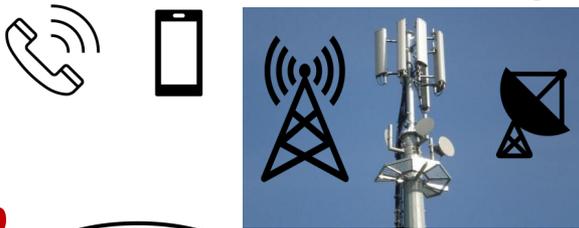
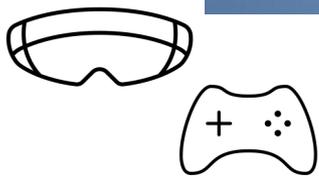
*6000 cartouches # 60 -70 Po*  
**# 70 milliards de livres !**



# Comprendre les enjeux de la sobriété numérique Agir pour un monde numérique plus responsable

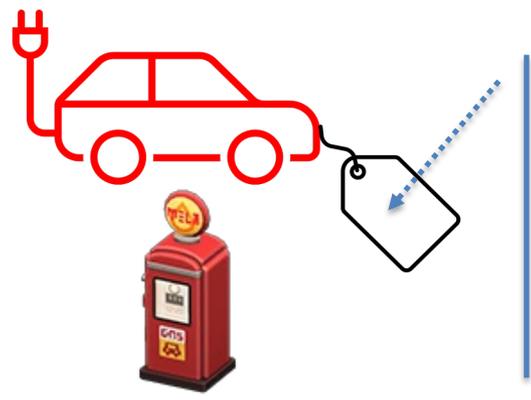


## Le futile aujourd'hui :

- **5G ? 6G ?** 
- **Metavers ?** 



## Voiture numérique électrique personnelle autonome ?



- **Fabrication:** ressources, origines des éléments
- **Utilisation :** consommation (énergie, données)
- **Analyse de cycle de vie, bilan carbone**



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



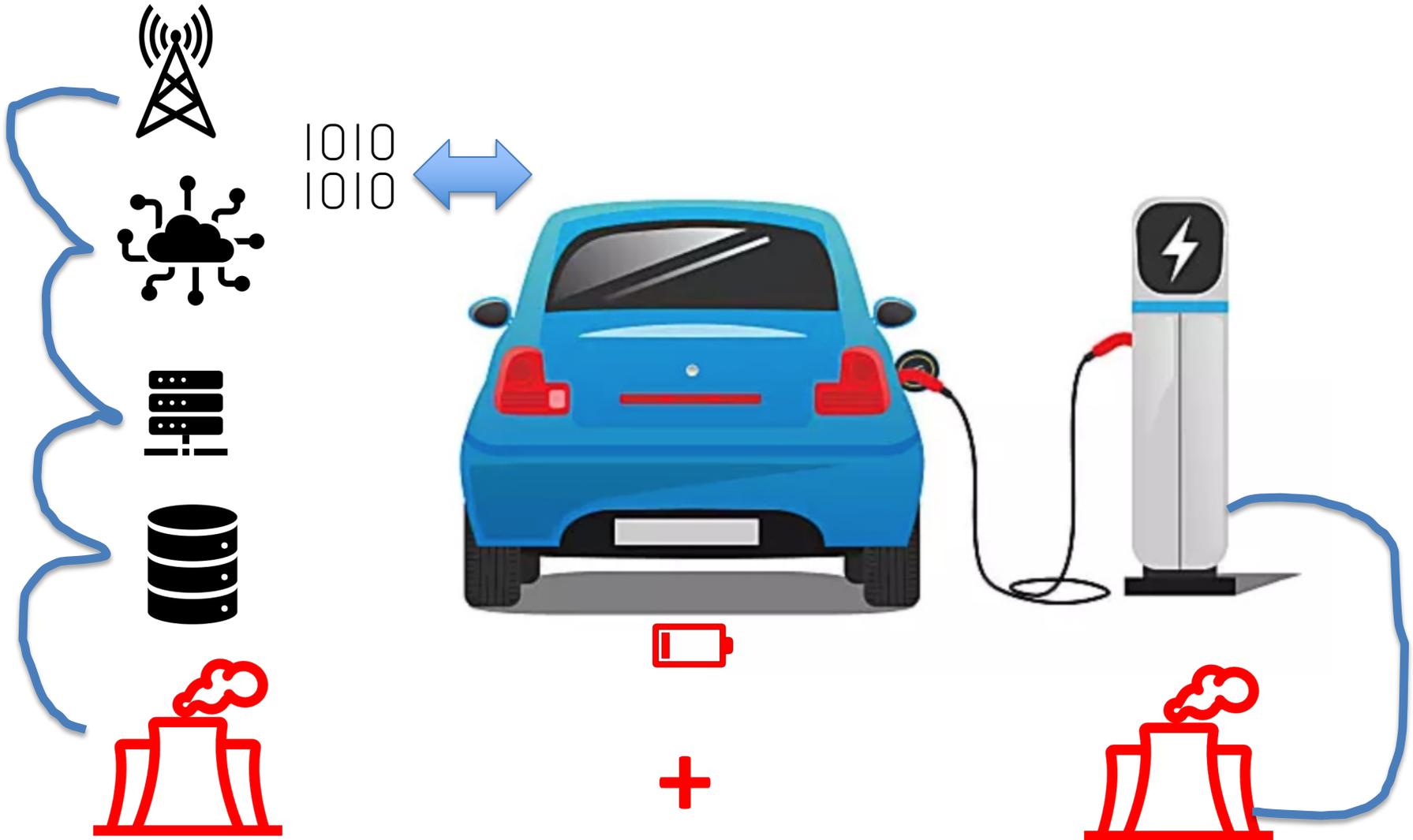
EAU



RESSOURCES

# Voiture numérique électrique personnelle autonome

## *Mobilités et données*



# Empreinte du numérique

- IMPACTS
- ENERGIE
- RESSOURCES

# Quelques chiffres à l'échelle de la planète ADEME (2021)

- Equipements numériques : # 34 milliards
- Smartphones : 3,5 milliards, Ordinateurs : 1,4 milliard
- # 19 milliards d'objets connectés (48 en 2025)
  
