

IMT Saclay 24-9-2024

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable



Pr. Michel ROBERT
Université de Montpellier
Chaire Polytech - ISIA



« Responsabilité, éthique et impacts des Technologies Numériques »

Directeur du CINES

Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur



Direction générale
de l'enseignement supérieur
et de l'insertion professionnelle

Direction générale
de la recherche
et de l'innovation



Les enjeux d'un monde numérique plus responsable

- Le monde numérique et ses impacts
- Empreinte du numérique
 - *Ressources*
 - *Energie*
- Agir pour un monde numérique responsable
- Centre de calculs et de données : exemple du CINES



« numérique » :

logiciels, matériels, usages



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

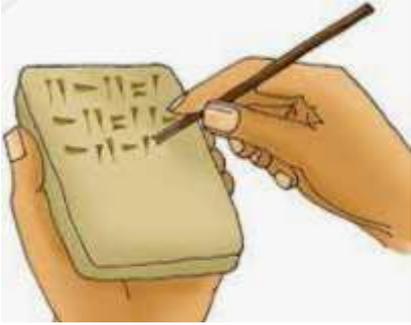


EAU



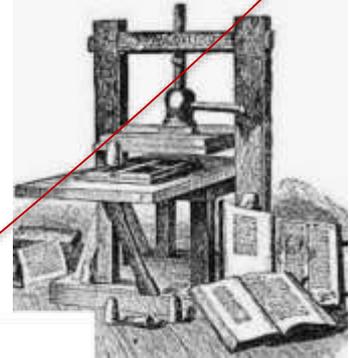
RESSOURCES

-5000



-500

écriture et accélération des innovations ...



-50



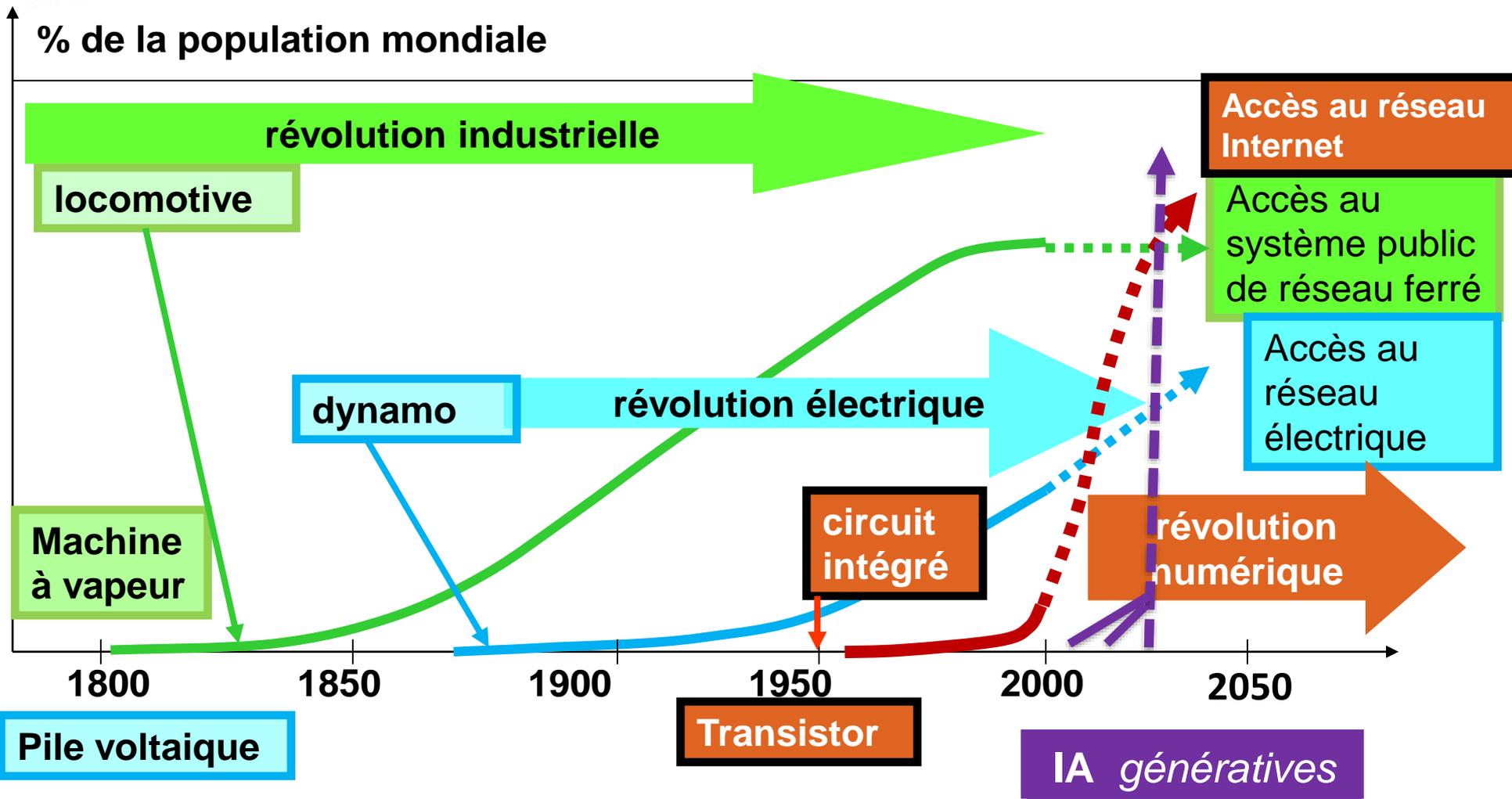
Electronique
+
Télécoms
+
Informatique



-5



L'accélération des évolutions technologiques



Histoire des Sciences et Techniques : *Convergences électronique, informatique, communication*

1800 : pile de Volta

1826 : loi d'ohm

1831 : premier relais électrique

1837 : télégraphe de Morse

1834, calculateur mécanique de Babbage

1847 : lois de kirchhoff

1854 : algèbre de Boole

1866 : dynamo

1876 : téléphone (Bell)

1880 : Piezo-électricité (J&P Curie)

1904 : la diode, premier tube à vide

1907 : la triode à vide (Lee de Forest)

1909 : premier central téléphonique automatique

1914 : premiers circuits électroniques

1936 : machine de Turing

1945 : architecture von Neumann

1946 : ENIAC : premier calculateur électronique (10^3 instructions/s)

1947 : transistor à pointes germanium (brattain, bardeen, shockley)

1948 : Shannon, théorie de l'information

1954 : transistor silicium (G. Teal, TI)

... Émergence de l'IA

Histoire des Sciences et Techniques : *Convergences électronique, informatique, communication*

1959 : circuit intégré (R.Noyce, J. Kilby)



1959 : transistor à effet de champ (FET) : transistor MOS

1970 : mémoire DRAM 1024 bits Intel (1988: 4 Mbits)

1971 : microprocesseur 4004 Intel, micro-ordinateur, premier mail @

1980 : microcontrôleur 8 bits *Microélectronique CMOS ...*

1980 : premier ordinateur IBM installé au CNUC-CINES (5.10⁶ instructions/s)

1981 : Personal Computer PC 5150 d'IBM

1982 : Minitel, « Médium Interactif par Numérisation d'Information Téléphonique »

1984 : Mactintosh (Apple)

1989 : Internet, World Wide Web

1990 : microcontrôleur 32 bits

1992 : premier Short Message Service (SMS)

1999 : internet des objets (IoT)

2007 : iphone (Apple)



2022 : ChatGPT (IA générative)

2023 : Supercalculateur ADAstra au CINES (75 pétaflops)



Informatique :

- Machines
- Algorithmes
- Langages, programmes
- Informations, données
- HPC, calcul intensif
- Cloud, Data Centers
- IA



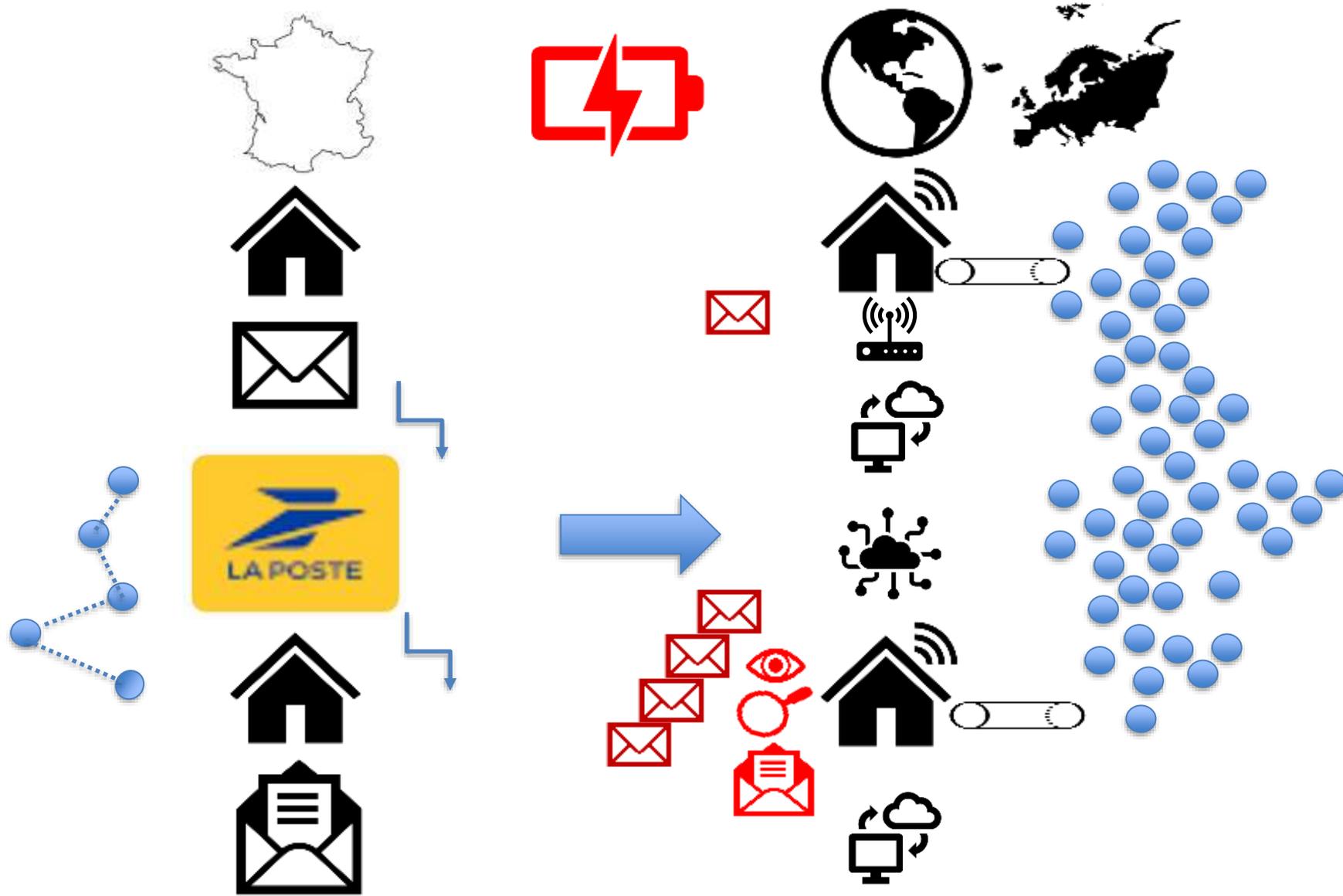
2024 : 100 milliards de transistors sur une puce, MP-SoC, CPU, GPU

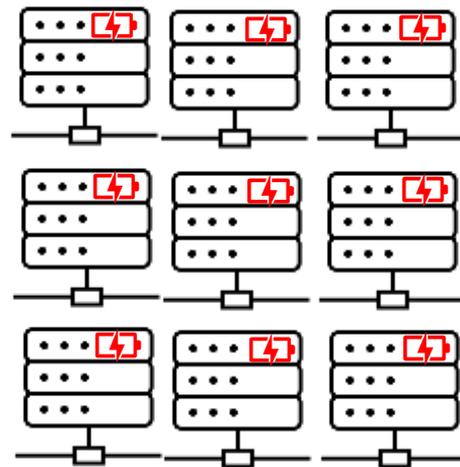
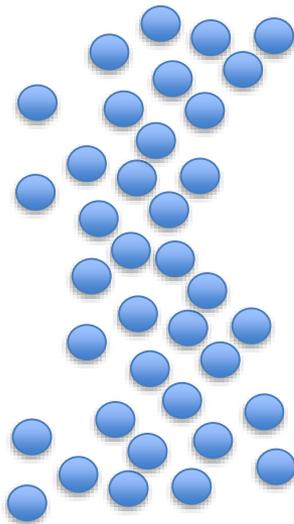
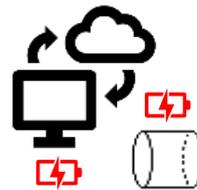
2024 : Supercalculateur El Capitan (2 exaflops soit 10¹⁸ instructions/s)

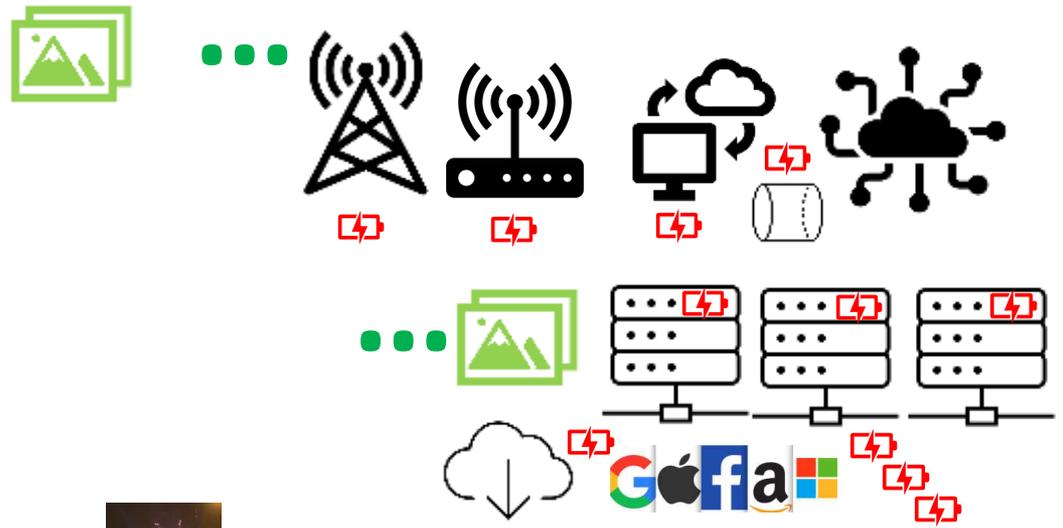
TECHNOLOGIES & USAGES



TECHNOLOGIES & USAGES







Les enjeux d'un monde numérique plus responsable

- **Le monde numérique et ses impacts**
- **Empreinte du numérique**
 - *Ressources*
 - *Energie*
- **Agir pour un monde numérique responsable**
- **Centre de calculs et de données : exemple du CINES**

« numérique » : logiciels, matériels, usages

✓ SMARTPHONES



- Quantités mondiales ?
 - Distances parcourues pour la fabrication ?
 - Nombre d'éléments nécessaires ?
 - Poids relatif des matières premières extraites ?
-
- ✓ 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 ?
 - ✓ Qu'est ce que l'effet rebond ?
 - ✓ Qu'est ce que l'éco-conception ?
 - ✓ Quelle responsabilité sociétale avons-nous ?
 - ✓ Quelles recommandations pour un numérique responsable et souhaitable ?

Sobriété numérique : pourquoi ?

modérer ses usages numériques

concevoir des services numériques plus sobres

- ***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
- ***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, ...

Empreinte du numérique

- **BESOINS**

- *RESSOURCES*

- *ENERGIE*

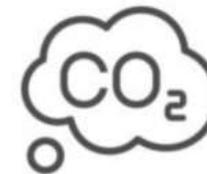


- **IMPACTS**

- *FABRICATION*

- *UTILISATION*

- *FIN DE VIE*



Empreinte du numérique rapportée aux impacts environnementaux annuels de la France

La Commission européenne estime que l’empreinte énergétique et environnementale du numérique correspond à :

- Une fourchette de 5% à 9% de la consommation d’électricité mondiale
- Plus de 2 % de toutes les émissions
- Un septième continent de la taille de 2 à 5 fois celle de la France; à l’échelle mondiale



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES

6,2 %
DE LA
CONSOMMATION
DE LA FRANCE

5,2 %
DES ÉMISSIONS
DE LA FRANCE

10,2 %
DE LA
CONSOMMATION
DE LA FRANCE

EXCAVATION DE
4 milliards
DE TONNES
DE TERRE

Source GREEN IT <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2020/06/2020-06-iNum-etude-impacts-numerique-France-rapport.pdf>

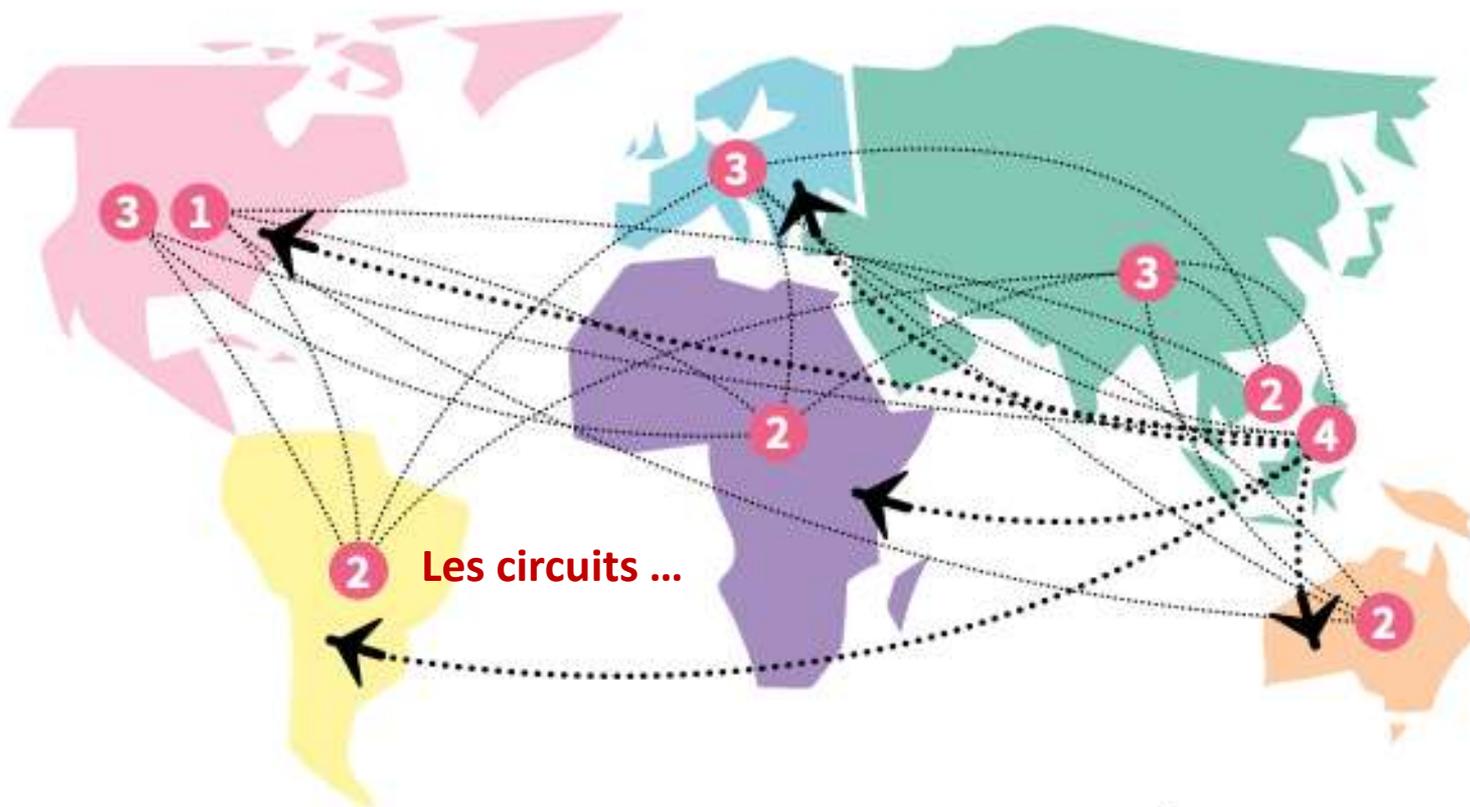
Numérique: fabrication et utilisation

%	 Energie	 GES	 Eau	 Ressources ⁽¹⁾
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 ?

QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE



Les circuits ...

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

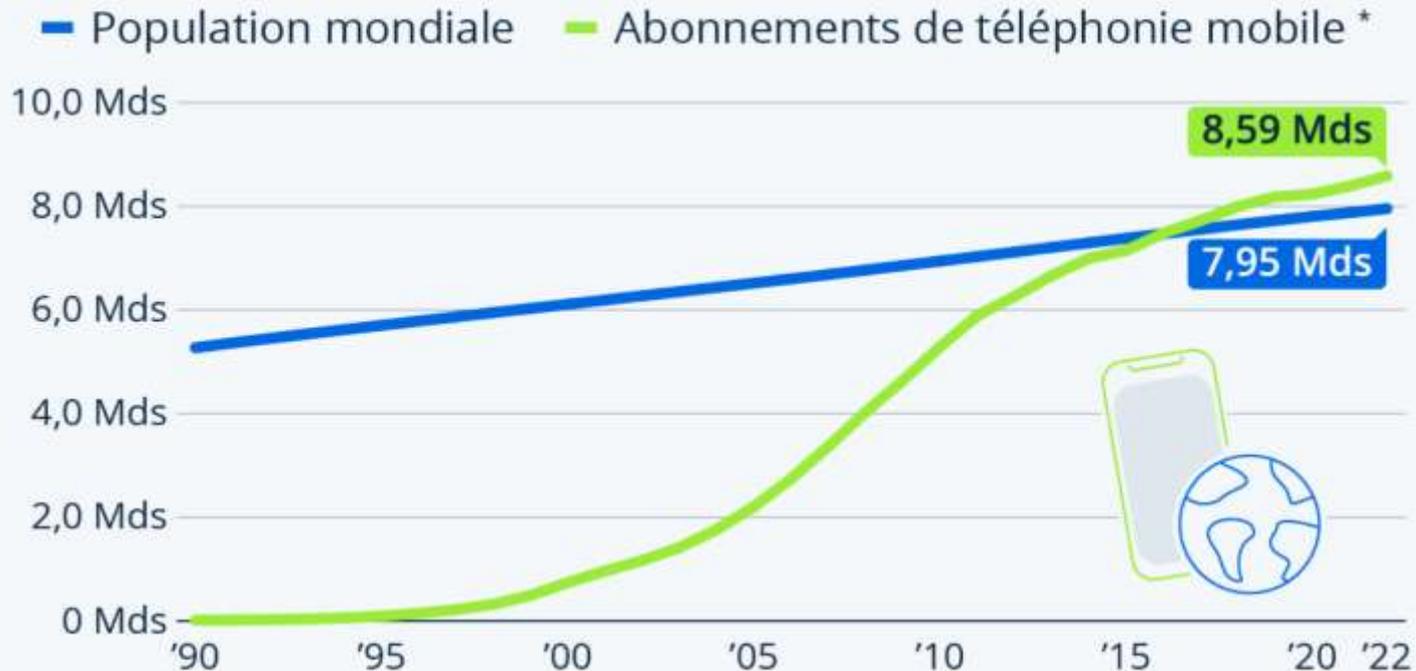
3. Fabrication des principaux composants en Asie, aux États-Unis et en Europe

4. Assemblage en Asie du Sud-Est

Distribution vers le reste du monde, souvent en avion.

Plus de téléphones portables que d'humains sur Terre

Nombre estimé d'abonnements à la téléphonie mobile comparé à la population mondiale



* Comprend les forfaits postpayés et prépayés actifs offrant des communications vocales ; hors abonnements via cartes de données ou modems USB, services de radiomessagerie et télémétrie.

Sources : UIT, Banque mondiale, Division de la population des Nations unies



La multiplication des objets connectés

Quelques chiffres à l'échelle de la planète

ADEME (2021)

- **Equipements numériques : # 34 milliards**
- **Smartphones : 4 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 !*

✓ E



ches !