- # 1.1 milliard d'équipements réseaux
- # 10 millions d'antennes relais (2G à 5G)
  
- **Data centers** # 67 millions de serveurs
- ✓ *80% des flux de données internet sont des vidéos !*
- ✓ *En 1h : 10 milliards de mails ! 180 millions de recherches !*



**MONDE**

**8**

APPAREILS  
EN MOYENNE  
PAR UTILISATEUR



**FRANCE**

**11 à 15**

APPAREILS  
EN MOYENNE  
PAR UTILISATEUR

# Empreinte du numérique rapportée aux impacts environnementaux annuels de la France



ENERGIE PRIMAIRE

**6,2 %**  
DE LA  
CONSOMMATION  
DE LA FRANCE



GAZ À EFFET DE SERRE

**5,2 %**  
DES ÉMISSIONS  
DE LA FRANCE



EAU

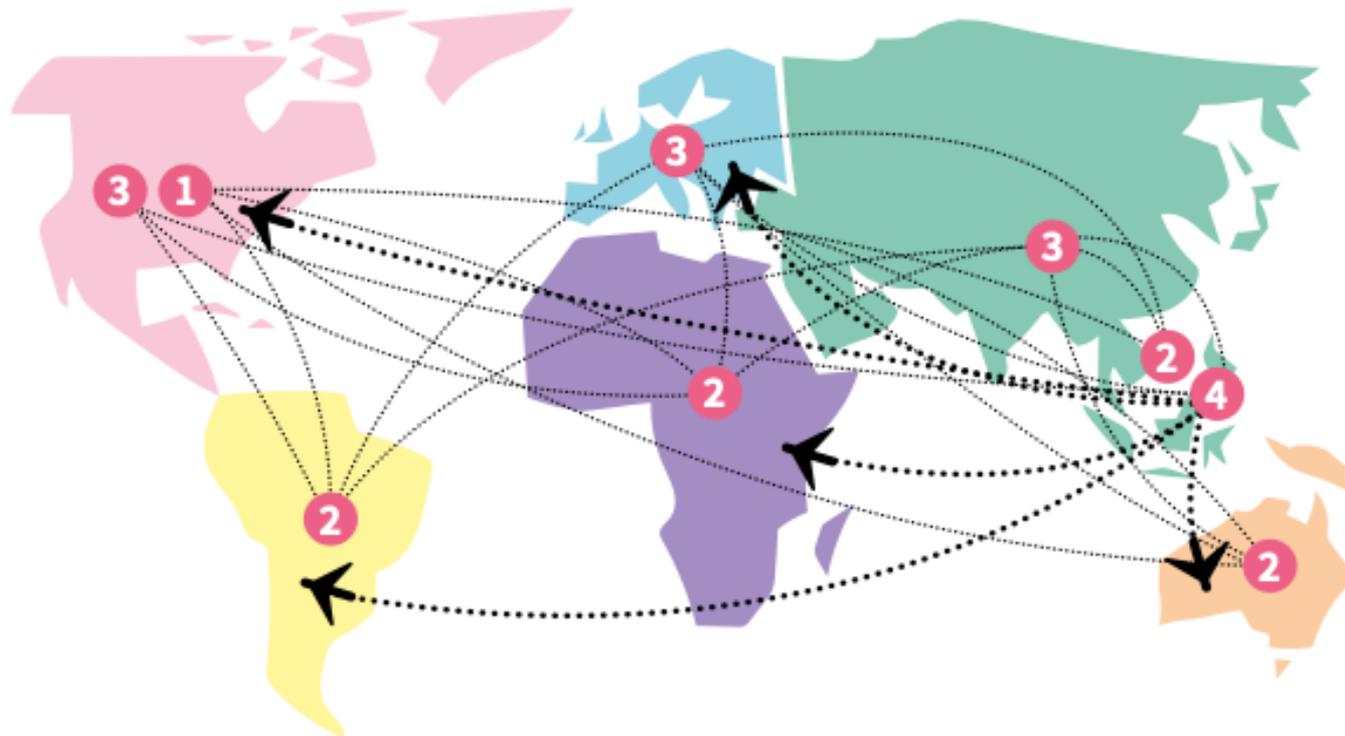
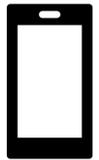
**10,2 %**  
DE LA  
CONSOMMATION  
DE LA FRANCE



RESSOURCES

EXCAVATION DE  
**4 milliards**  
DE TONNES  
DE TERRE

# QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE



**1. Conception** le plus souvent aux États-Unis

**2. Extraction et transformation des matières premières** en Asie du Sud-Est, en Australie, en Afrique centrale et en Amérique du Sud

**3. Fabrication des principaux composants** en Asie, aux États-Unis et en Europe

**4. Assemblage** en Asie du Sud-Est

**Distribution** vers le reste du monde, souvent en avion.

# L'impact de la Fabrication des objets numériques

- Impact GES, Fabrication Electronique (hors batterie)