L'impact de la Fabrication des objets numériques

- Impact **GES**, Fabrication Electronique (hors batterie)

Année 2020	Production	Impact CO2eq (kg)	Impact CO2eq (Kg) global
SmartPhone	1,5 10 ⁹	35	52,5 10⁹
PC	220 10 ⁶	220	48,4 10⁹
Tablette	70 10 ⁶	70	4,9 10 ⁹
TV	400 10 ⁶	400	160 10 ⁹
Ecran (hors TV)	250 10 ⁶	250	62,5 10⁹
Montres connectés	10 10 ⁶	10	0,1 10 ⁹
Imprimantes	100 10 ⁶	110	110 10⁹
consoles	70 10 ⁶	70	4,9 10 ⁹

Source : ADEME 2020

Total : ~ 450 Millions Tonne de CO2eq

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

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable

- Le monde numérique et ses impacts
- **Empreinte du numérique**
 - *Ressources*
 - *Energie*
- Agir pour un monde numérique responsable
- Centre de calculs et de données : exemple du CINES

Empreinte du numérique

- **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



Pour un SMARTPHONE de 200 g, il faut extraire plusieurs centaines de Kg de minerais

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



RESSOURCES

Tableau périodique des éléments

Groupe → 1
 Période ↓

1	Hydrogène H 1,00794	II A											III B	IV B	V B	VI B	VII B	0		
2	Lithium Li 6,941	Béryllium Be 9,0121831											Bore B 10,811	Carbone C 12,0108	Azote N 14,00644	Oxygène O 15,9994	Fluor F 18,99840316	Neon Ne 20,1797		
3	Sodium Na 22,98976928	Magnésium Mg 24,304											Aluminium Al 26,9815386	Silicium Si 28,0855	Phosphore P 30,97376209	Soufre S 32,065	Chlore Cl 35,453	Argon Ar 39,948		
4	Potassium K 39,0983	Calcium Ca 40,078	Scandium Sc 44,955908	Titane Ti 47,887	Vanadium V 50,9415	Chrome Cr 51,9961	Manganèse Mn 54,938044	Fer Fe 55,845	Cobalt Co 58,933194	Nickel Ni 58,6934	Cuivre Cu 63,546	Zinc Zn 65,38	Gallium Ga 69,723	Germanium Ge 72,630	Arsenic As 74,921595	Sélénium Se 78,971	Brome Br 79,904	Krypton Kr 83,798		
5	Rubidium Rb 85,4678	Strontium Sr 87,62	Yttrium Y 88,90584	Zirconium Zr 91,224	Niobium Nb 92,90637	Molybdène Mo 95,95	Technétium Tc (98)	Ruthénium Ru 101,07	Rhodium Rh 102,90550	Palladium Pd 106,42	Argent Ag 107,8682	Cadmium Cd 112,411	Indium In 114,818	Étain Sn 118,710	Antimoine Sb 121,760	Tellure Te 127,60	Iode I 126,90447	Xénon Xe 131,293		
6	Césium Cs 132,90545196	Baryum Ba 137,327	Lanthanides 57-71			Hafnium Hf 178,49	Tantale Ta 180,94788	Tungstène W 183,84	Rhénium Re 186,207	Osmium Os 190,23	Iridium Ir 192,217	Platine Pt 195,084	Or Au 196,966569	Mercure Hg 200,592	Thallium Tl 204,3833	Plomb Pb 207,2	Bismuth Bi 208,98040	Polonium Po (209)	Astate At (210)	Radon Rn 222
7	Francium Fr (223)	Radium Ra (226)	Actinides 89-103			Rutherfordium Rf (261)	Dubnium Db (268)	Seaborgium Sg (266)	Bohrium Bh (264)	Hassium Hs (277)	Méitnerium Mt (276)	Darmstadtium Ds (281)	Résgenium Rg (282)	Copernicium Cn (285)	Nihonium Nh (286)	Flerovium Fl (289)	Moscovium Mc (289)	Livermorium Lv (293)	Tennesse Ts (294)	Oganesson Og (294)
	Blocs du tableau périodique		Lanthane La 138,90547	Cérium Ce 140,116	Praséodyme Pr 140,90766	Néodyme Nd 144,242	Prométhium Pm (145)	Samarium Sm 150,36	Europium Eu 151,964	Gadolinium Gd 157,25	Terbium Tb 158,92535	Dysprosium Dy 162,500	Holmium Ho 164,93033	Erbium Er 167,259	Thulium Tm 168,93422	Ytterbium Yb 173,045	Lutécium Lu 174,9668			
			Actinium Ac (227)	Thorium Th 232,0377	Protactinium Pa 231,03688	Uranium U 238,02891	Neptunium Np (237)	Plutonium Pu (244)	Americium Am (243)	Curium Cm (247)	Berkélium Bk (247)	Californium Cf (251)	Einsteinium Es (252)	Fermium Fm (257)	Mendelevium Md (258)	Nobelium No (259)	Lawrencium Lr (260)			

états d'oxydation
 1^{re} 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]

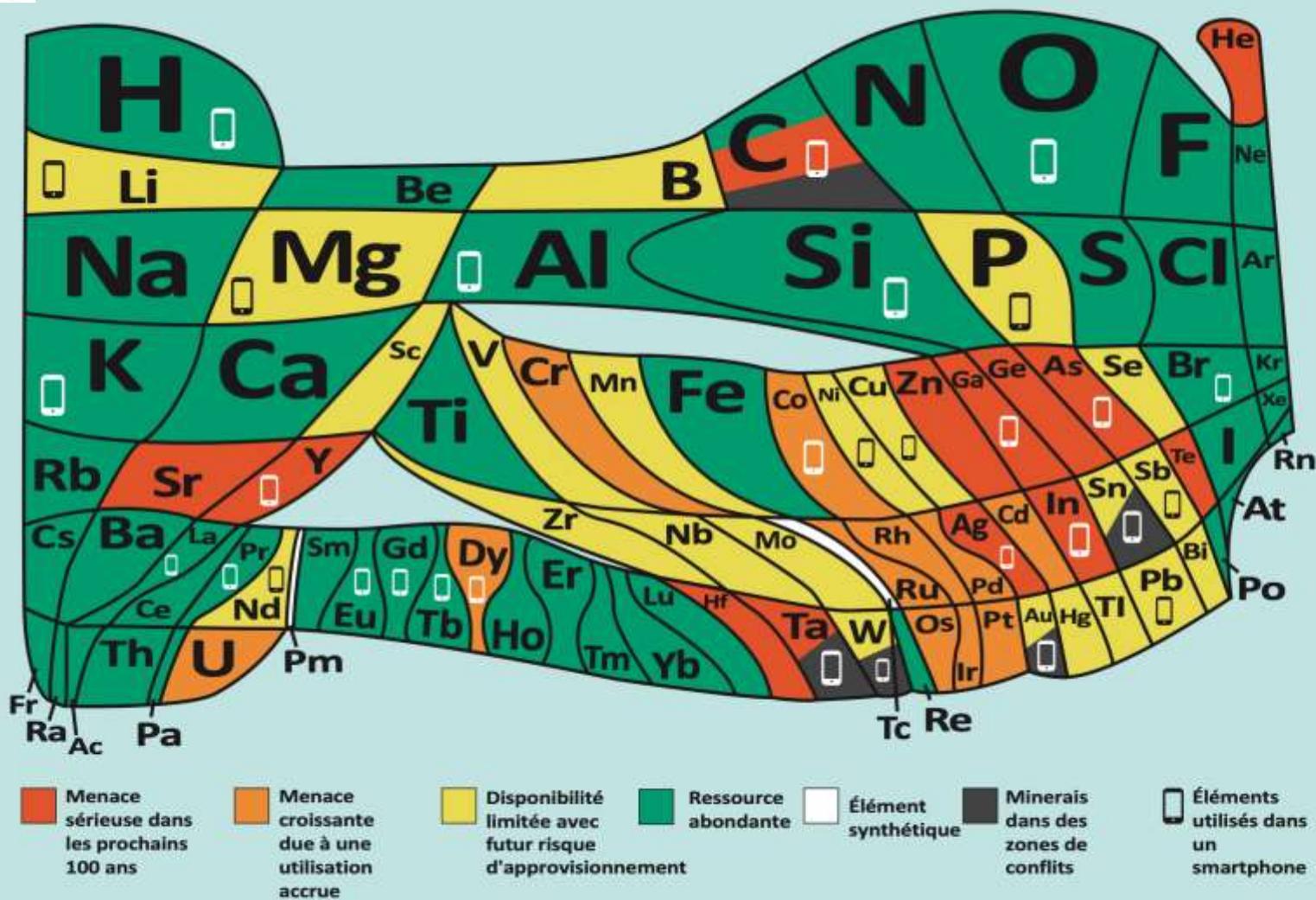




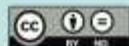
RESSOURCES

Les 90 éléments qui composent notre monde

Combien en reste-t-il? Y en a-t-il assez? Est-ce durable?



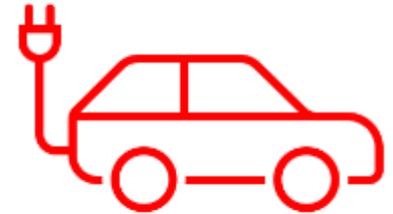
Lisez la suite et jouez au jeu vidéo en ligne : <http://bit.ly/euchems-pt>



D'UNE DEPENDANCE AUX ENERGIES FOSSILES A UNE DEPENDANCE AUX METAUX

- Les métaux sont indispensables pour le monde numérique, et la production d'énergie « verte » (éoliennes, photovoltaïque, batteries)

- Exemple : Cuivre, Nickel, Cobalt, Lithium ...



Electrique ET numérique

- Exemple : mobilité

- *Véhicule thermique = 50 kg de matériaux critiques ; Cuivre = 20 kg*

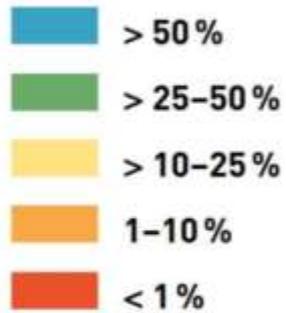
- *Véhicule électrique = 200 kg de matériaux critiques ; Cuivre = 80 kg*

- Conséquence : besoins planétaires d'ici 2040 : Lithium (x 40), Nickel (x20), Cobalt (x20), Cuivre (x3)

- Ressources & Réserves ? ... Quelques décennies

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

Empreinte du numérique

- **ENERGIE**

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



Exemple : « box internet »

Boîtier servant d'interface entre l'abonné et un fournisseur d'accès à Internet, réunissant plusieurs fonctions : Modem. Routeur. Switch. Borne d'accès Wi-Fi

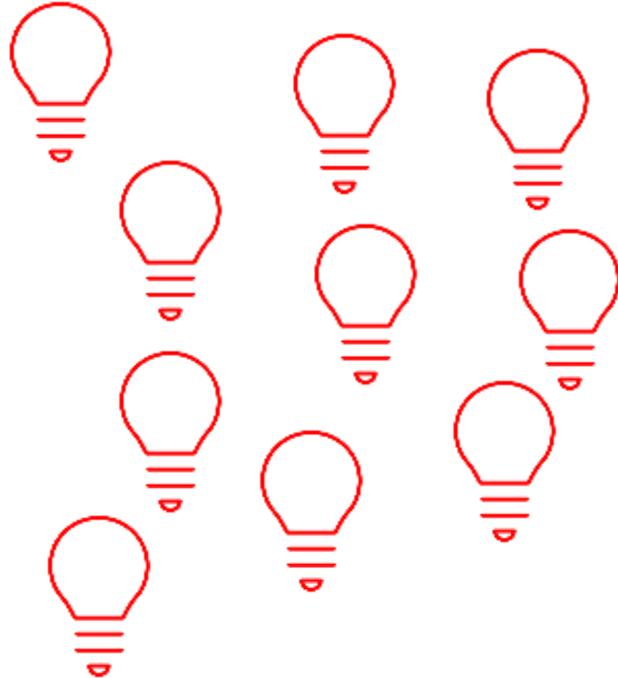
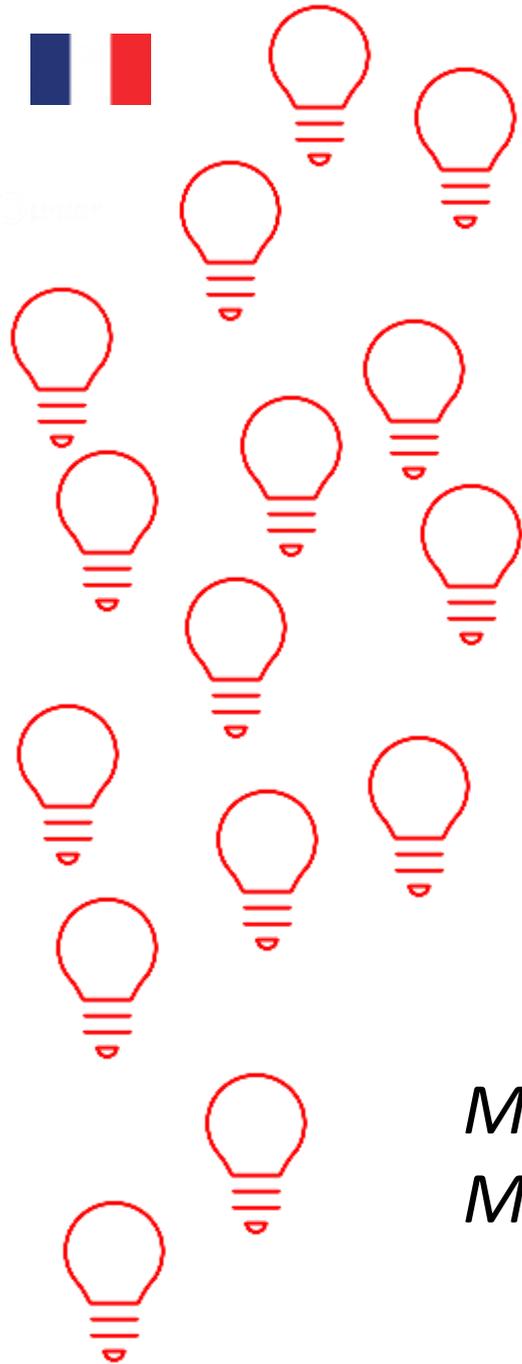


Mode « marche »

Mode « veille »

Mode « arrêt »





Box internet

30 millions

60 000 000

Mode marche : de 7 W à 20 W

*Mode veille : de **5 W à 14 W***



**Estimations de la consommation électrique du numérique en France
(ADEME-Arcep | The Shift Project provisoire)**

	2020 (en TWh)		2030 (en TWh)		Explications
Terminaux (y compris boxes)	35,1	35	33,9	39	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Croissance plutôt que décreue de la consommation des TV, du fait du développement 4K et de la taille des écrans ▫ Croissance supérieure de l'IoT
Réseaux (hors boxes)	4,3	4,2	4,1	8,7	Différence expliquée par l'écart d'estimation sur les réseaux mobiles
dont réseaux mobiles	1,6	2,2	2,3	6,8	Croissance supérieure : + 12 %/an - valeur moyenne (Arcep, 2022), (Arcep 2023), étude académique en cours
Data centers	11,6	12	16,4	19,2	Croissance supérieure : + 5%/an - valeur moyenne européenne (étude Borderstep citée dans (EU Commission, 2020))
dont opérateurs colocation	5,6	5,6	13,4	16,2	Surcroît de croissance par rapport à la moyenne européenne (apparition de méga-sites)
Total numérique	51	51,2	54,4	66,9	

Tableau 3 - Projections ADEME-Arcep et estimation provisoire de The Shift Project sur la consommation électrique du numérique en France

Source : (ADEME & Arcep, 2023; The Shift Project, 2023)⁴⁰



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

➤ Consommation énergétique annuelle des **data centers**

▪ 2010 53,9 TWh

▪ 2018 76,8 TWh

▪ 2025 (estimation) **92,6 TWh**

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



9,000 terawatt hours (TWh)

ENERGY FORECAST

Widely cited forecasts suggest that the total electricity demand of information and communications technology (ICT) will accelerate in the 2020s, and that data centres will take a larger slice.

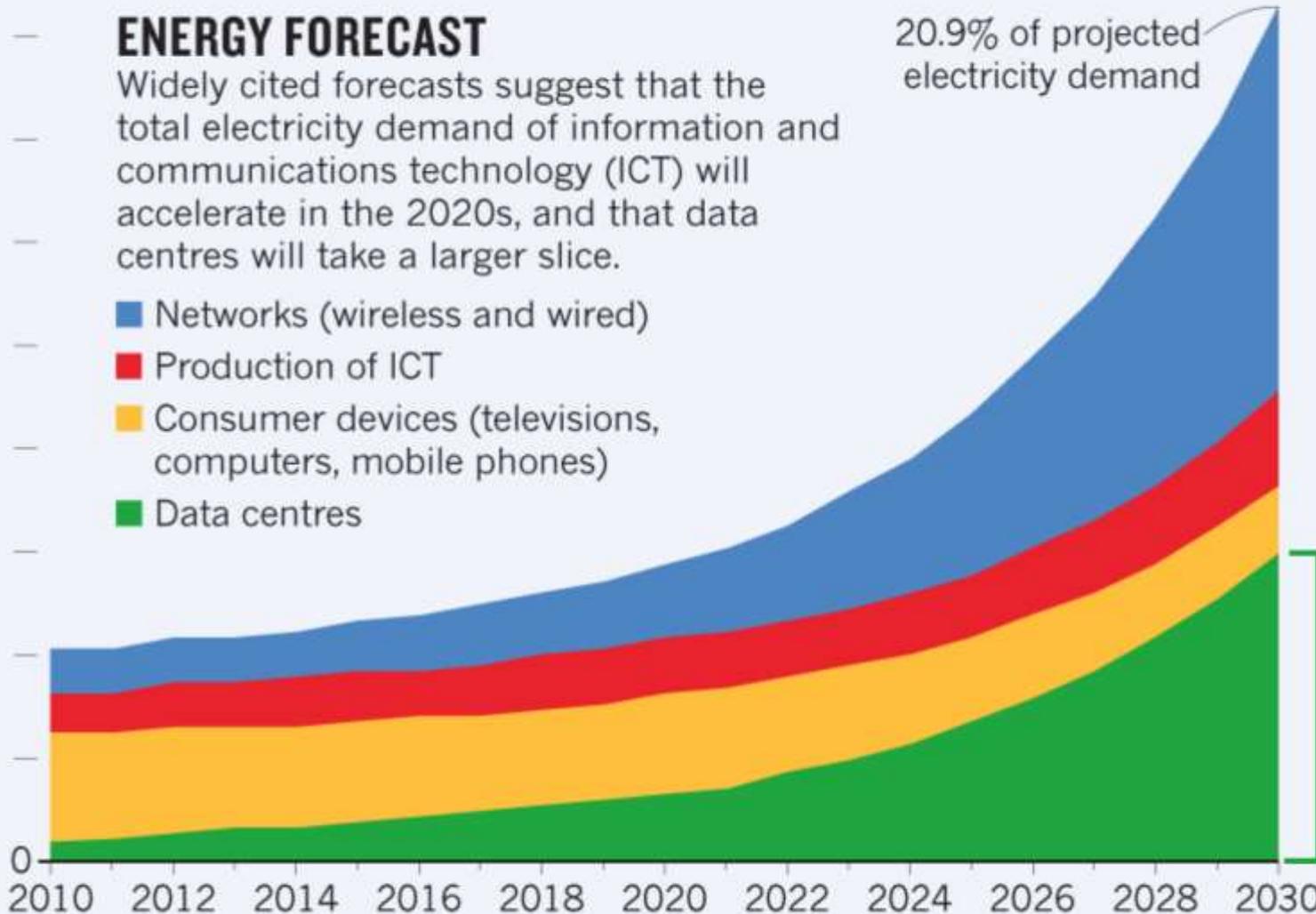
- Networks (wireless and wired)
- Production of ICT
- Consumer devices (televisions, computers, mobile phones)
- Data centres

20.9% of projected electricity demand

ICT

10%
consommation
Électrique mondiale

Réseaux : # 40%
Terminaux # 30%
Data Centers # 30%



Data centres could represent **8% of electricity demand** by 2030

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable

- Le monde numérique et ses impacts
- Empreinte du numérique
 - *Ressources*
 - *Energie*
- **Agir pour un monde numérique responsable**
- Centre de calculs et de données : exemple du CINES

L'Ère de la Sobriété Numérique

- ✓ Informer & Former
- ✓ Réguler
- ✓ Limiter la frénésie numérique



- ✓ Agir individuellement et collectivement

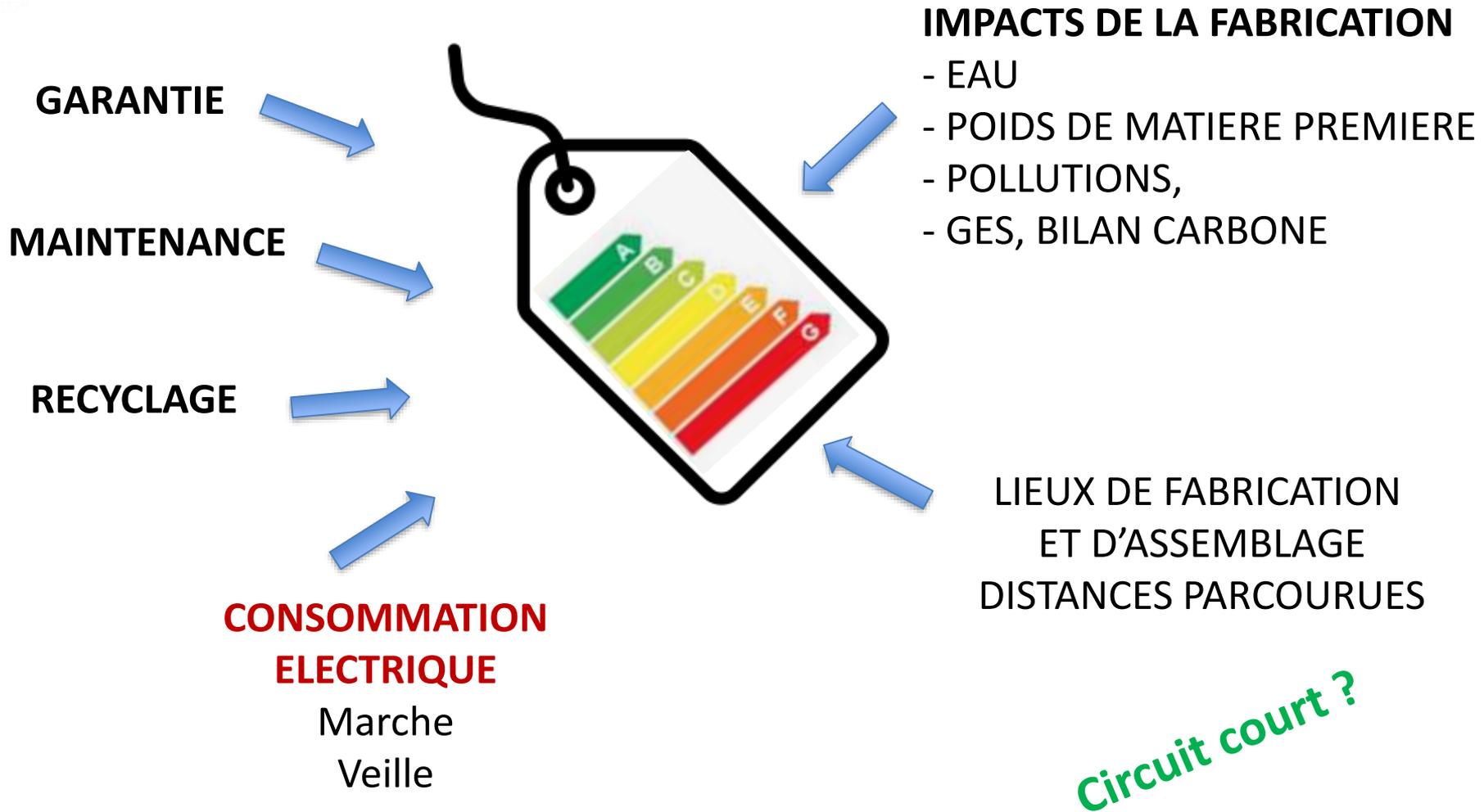
Transition Ecologique et du Développement Sustainable

Exemple: **comparaison de systèmes de production d'énergie électrique**
Dimensionner différents systèmes énergétiques pour produire une puissance équivalente de 1000 MW électriques

1. Energie nucléaire : le réacteur électronucléaire
2. Energie chimique : la centrale thermique au fuel
3. Energie gravitationnelle : la centrale hydroélectrique
4. Energie solaire : le panneau photovoltaïque
5. Energie cinétique du vent : l'éolienne

Type de production	Combustible / force motrice	Quantités annuelles	Production d'électricité au m ² (kWh / m ²)	Emission GES gCO ₂ eq / kWh élec
Réacteur Nucléaire	Uranium naturel		12800	6
Centrale Thermique	Pétrole		14000	730
Barrage hydraulique	Eau		240	40-70
Panneaux photovoltaïques	Lumière solaire		150	27-50
Eoliennes	Vent		250	onshore : 9 offshore : 11

INFORMER



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

INFORMER



Aliments

Vêtements

Objets :
électriques
Numériques

Ex : automobile

HUGO DÉCRYPTE



FRANCE

© Abaca

Le gouvernement français réfléchit à adapter le nutri-score, ces 5 lettres qui permettent d'évaluer la qualité des produits alimentaires, **pour les vêtements et évaluer leur impact environnemental**. La piste privilégiée serait une notation chiffrée à l'aide de 8 critères de notation. Plus la note sera élevée, + le vêtement coûtera cher à la planète.