Année 2020	Production	Impact CO2eq (kg)	Impact CO2eq (Kg) global
<b>SmartPhone</b>	1,5 10 <sup>9</sup>	35	52,5 10 <sup>9</sup>
<b>PC</b>	220 10 <sup>6</sup>	220	48,4 10 <sup>9</sup>
Tablette	70 10 <sup>6</sup>	70	4,9 10 <sup>9</sup>
<b>TV</b>	400 10 <sup>6</sup>	400	160 10 <sup>9</sup>
<b>Ecran (hors TV)</b>	250 10 <sup>6</sup>	250	62,5 10 <sup>9</sup>
Montres connectés	10 10 <sup>6</sup>	10	0,1 10 <sup>9</sup>
<b>Imprimantes</b>	100 10 <sup>6</sup>	110	110 10 <sup>9</sup>
consoles	70 10 <sup>6</sup>	70	4,9 10 <sup>9</sup>

>=



Fabrication mondiale annuelle (2020) automobile  
Production 2020 : 90Millions  
(3T à 6T CO2eq selon les modèles)

Source : ADEME 2020

**Total : ~ 450 Millions Tonne de CO2eq**

Impact GES ~ quelques % ... mais croissance du numérique !

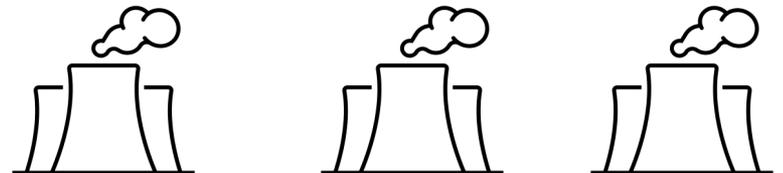
# Empreinte du numérique

- IMPACTS

- **ENERGIE**

*Production d'électricité en France (2020) : 510 TWh*

- RESSOURCES



# Numérique: fabrication et utilisation

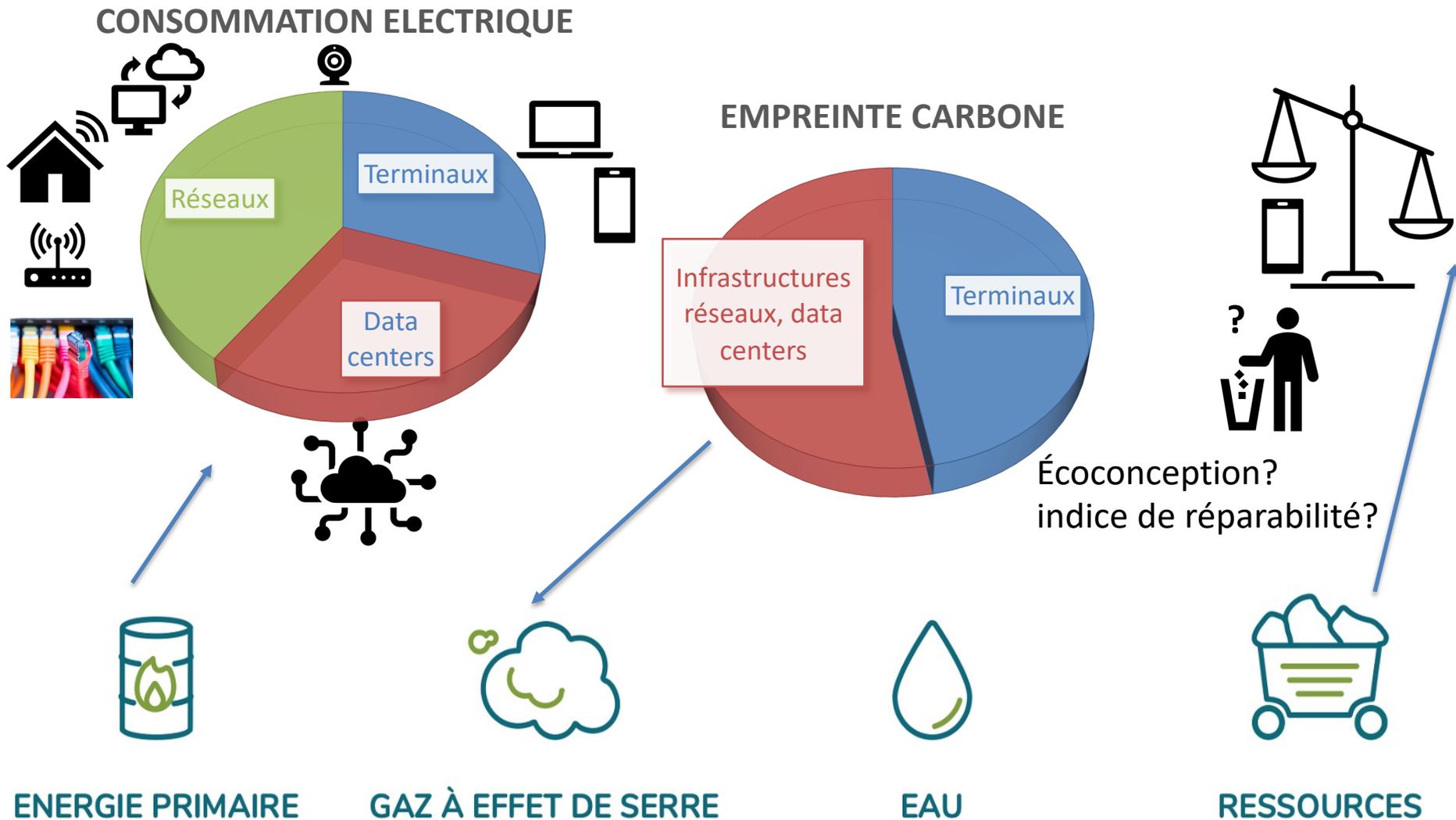


%	 Energie	 GES	 Eau	 Ressources <sup>(1)</sup>
Fabrication	41 %	83 %	88 %	100 %
Utilisation	59 %	17 %	12 %	0 %