REGULER

- **Règlement général de protection des données (RGPD)**, texte réglementaire européen (2018) qui encadre le traitement des données de manière égalitaire sur tout le territoire de l'Union européenne (UE). Il s'inscrit dans la continuité de la loi française « Informatique et Libertés » de 1978, modifiée par la loi du 20 juin 2018 relative à la protection des données personnelles, établissant des règles sur la collecte et l'utilisation des données sur le territoire français. Il a été conçu pour renforcer les droits des personnes et responsabiliser les acteurs traitant des données.
- **Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 : Anti-Gaspillage pour une Economie Circulaire (AGEC)**, pour accélérer le changement de modèle de production et de consommation afin de limiter les déchets et préserver les ressources naturelles, la biodiversité et le climat, lutter contre toutes les différentes formes de gaspillage et transformer notre économie linéaire (produire, consommer, jeter), en une économie circulaire.
- **Loi n° 2021-1485 du 15 novembre 2021 visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France.**
- **Loi européenne sur l'intelligence artificielle (2024)**: tout premier cadre juridique en matière d'IA, qui traite des risques liés à l'IA et positionne l'Europe pour qu'elle joue un rôle de premier plan à l'échelle mondiale.

REGULER

➤ *Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 Anti-Gaspillage pour une Economie Circulaire (AGEC)*

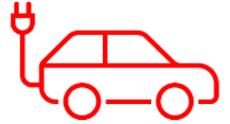
Accélérer le changement de modèle de production et de consommation afin de limiter les déchets et préserver les ressources naturelles, la biodiversité et le climat.

Lutter contre toutes les différentes formes de gaspillage.
Transformer notre économie linéaire (produire, consommer, jeter),
en une économie circulaire.

- mieux informer les consommateurs (exemple : compatibilité logicielle)
- lutter contre le gaspillage et pour le réemploi solidaire ;
- agir contre l'obsolescence programmée ;
- mieux produire.

Exemple : indice de réparabilité

REGULER



Empreinte environnementale : exemple de score environnemental

- Le score environnemental d'un **véhicule électrique** est indispensable pour bénéficier d'une subvention et tient compte de la présence de matériaux recyclés et biosourcés et est calculé par l'ADEME, l'Agence de la transition écologique du gouvernement, à partir d'un dossier fourni par le constructeur.
- La formule de calcul de l'éco-score automobile se fait en tenant compte de l'empreinte carbone (EC) exprimée en kilogrammes équivalent CO2 (kg-eq CO2) des éléments suivants :
 - **EC ferreux** pour l'empreinte carbone de production des métaux ferreux consommés pour la fabrication, hors batterie.
 - **EC aluminium** pour l'empreinte carbone de production de l'aluminium (pur et allié) consommé pour la fabrication, hors batterie.
 - **EC assemblage (AM)** pour l'empreinte carbone des matériaux, autres que ferreux et l'aluminium, employés pour la fabrication, hors batterie.
 - **EC batterie** tenant compte de la chimie, des matériaux et de la masse de la batterie, ainsi que de la réparabilité de la batterie et de ses cellules.
 - **EC consommation énergétique (ATI)** pour l'empreinte carbone liée à l'énergie nécessaire aux transformations intermédiaires et à l'assemblage.
 - **EC transport**, pour l'empreinte carbone liée à l'acheminement depuis le site d'assemblage jusqu'au site de distribution en France.

Source : <https://www.economie.gouv.fr/daj/lettre-de-la-daj-les-conditions-deligibilite-au-bonus-ecologique-comment-calculer-le-score>

REGULER

➤ ***Loi n° 2021-1485 du 15 novembre 2021 visant à Réduire l'Empreinte Environnementale du Numérique en France (REEN)***

- **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 ».

Agir pour un monde numérique plus responsable

L'ingénieur responsable en action

AGIR SUR :

- ✓ **le matériel**
- ✓ **l'immatériel**
- ✓ **l'humain et ses usages**

Agir pour un monde numérique plus responsable

De l'économie linéaire à l'économie circulaire

*Économie
linéaire*



*Économie
circulaire*

✓ Extraire

✓ Réduire

✓ Fabriquer

✓ Réutiliser

✓ Consommer

✓ Reconcevoir

✓ Jeter

✓ Recycler



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

Le futile aujourd'hui

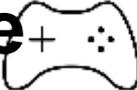
- 5G+ ? 6G ? 7G ? 



- **Streaming** dans un TGV

d'écouter de la musique sans avoir à télécharger de fichiers

streaming : méthode permettant de visionner des vidéos ou

- **Jeux Vidéo en ligne** 



- **Metavers ?**

Environnement immersif 3D



- **Cryptomonnaies** (si *blockchain* non optimisée en sobriété)



- Certaines applications de **l'IA**

- **Voiture numérique électrique personnelle autonome *non mutualisée***

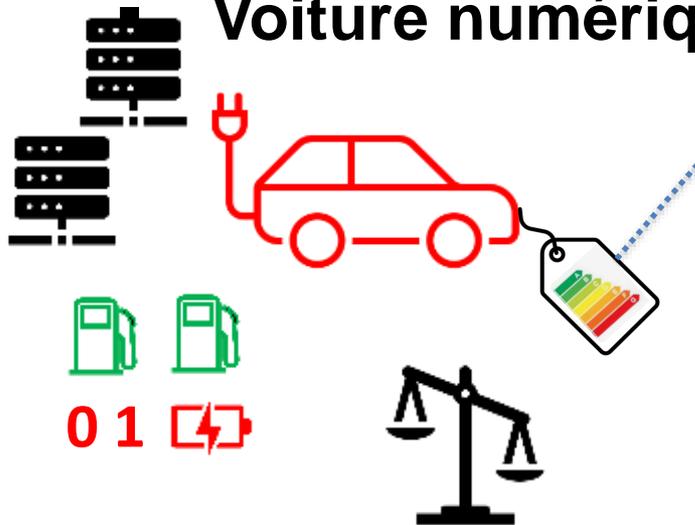
Caractéristiques d'un objet mobile numérique connecté : l'automobile

Mobilités et impacts



- Véhicule thermique = 50 kg de matériaux critiques, Cuivre = 20 kg
- Véhicule électrique = 200 kg de matériaux critiques, Cuivre = 80 kg
- Poids ?
- Type d'énergie ?

Voiture numérique électrique personnelle autonome ?



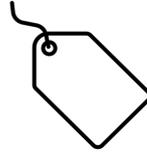
- **Fabrication:** ressources, origines des éléments
- **Utilisation :** consommation (énergie, données)
- Analyse de cycle de vie, bilan carbone

→ *La mutualisation pourrait rendre l'objet utile ...*

L'utile

- La santé, l'environnement : nourrir, soigner, protéger ...
- Les métiers et les services de demain
- La recherche scientifique et technologique : défis, opportunités
- Modéliser, simuler, apprivoiser les nouvelles techniques : IA, Blockchain ...
 - *Exemples : batteries du futur*
- Les défis de l'éducation et des impacts sociétaux

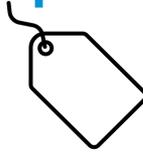
AGIR pour un numérique soutenable



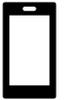
- Optimiser la quantité de matériel acheté, en **mutualisant** les usages
- **Réduire** le nombre et la taille des écrans
- Conserver le plus longtemps possible : **durabilité et réparabilité** du matériel, entretien régulier (matériel et logiciel)
- Optimiser les usages et les outils
- **Raisonner les 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

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**

Sobriété et éthique

- Logiciels « gratuits » :
 - *C'est vous ... le produit !*
 - *Carburant = données*

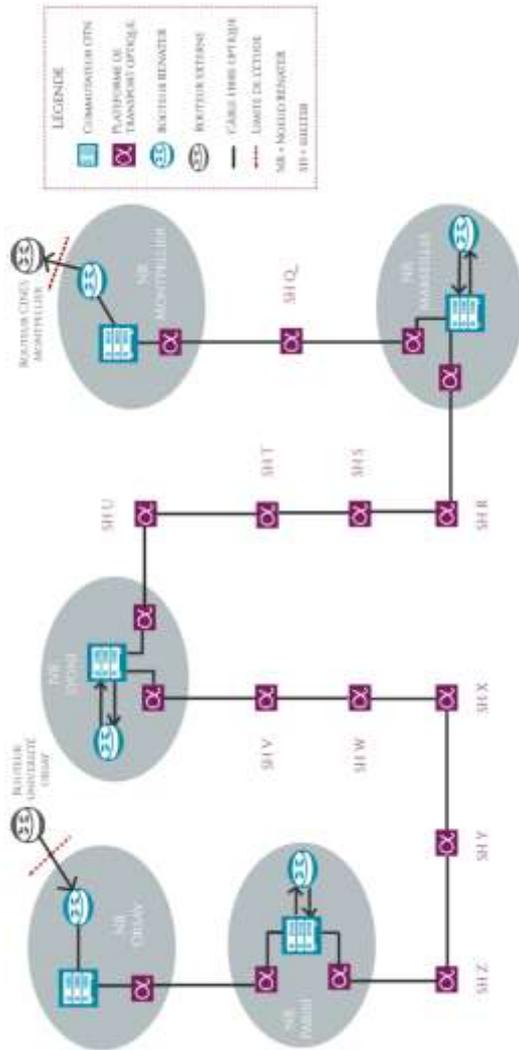
- Logiciels libres
 - *protection des données*
 - *éco-conception, éco-utilisation*

- Exemples :
 - Agenda : Framadate vs. Doodle
 - Collaboratif : Google docs
 - Web : Firefox vs. Chrome, Safari...
 - Traitement de texte

- Résultats produits par une recherche Google ?
- IA génératives ?
- Vie privée ?

Empreinte carbone de la transmission de 1 Go données sur le backbone RENATER

Segment Orsay-Montpellier : empreinte carbone moyenne de 1,5 g équivalent CO2 par Go



Variation de l'empreinte carbone du Go en fonction de la distance géographique

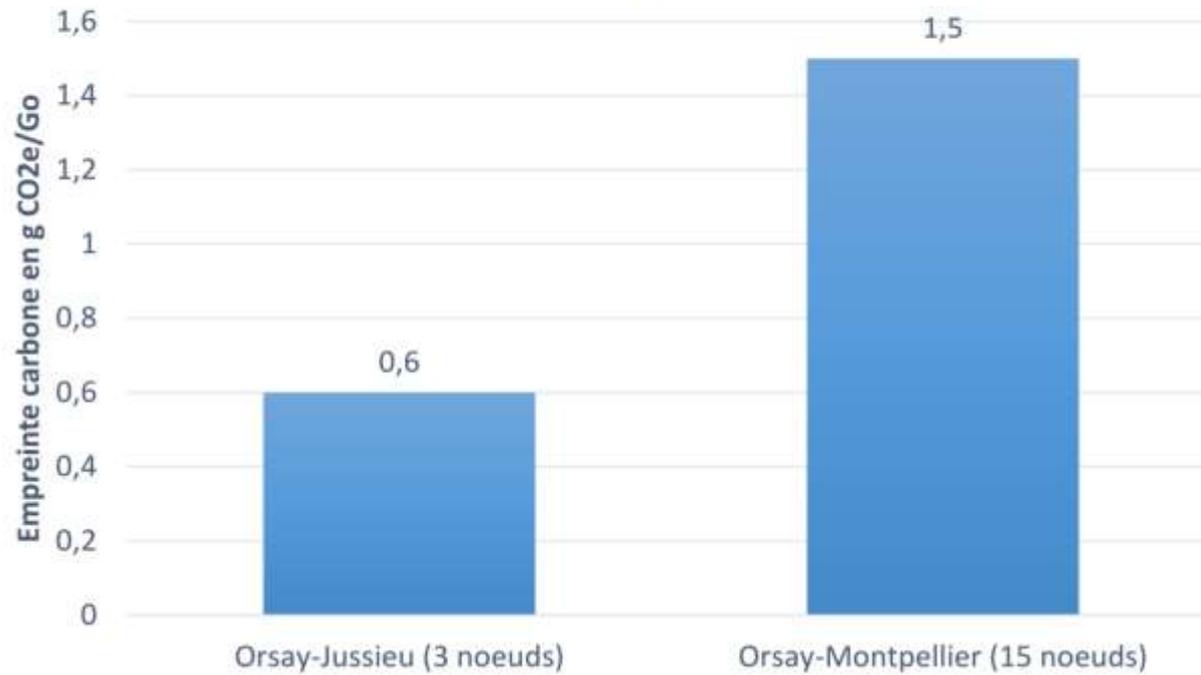


Figure 8 - variation de l'empreinte carbone du Go en fonction de la distance géographique

Évaluation de l'empreinte carbone d'une visioconférence entre deux utilisateurs du service rendez-vous (RENATER)

- 2 utilisateurs situés entre Paris et Grenoble avec une caméra active durant 1h génère 226 g CO₂e, soit un trajet de 9 km en trottinette électrique ou 20 km en vélo électrique ou 21 jours d'éclairage continu par une ampoule de 4W

- ✓ Sans caméra, l'empreinte carbone de la visioconférence diminue de 34% et l'impact lié à l'utilisation baisse largement

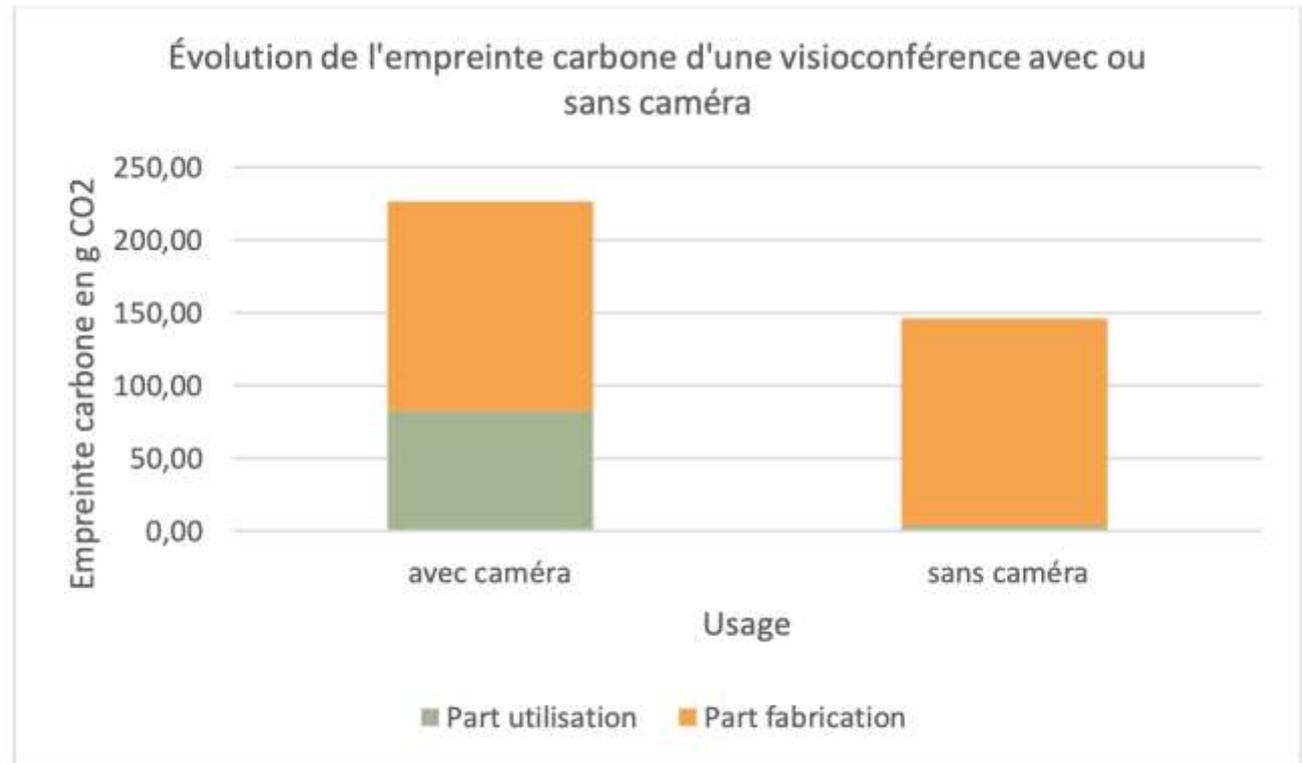


Figure 13 - évolution de l'empreinte carbone en fonction de l'utilisation de la caméra ou non

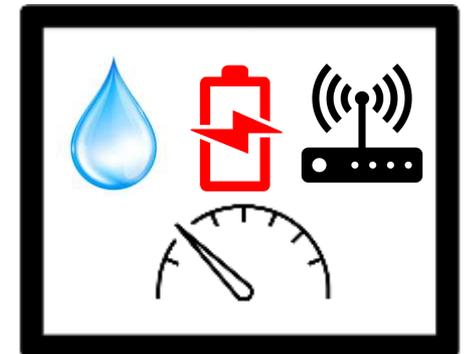
Source : Françoise Berthoud, Marion Ficher. Évaluation de l'empreinte carbone d'une visioconférence entre deux utilisateurs du service rendez-vous. [Rapport de recherche] CNRS - EcoInfo. 2022, pp.60. hal-03605638

Agir individuellement et collectivement

Limitons la frénésie numérique ! Mesurons nos impacts !

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

- Réduire la quantité de matériel
- Augmenter la durée de vie, réutiliser, recycler
- Limiter les usages futiles
- Prendre soin de nos biens communs
- Informer les consommateurs



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU

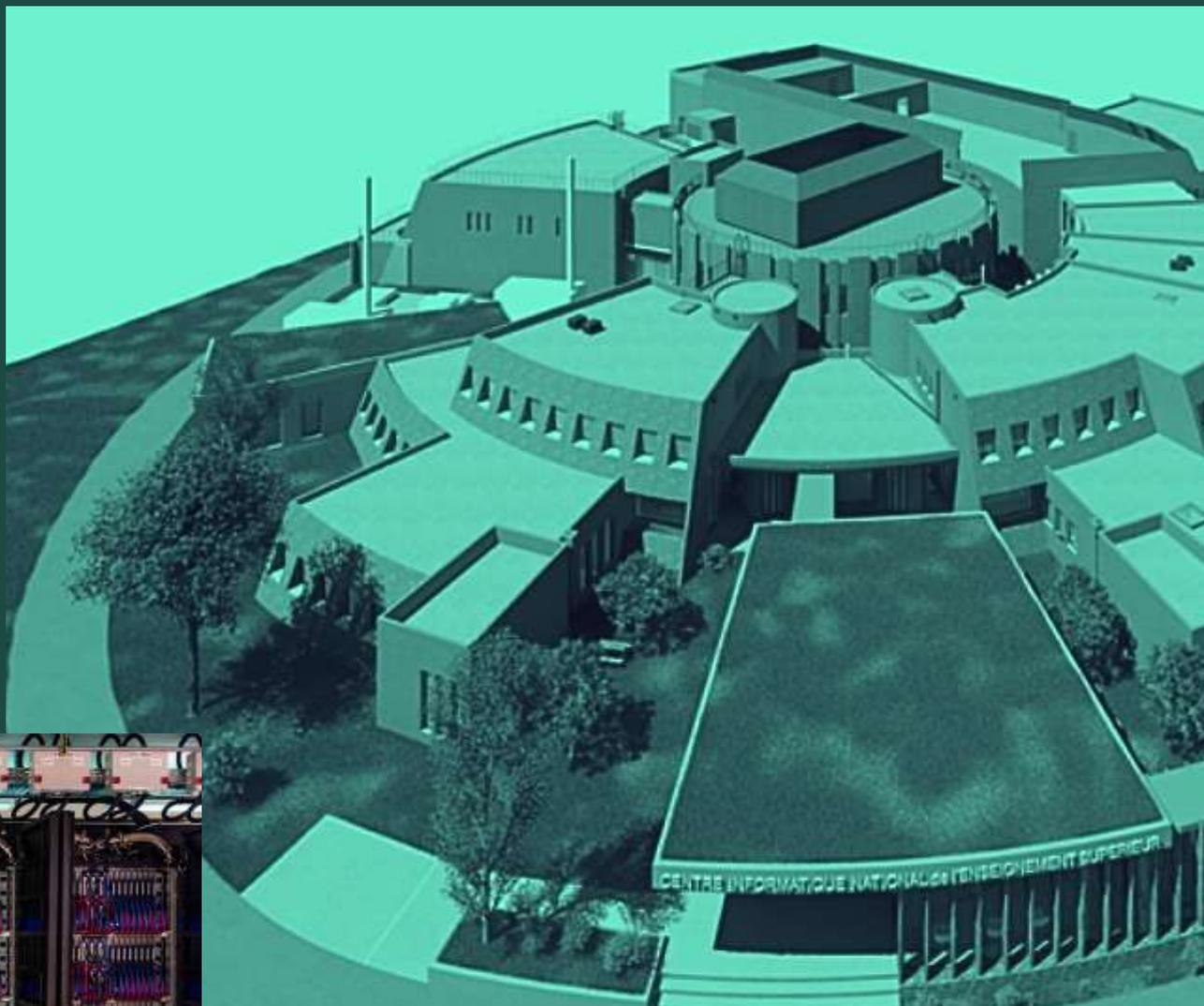


RESSOURCES

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable

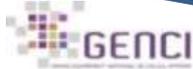
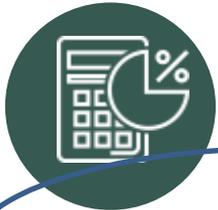
- Le monde numérique et ses impacts
- Empreinte du numérique
 - *Ressources*
 - *Energie*
- Agir pour un monde numérique responsable
- Centre de calculs et de données : exemple du CINES

45 ANS D'HISTOIRE



CALCUL SCIENTIFIQUE INTENSIF

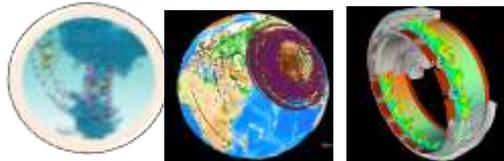
Les 3 missions nationales du CINES



CALCUL INTENSIF

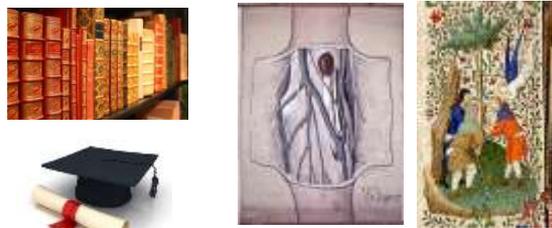
Le CINES héberge depuis 2023 le supercalculateur Adastra (75 Pflops) de rang mondial (HPE-CRAY-AMD)

- Architecture Identique au Top 1 mondial (Frontier, El Capitan)
- 11^{ème} au TOP500 (06/2023)
- 3^{ème} au GREEN 500 (3 fois consécutives)



ARCHIVAGE PERENNE

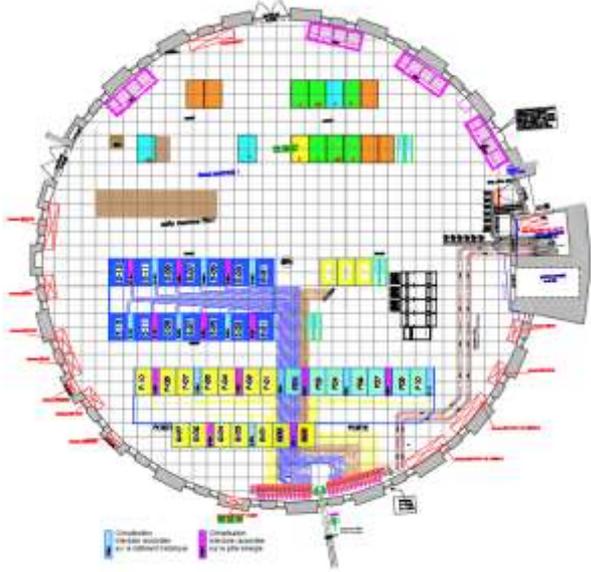
conservation des archives numériques
programme interministériel Vitam
(Valeurs Immatérielles Transmises aux Archives pour Mémoire)



HEBERGEMENT

Equipements stratégiques de partenaires qui bénéficient des infrastructures sécurisées du centre

24/24 7/7



Les données à archiver

- Données scientifiques – *résultats d'observations ou de calcul*
- Données patrimoniales – *pédagogiques, publications, ...*
- Données administratives – *archives intermédiaires*