Répartition en fonction de l'étape du cycle de vie des impacts du numérique en France en 2020

## Fin de vie ?

# Impacts du monde numérique



➤ Consommation énergétique des appareils électroniques  
Mondiale (2020) : **3626 TWh**



➤ Consommation énergétique des **data centers**

- 2010 *53,9 TWh/an*
- 2018 *76,8 TWh/an*
- 2025 (*estimation*) **92,6 TWh/an**

*Rapport sur les « technologies et politiques efficaces sur le plan énergétique d'informatique en cloud » de la [commission Européenne](#) (2020)*



# Empreinte du numérique

- IMPACTS
- ENERGIE
- **RESSOURCES**



1960



10 éléments

Aluminium  
Azote  
Carbone  
Chrome  
Cuivre  
Hydrogène  
Nickel  
Oxygène  
Plomb  
Zinc

1990



29 éléments

Aluminium	Manganèse
Antimoine	Molybdène
Azote	Nickel
Baryum	Or
Béryllium	Oxygène
Bore	Phosphore
Brome	Plomb
Cadmium	Silicium
Carbone	Tantale
Chlore	Titane
Chrome	Tungstène
Cuivre	
Cobalt	
Étain	
Fer	
Fluor	
Hydrogène	
Hélium	

2021



54 éléments

Aluminium	Gadolinium	Platine
Américium	Gallium	Plomb
Antimoine	Germanium	Potassium
Argent	Hafnium	Rubidium
Azote	Hydrogène	Scandium
Baryum	Indium	Silicium
Béryllium	Iode	Sodium
Bismuth	Iridium	Soufre
Brome	Lithium	Strontium
Calcium	Magnésium	Tellure
Chrome	Manganèse	Thallium
Carbone	Néodyme	Thulium
Chlore	Néon	Titane
Cobalt	Nickel	Tungstène
Cuivre	Or	Vanadium
Erbium	Oxygène	Yttrium
Fer	Palladium	Zinc
Fluor	Phosphore	Zirconium

Source : Prof. Mike Ashby, Cambridge University ; Prof. Jean-Pierre Raskin, Université catholique de Louvain.



# RESSOURCES

# Tableau périodique des éléments

Groupe → 1  
Période ↓

1	<b>Hydrogène</b> H 1,007975	II A	2											III B	IV B	V B	VI B	VII B	18	<b>Hélium</b> He 4,002602						
2	<b>Lithium</b> Li 6,939	<b>Béryllium</b> Be 9,0121831											<b>Bore</b> B 10,8135	<b>Carbone</b> C 12,0106	<b>Azote</b> N 14,00644	<b>Oxygène</b> O 15,9994	<b>Fluor</b> F 18,99840316	<b>Néon</b> Ne 20,1797								
3	<b>Sodium</b> Na 22,98976928	<b>Magnésium</b> Mg 24,3055	III A	3	IV A	4	V A	5	VI A	6	VII A	7	VII			8	9	10	11	12	<b>Aluminium</b> Al 26,9815385	<b>Silicium</b> Si 28,0855	<b>Phosphore</b> P 30,97376200	<b>Soufre</b> S 32,0675	<b>Chlore</b> Cl 35,4515	<b>Argon</b> Ar 39,948
4	<b>Potassium</b> K 39,0983	<b>Calcium</b> Ca 40,078	<b>Scandium</b> Sc 44,955908	<b>Titane</b> Ti 47,867	<b>Vanadium</b> V 50,9415	<b>Chrome</b> Cr 51,9961	<b>Manganèse</b> Mn 54,938044	<b>Fer</b> Fe 55,845	<b>Cobalt</b> Co 58,933194	<b>Nickel</b> Ni 58,6934	<b>Cuivre</b> Cu 63,546	<b>Zinc</b> Zn 65,38	<b>Gallium</b> Ga 69,723	<b>Germanium</b> Ge 72,630	<b>Arsenic</b> As 74,921595	<b>Sélénium</b> Se 78,971	<b>Brome</b> Br 79,904	<b>Krypton</b> Kr 83,798								
5	<b>Rubidium</b> Rb 85,4678	<b>Strontium</b> Sr 87,62	<b>Yttrium</b> Y 88,90584	<b>Zirconium</b> Zr 91,224	<b>Niobium</b> Nb 92,90637	<b>Molybdène</b> Mo 95,95	<b>Technétium</b> Tc [98]	<b>Ruthénium</b> Ru 101,07	<b>Rhodium</b> Rh 102,90550	<b>Palladium</b> Pd 106,42	<b>Argent</b> Ag 107,8682	<b>Cadmium</b> Cd 112,414	<b>Indium</b> In 114,818	<b>Étain</b> Sn 118,710	<b>Antimoine</b> Sb 121,760	<b>Tellure</b> Te 127,60	<b>Iode</b> I 126,90447	<b>Xénon</b> Xe 131,29								
6	<b>Césium</b> Cs 132,905452	<b>Baryum</b> Ba 137,327	<b>Lanthanides</b> 57-71		<b>Hafnium</b> Hf 178,49	<b>Tantale</b> Ta 180,94788	<b>Tungstène</b> W 183,84	<b>Rhénium</b> Re 186,207	<b>Osmium</b> Os 190,23	<b>Iridium</b> Ir 192,217	<b>Platine</b> Pt 195,084	<b>Or</b> Au 196,966569	<b>Mercure</b> Hg 200,592	<b>Thallium</b> Tl 204,3835	<b>Plomb</b> Pb 207,2	<b>Bismuth</b> Bi 208,98040	<b>Polonium</b> Po [209]	<b>Astate</b> At [210]	<b>Radon</b> Rn [222]							
7	<b>Francium</b> Fr [223]	<b>Radium</b> Ra [226]	<b>Actinides</b> 89-103		<b>Rutherfordium</b> Rf [267]	<b>Dubnium</b> Db [268]	<b>Seaborgium</b> Sg [269]	<b>Bohrium</b> Bh [270]	<b>Hassium</b> Hs [271]	<b>Meitnerium</b> Mt [278]	<b>Darmstadtium</b> Ds [281]	<b>Roentgenium</b> Rg [282]	<b>Copernicium</b> Cn [285]	<b>Nihonium</b> Nh [286]	<b>Flerovium</b> Fl [289]	<b>Moscovium</b> Mc [289]	<b>Livermorium</b> Lv [293]	<b>Tennessee</b> Ts [294]	<b>Oganesson</b> Og [294]							
					<b>Lanthane</b> La 138,90547	<b>Cérium</b> Ce 140,116	<b>Praséodyme</b> Pr 140,90766	<b>Néodyme</b> Nd 144,242	<b>Prométhium</b> Pm [145]	<b>Samarium</b> Sm 150,36	<b>Europium</b> Eu 151,964	<b>Gadolinium</b> Gd 157,25	<b>Terbium</b> Tb 158,92535	<b>Dysprosium</b> Dy 162,500	<b>Holmium</b> Ho 164,93033	<b>Erbium</b> Er 167,259	<b>Thulium</b> Tm 168,93422	<b>Ytterbium</b> Yb 173,045	<b>Lutécium</b> Lu 174,9668							
					<b>Actinium</b> Ac [227]	<b>Thorium</b> Th 232,0377	<b>Protactinium</b> Pa 231,03588	<b>Uranium</b> U 238,02891	<b>Neptunium</b> Np [237]	<b>Plutonium</b> Pu [244]	<b>Americium</b> Am [243]	<b>Curium</b> Cm [247]	<b>Berkélium</b> Bk [247]	<b>Californium</b> Cf [251]	<b>Einsteinium</b> Es [252]	<b>Fermium</b> Fm [257]	<b>Mendélévium</b> Md [258]	<b>Nobelium</b> No [259]	<b>Lawrencium</b> Lr [261]							