Thèses de doctorat
françaises



Publications scientifiques



Documents patrimoniaux
numérisés



Vidéothèques et
banques
d'images



Rapports



Données de gestion

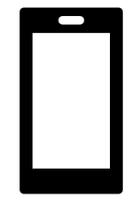
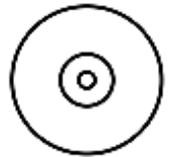
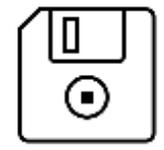
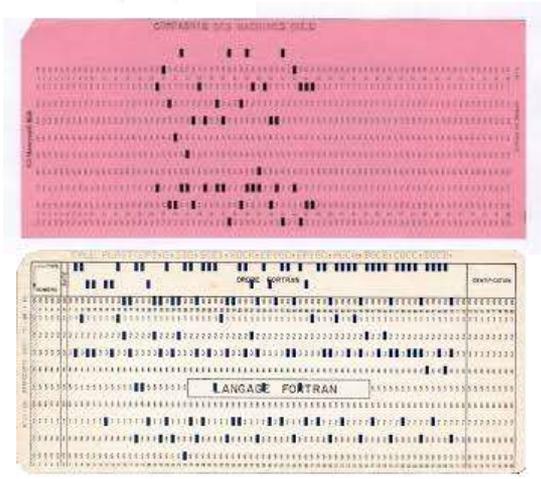


Résultats de simulation



Observations

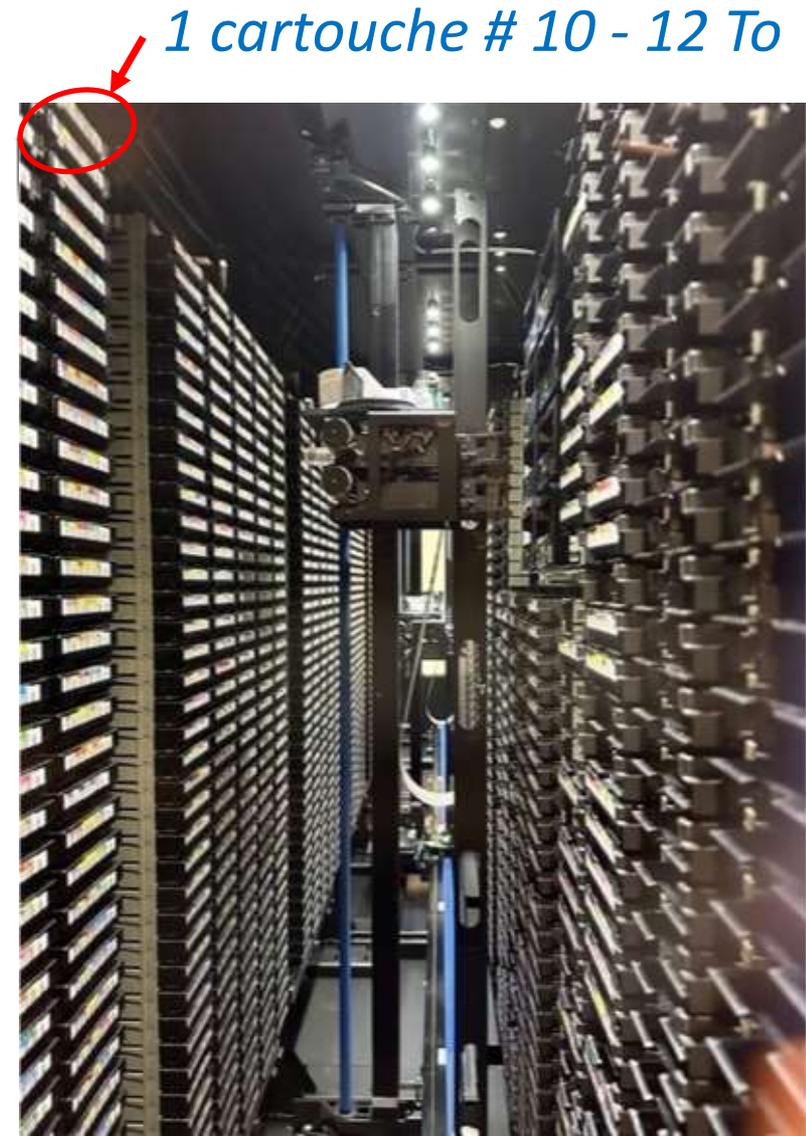
Préservation numérique à long terme



Données numériques : stockage, archivage



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

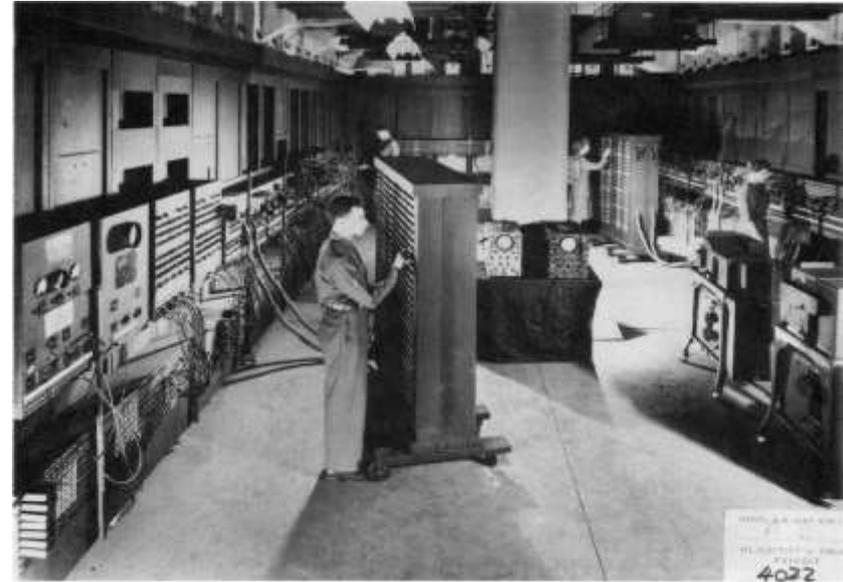


Calcul numérique intensif

- **1946 : ENIAC**

(Electronic Numeral Integrator and Calculator)

Premier calculateur électronique : *1500 relais 17468 tubes électroniques , 30 tonnes, 150 KW 5000 additions par seconde*



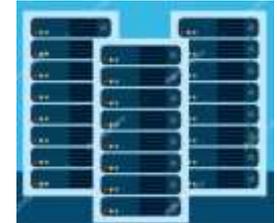
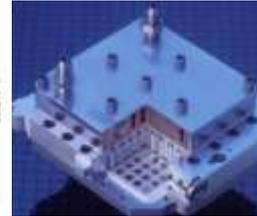
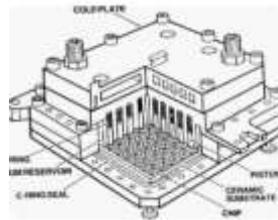
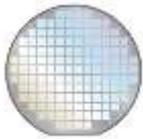
- **1980 calculateur CINES : 5 MIPS**

- **2023 : CINES ADASTRA 75 PF/s = 10 milliards CINES 1980 !**



QUELQUES CHIFFRES : Sciences* & Technologies

- En 1979, à Montpellier(: Université (USTL), LAM-LAMM, ISIM...) + IBM + ambition politique = CNUSC
- Un circuit intégré numérique = quelques milliers de transistors ayant une longueur de grille de l'ordre de 1 micron
- Un supercalculateur IBM au CNUSC = 6 MIPS *(en circuit court)*

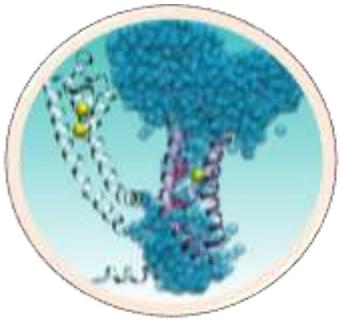


- En 2024 à Montpellier, (Université, LIRMM, CNRS, INRIA, INSERM, IRD, INRAE...) + CINES (EPA MESR) + GENCI
- Un circuit intégré numérique = > 100 milliards de transistors ayant une longueur de grille de l'ordre de quelques nm
- Un supercalculateur HPE-CRAY-AMD sur la route de l'exascale au CINES = 75 pétaflops

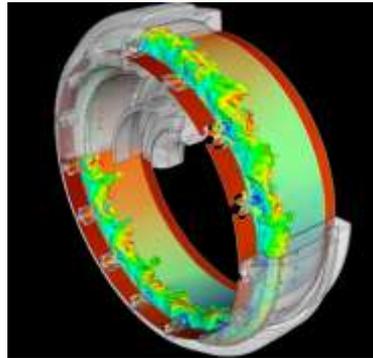


* ... Informatique, Microélectronique, Mathématiques, ... Physique, Chimie ...

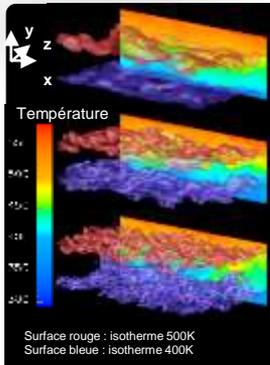
Simulations numériques



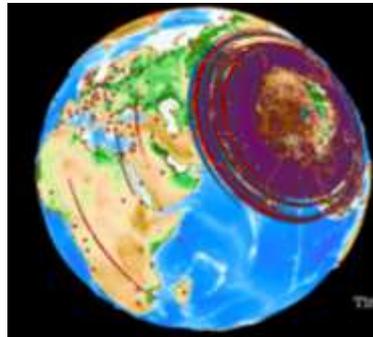
Chemistry, biology



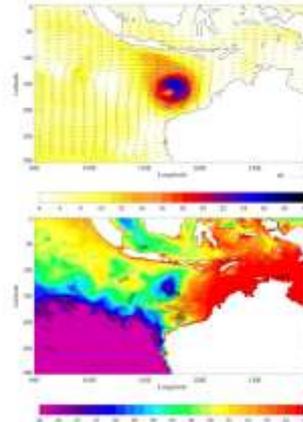
CFD w/o combustion



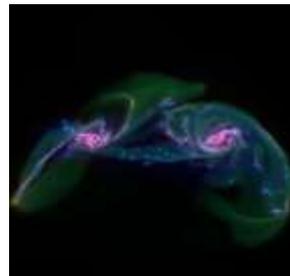
Physics



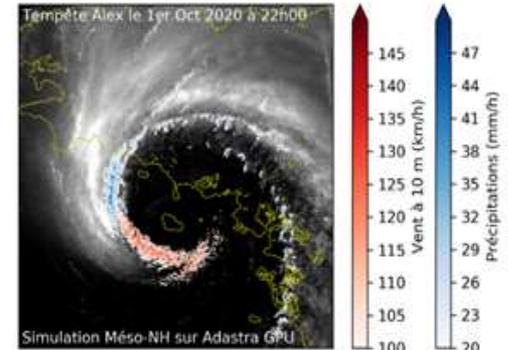
Geophysics



Climatology: ocean/atmosphere

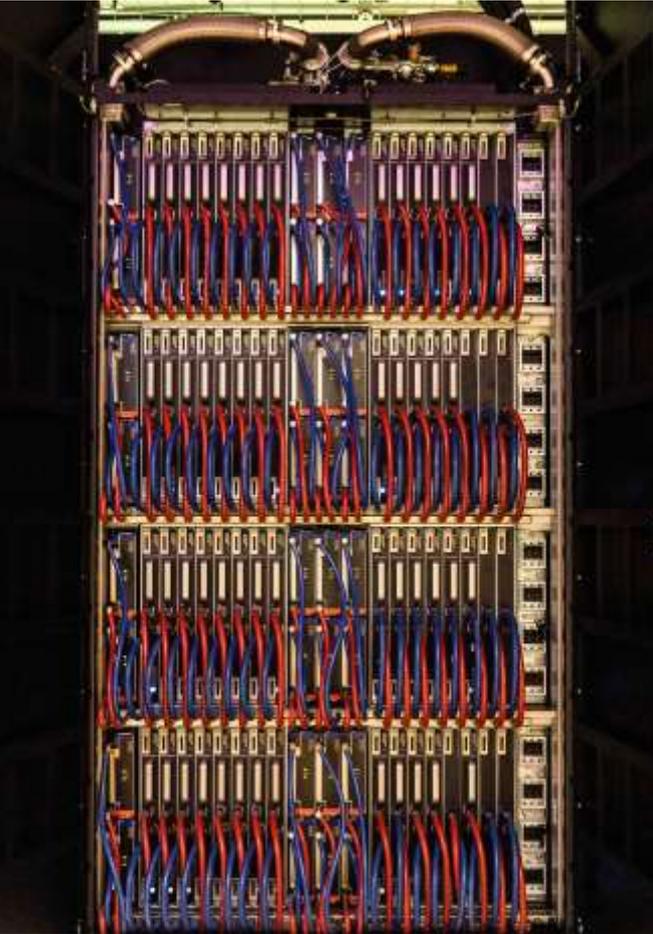


Astrophysics



Simulation Mésos-NH sur la partition GPU du supercalculateur ADASTRAS :
Tempête Alex le 1er Octobre 2020 à 22h00.