états d'oxydation  
(valeurs les plus courantes en gras)

1<sup>re</sup> énergie d'ionisation (en kJ/mol)

électronégativité (Pauling)

configuration électronique

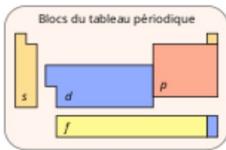
électrons par niveau d'énergie

nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa)

numéro atomique

symbole chimique

masse atomique relative [ou celle de l'isotope le plus stable] [ CIAAW "Atomic Weights 2013" + rev. 2015 ]



Métaux						Non métaux				Origine			
Alcalins	Alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition	Métaux pauvres	Métalloïdes	Autres non-métaux	Halogènes	Gaz nobles	Non classés	primordial	désintégration d'autres éléments	synthétique



# Recycler ?

**Material recycling rate**  
(End-of-life recycling rate)



1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Sg	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uug	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

\* Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

\*\* Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

RESSOURCES

Data source: UNEP report "Recycling Rates of Metals: A Status Report", 2011, p.19

*Comprendre les enjeux de la sobriété numérique*  
Agir pour un monde numérique plus responsable

# AGIR !



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES

# Développement Durable & Responsabilité sociétale

DD

RS



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES

# Extraction et raffinage



15

DD

## Extraction et raffinage

Des matières premières sont extraites de la croûte terrestre puis raffinées pour obtenir les énergies fossiles et métaux nécessaires au matériel numérique.

Extraction et raffinage sont des procédés industriels très



Extraction du Cobalt au Congo  
(50% de la production mondiale)  
25% de la production = Electronique

# Déchets électroniques



8

© Crédits photo : Muntaka Chaso

RS



Recyclage Electronique en Inde  
Composés toxiques : Mercure, plomb, Arsenic  
< 20% des déchets Electronique recyclés  
(Europe 40%) 55 Millions de Tonnes/an

La Fresque  
du Numérique

# Comprendre les enjeux de la sobriété numérique

## Agir pour un monde numérique souhaitable responsable et soutenable

**Agir vite : c'est possible !**

**Limitons la frénésie numérique ! Mesurons nos impacts !**

1. Comprendre
2. Mesurer
3. Décider
4. Eviter
5. Réduire



ENERGIE PRIMAIRE



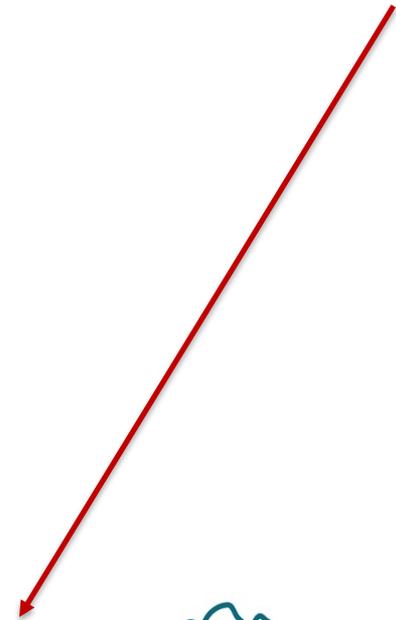
GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES



# Vers un numérique responsable et soutenable

**Agir vite : c'est possible ! Limitons la frénésie numérique ! Mesurons nos impacts !**

## *Solutions et Actions ?*

- 1. **Comprendre** 2. **Mesurer** 3. Décider 4. Eviter 5. Réduire
- **Agir** en tant qu'utilisateur dans son cadre personnel et professionnel
- **Agir Collectivement**

### ➤ **Sensibiliser et accompagner** (étudiants et personnels)

- *Conférences inspirantes, débats, lectures*

<https://theshiftproject.org>    <https://www.ademe.fr>

<https://time-planet.com/fr>    <https://institutnr.org>    <https://www.greenit.fr>

<https://www.fresquedunumerique.org> *Animation de type FdN (Fresque du Numérique)*

### ➤ **Se Former et former !**

- *Pédagogie active (MOOC )...*
- *Cours ... Projets ...*
- *Tester ses connaissances et son positionnement*

# AGIR pour un numérique responsable et soutenable



➤ *Loi n° 2021-1485 du 15 novembre 2021 visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France :*

- **Faire prendre conscience aux utilisateurs de l'impact environnemental du numérique** (Articles 1 à 4)
- **Limiter le renouvellement des terminaux** (Articles 5 à 23)
- **Faire émerger et développer des usages du numérique écologiquement vertueux** (Articles 24 à 27)
- **Promouvoir des centres de données et des réseaux moins énergivores** (Articles 28 à 33)
- **Promouvoir une stratégie numérique responsable dans les territoires** (Articles 34 à 36)

*La formation « comporte également une sensibilisation à l'impact environnemental des outils numériques ainsi qu'un volet relatif à la sobriété numérique ».*

PARTIE 1

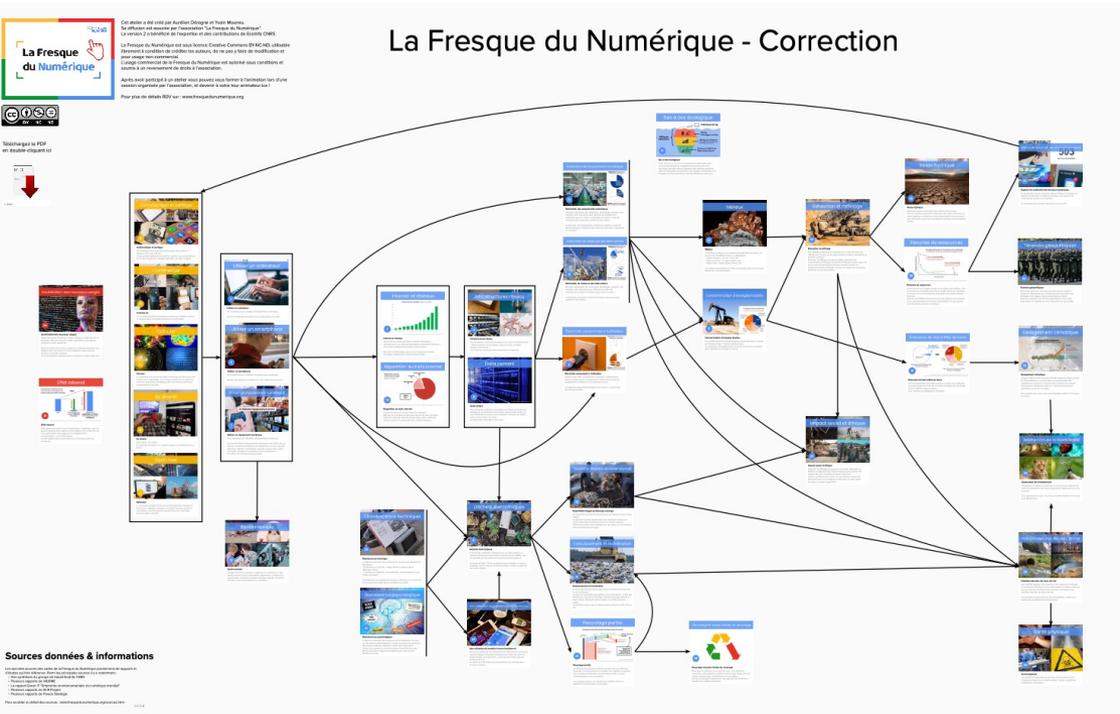
## Constats et conséquences

T = 0

PARTIE 2

## Actions

T = 3 heures

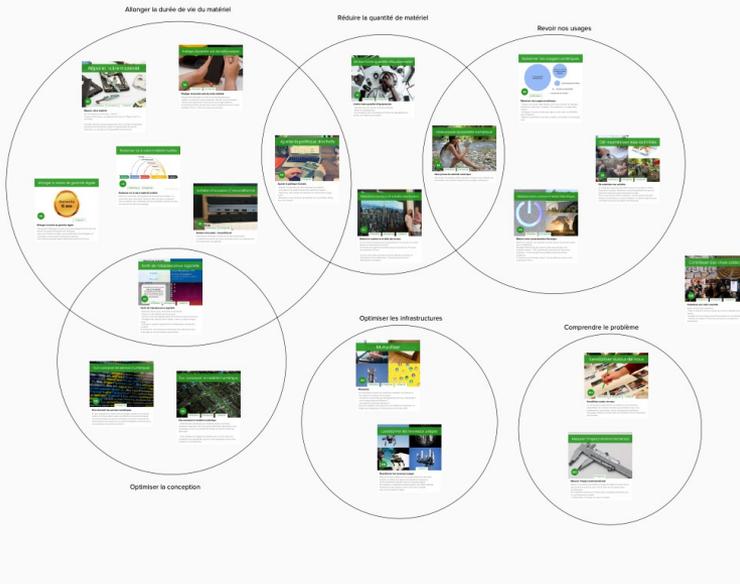


Jeu de cartes « orienté », groupes de 8 personnes maximum avec des profils différents

## ***PARTIE 2: Agir !***

- Réduire la quantité de matériel
- Augmenter la durée de vie du matériel
- Revoir nos usages
- Optimiser la conception
- Optimiser les infrastructures

### Action !

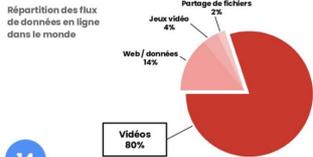


# La Fresque du Numérique



## Répartition du trafic internet

Répartition des flux de données en ligne dans le monde



14

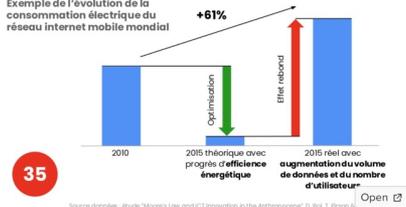
Source: "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology 2013-2018", The SDN Project, 2013

### Répartition du trafic internet

Ceci est un focus sur la carte "Internet et réseaux". 80% des flux mondiaux de données internet sont des flux vidéo : vidéo à la demande, sites de partage vidéo, porno, vidéos de réseaux sociaux, TV, visioconférence, vidéosurveillance...

## Effet rebond

Exemple de l'évolution de la consommation électrique du réseau internet mondial



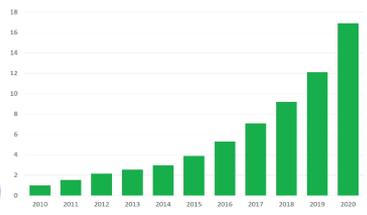
35

### Effet rebond

Nous optimisons ressources et énergie depuis longtemps, mais les gains d'efficacité prévus grâce aux innovations sont compensés par une augmentation des usages et une adaptation des comportements : c'est l'effet rebond. La technologie seule ne permet pas de consommer moins de ressources.

## Internet et réseaux

Trafic internet mondial (base 1 en 2010)



1

Source: International Energy Agency, "Global trends in internet traffic" (2010-2020), 2021

# Les 7 messages clés à retenir de l'atelier



**1. Le numérique n'a rien de dématérialisé ou de virtuel, il est très matériel.**



**2. Ce qui a le plus d'impact environnemental ce sont les terminaux utilisateurs.**



**3. Il faut extraire d'énormes quantités de minerais pour fabriquer un équipement.**



**4. Le recyclage n'est pas efficace, c'est une solution très partielle.**



**5. Les ressources en métaux et en énergies fossiles sont limitées et se raréfient.**



**6. À cause de l'effet rebond, la technologie seule ne résout pas les problèmes.**

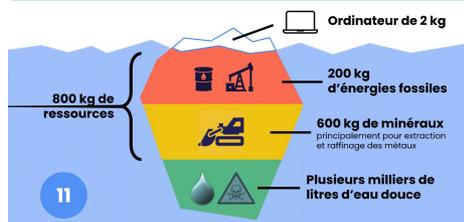
**7. Un autre numérique est possible.**

## Se divertir



D

## Sac à dos écologique



11

Source: rapport de l'ADEME "Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation", 2018, p.15

## limiter notre quantité d'équipements



S1

Utilisateur Entreprise

# Éco-conception - ACV

## Intégration des contraintes environnementales dans la conception de produits et services selon une approche globale multi-critères

- **L'écoconception d'un produit** consiste ainsi à ajouter à des cahiers des charges techniques et fonctionnels un **cahier des charges environnemental**
  - A performance équivalente, minimiser les impacts environnementaux comme par exemple l'impact de réchauffement climatique en « Kg CO2 équivalent ».
  - De manière opérationnelle, la méthodologie de quantification des impacts s'appelle **l'analyse de cycle de vie (ACV)**.
  - La méthodologie ACV est normalisée ISO (*ISO 14006; ISO 140062*)
  - Elle est divisée en 4 étapes : *Définition du champ d'étude, Inventaire, Calcul des impacts, Interprétation*
- L'écoconception d'un produit numérique peut se découper chronologiquement en trois étapes :
- ***Fabrication (et ressources),***
  - ***Utilisation, réutilisation, maintenance***
  - ***Fin de vie : métamorphose, recyclage, destruction, déchets***

# De l'économie linéaire à l'économie circulaire



*Économie  
linéaire*



*Économie  
circulaire*

✓ Extraire

✓ Réduire

✓ Fabriquer

✓ Réutiliser

✓ Consommer

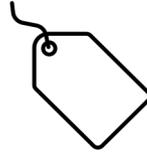
✓ Reconcevoir

✓ Jeter

✓ Recycler



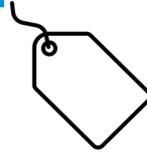
# AGIR pour un numérique responsable et soutenable



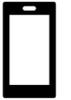
- Optimiser la quantité de matériel acheté, en **mutualisant** les usages
- Réduire le nombre et la taille des écrans
- Conserver le plus longtemps possible : **durabilité et réparabilité** du matériel, entretien régulier (matériel et logiciel)
- Optimiser les usages et les outils
- **Raisonner les usages** numériques de l'utile à l'inutile
- **Éteindre les équipements lorsqu'ils sont inutilisés**
- Définir des **INDICATEURS** : impacts vs nombre d'utilisateurs, comparer, optimiser
- **MESURER** les consommations électriques
- **AUTOCONSOMMER**
- **SENSIBILISER, FORMER, ANIMER** avec une ouverture vers le monde associatif

# AGIR pour un numérique responsable et soutenable

## -> Production d'équipements



- Évolution des **normes d'éco-conception** et de fabrication
- **Éviter l'obsolescence** logicielle
- Privilégier les circuits les plus courts possibles, la **circULARITÉ des ressources**
- Permettre une **maintenance efficace** et allonger la **durée de garantie**
- **Information plus précise des consommateurs** : indice de réparabilité, traçabilité



## -> Services et développements informatiques



- **Eco-conception des services numériques** : anticiper les impacts, mesurer la signature environnementale, l'efficacité énergétique, limiter les fonctionnalités inutiles, optimiser, simplifier...

- Repenser les **modèles de consommation** (éviter les forfaits à usages illimités)

- Imaginer de nouveaux outils permettant de **mesurer les impacts** des usages
- Contrôler avec précision la mesure des **besoins énergétiques et des flux de données** : mise en veille ou arrêt des équipements inutilisés ...
- **Utiliser une qualité vidéo réduite, privilégier un accès internet par câble ou wifi ou encore réduire la quantité de données stockées et favoriser leur stockage local**

# AGIR pour un numérique responsable et soutenable

## INFORMER



**GARANTIE**



**indice de réparabilité**

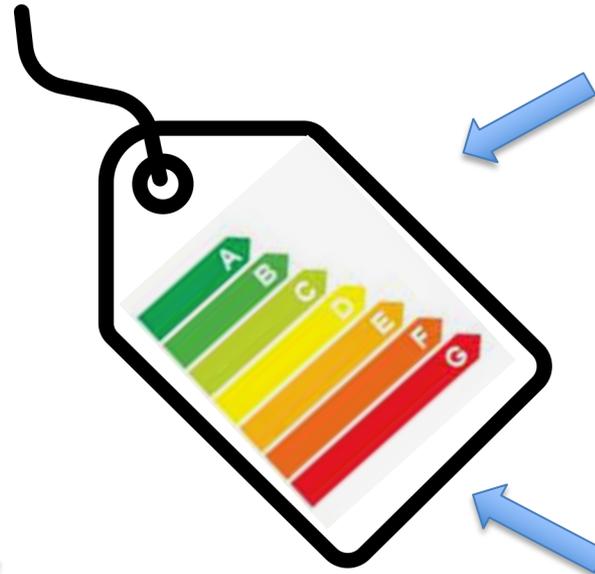


**RECYCLAGE**



**CONSOMMATION ELECTRIQUE**

- Marche
- Veille



**LIEUX DE FABRICATION  
ET D'ASSEMBLAGE  
DISTANCES PARCOURUES**

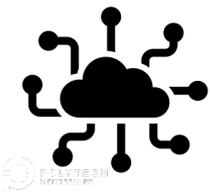


Écoconception ?

**IMPACTS DE LA FABRICATION**

- EAU
- POIDS DE MATIERE PREMIERE
- POLLUTIONS,
- GES, BILAN CARBONE





# CONCLUSION



## De l'abondance et de l'insouciance aux sobriétés

- Le monde numérique n'est pas immatériel : au vu de **nos usages** sa réalité physique a un impact **énergétique environnemental**, et **sociétal**
- Le numérique est remède et poison, et donc affaire de dosage, en distinguant l'utile et le futile, le réel et le virtuel ...
- Ces enjeux représentent des **défis**, des **menaces**, mais aussi des **opportunités** : *créativité, innovation, recherche, éducation, ...*



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES

# Quelques références ...



Philippe Bihouix - Vincent Courboulay - Jean Marc Jancovici  
Aurore Stephant - Aurélien Barrau - Edgar Morin

<https://www.bnf.fr/fr/le-numerique-responsable-bibliographie-mars-2022>

-----

<https://theshiftproject.org>

<https://www.ademe.fr>

<https://www.greenit.fr>

<https://time-planet.com/fr>

<https://institutnr.org>

<https://www.fresquedunumerique.org>

# Comprendre les enjeux de la sobriété numérique

## *Agir contre la pollution du numérique pour un monde numérique plus responsable*

Pr. Michel ROBERT

*Université de Montpellier , Polytech Montpellier, LIRMM*

CINES



# Histoire des Sciences : quelques points de repères

- 1800 : pile de Volta
- 1826 : loi d'ohm
- 1831 : premier relais électrique
- 1837 : télégraphe de Morse
- 1847 : lois de kirchhoff
- 1866 : dynamo

1854 : algèbre de Boole

1876 : téléphone (Bell)



- 1904 : la diode, premier tube à vide
- 1907 : la triode à vide (Lee de Forest)
- 1909 : premier central téléphonique automatique
- 1914 : premier circuits électroniques

1936 : machine de Turing



**Electronique**

- 1946 : ENIAC : premier calculateur électronique
- 1947 : transistor à pointes germanium (brattain, bardeen, shockley) Nobel 1958

1948 : Shannon, théorie de l'information

- 1954 : transistor silicium (G. Teal, TI)
- 1959 : circuit intégré (J. Kilby Nobel 2000)



- 1959 : technologie planar
- 1959 : transistor à effet de champ (FET) : transistor MOS

**Microélectronique**

- 1970 : mémoire DRAM 1024 bits Intel (1988: 4 Mbits)
- 1971 : microprocesseur 4004, Intel

- 1980 : microcontrôleur 8 bits ASIC

**Microélectronique CMOS**

- 1990 : microcontrôleur 32 bits

2000 **Convergence** » des Sciences de l'information et de la communication MP-SOC

< 2010 1 milliard de transistors sur une puce

2022 : 50 milliards de transistors sur une puce