- Prédiction de phénomènes météorologiques extrêmes
- Simulation de la turbulence plasma dans les tokamaks
- ...
- IA : Grands modèles de langage spécifiques à un domaine
- ...



 Hewlett Packard
Enterprise

 CRAY

 AMD

Supercalculateur Adastra (2023)

75 Pflop/s



Partition GPU

356 noeuds GPU nodes :

- 8 AMD MI250X GCD avec **64G** HBM2/GCD

Même technologie que:

- **Frontier (#1 monde)** et **LUMI (#1 Europe)**

Partition CPU

544 noeuds scalaires:

- 2 AMD Genoa EPYC 9654 96 coeurs @ 2.4 GHz, 768G DDR5-5200 par noeud

Classements



June 2022	Nov 2022	June 2023	Nov 2023	June 2024
4	3	3	3	9



June 2022	Nov 2022	June 2023	Nov 2023	June 2024
10	11	12	17	20



Supercalculateur Aداstra-2 (2024)

Une technologie novatrice

- Convergence entre CPU et GPU
- Mémoire totalement unifiée

Une technologie frugale

- Très peu de composants
- Plus aucune barrette de RAM
- Diminution du taux de panne

Une technologie efficace

- **Très bon rendement énergétique** (classement green 500 à venir !)
- Des **accélération en IA observées jusqu'à x3** par rapport à la technologie précédente!
- Des **accélération en HPC observées jusqu'à x2.5** par rapport à la génération précédente

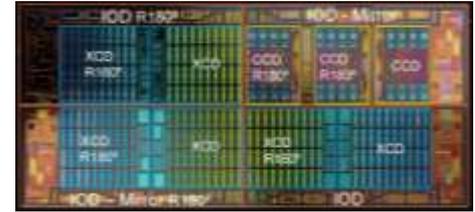
Une technologie "scalable"

- Possibilité de continuer à faire évoluer la configuration

Nouveau : partition APU

28 noeuds convergés :

- 4 APU AMD MI300A avec **128G HMB3 / GPU**
- Réseau 800Gb/s
- Même technologie que
- **El Capitan (sera #1 au monde en Nov 2024)**



L'APU AMD, convergence entre CPU et GPU



>13 Pflop/s
Soit ~90 Pflops/s pour Aداstra
1+2

Aداstra 1	Aداstra 2	Aداstra Next ?
75 Pflops	13 Pflops	300 Pflops?
1,3MW	0,084MW	2,1MW

Sobriété

Refroidissement eau tiède : 30°C en entrée, 45°C en sortie



Intégration de la chaleur générée au réseau de chaleur Montpellier Nord ?

INFRASTRUCTURES

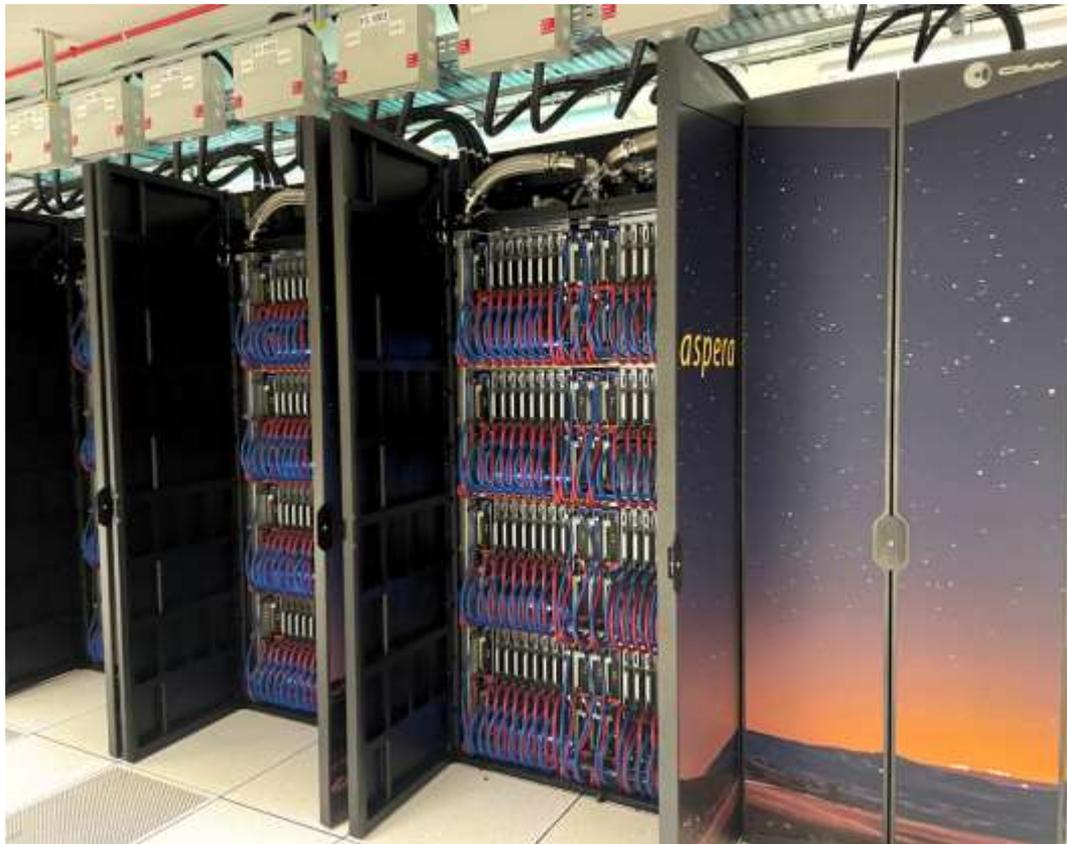


5 salles machines (1500m²)

Highly-secured datacenter, available 24h/24, 7d/7
ZRR: high-level security (physical+virtual)

- **2 lignes ERDF (2,6 MW et 10 MW)**
- **Double alimentation ondulée et sécurisée par groupe électrogène**
- **Deux chaines de production de froid**
- Copies et sauvegardes dans des salles distinctes + copie à distance
- **Capacités de stockage (PetaOctets)**
- **Des accès réseau performants.**





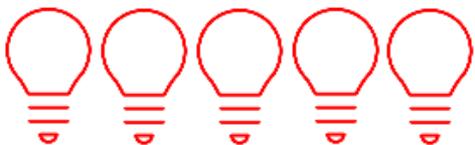
Super calculateur ASTRAL
= $74 \cdot 10^{15}$ opérations/s
(74 millions de milliards)

1,2 MW

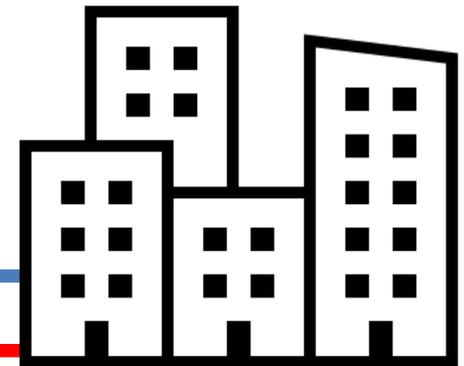
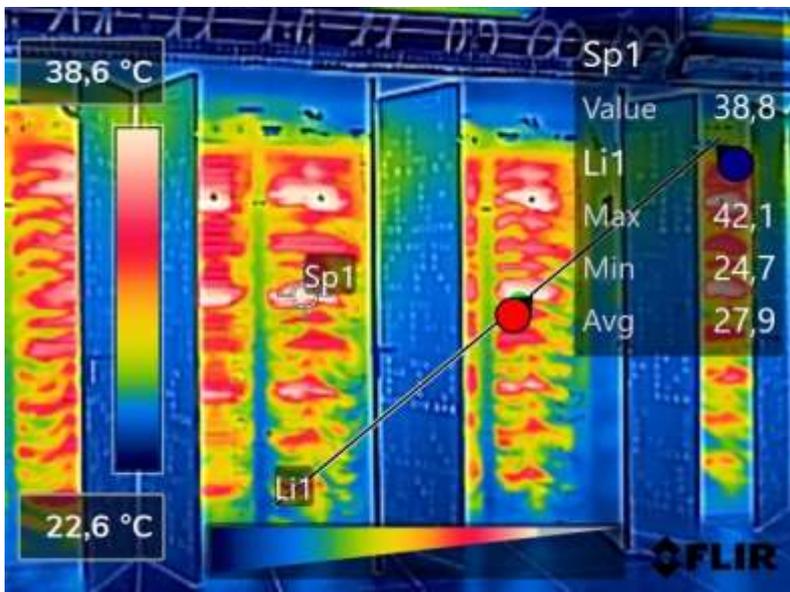
300 000

Mutualisation
Nationale



20 W = 

- MUTUALISATION
- Optimisation de l'efficacité du refroidissement
- Récupération de la chaleur : chauffage bâtiments
- Mesures de consommation électrique : supervision, optimisation
- Optimisation des calculs : bilan énergie et GES par calcul
- Gestion des données (stockage, archivage)





Supercalculateur : état de l'art

- EL CAPITAN = 2 exaflops (APU)
- FRONTIER = 1 exaflops (GPU)
- ADASTRA 2 : 1 lame = 1 pF
- ADASTRA 2 : 1 rack = 50 pF
- Energie
 - Objectif : # 100 pF # 1 MW
 - Objectif : # 100 GF # 1W
 - Objectif : 1 exaFlops # 10 MW
- Refroidissement : eau tiède
- Mutualisation interne et externe
- Souveraineté
- Sobriété : récupération de chaleur Retour utilisateurs (bilan énergétique et carbone d'un calcul)
- *Ordre de grandeur 200 000 h CPU = 1 tonne CO2 eq. = 1 AR NY Paris avion (source GdR EcoInfo 202)*

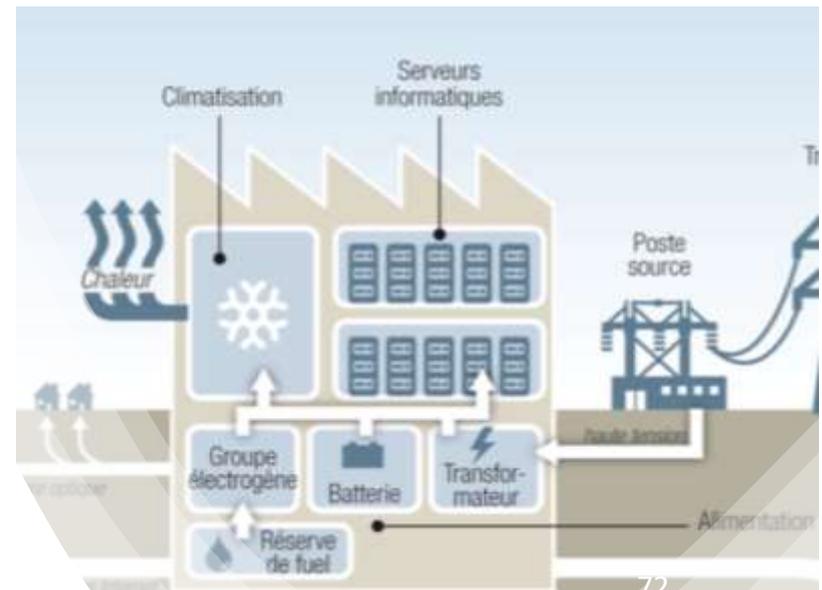


Data center GAFAM & Centre de calcul intensif

- regroupement d'infrastructures : ordinateurs centraux, serveurs, baies de stockage, équipements réseaux et de télécommunications...
- Optimisation du refroidissement des serveurs,
- coût énergétique
- coût d'hébergement



- Refroidissement : eau tiède
- Mutualisation interne et externe
- Souveraineté



Données créées mondialement (*nouvellement générées, capturées, copiées ou consommées*)

- 90 % des données mondiales ont été générées au cours des deux dernières années seulement.
- 2010 : **2 zettaoctets** de données générées en une année
- 2023 : **120 zettaoctets**
 - ✓ 328 millions de téraoctets de données créées chaque jour
 - ✓ Par terrien et par jour : 41 milliards d'octets = 41 Go = 0,41 To = 10 clés USB 
- 2025 : projection de 181 **zettaoctets**
 - Les trois quarts du trafic de données internet mondial
 - ✓ *Vidéos* : 54 %
 - ✓ *Réseaux sociaux* : 13 %
 - ✓ *Jeux* : 10 %

Zetta = 10^{21}

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable

- Le monde numérique et ses impacts
- Empreinte du numérique
 - *Ressources*
 - *Energie*
- Agir pour un monde numérique responsable
- Centre de calculs et de données : exemple du CINES

IMT Saclay 24-9-2024

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable



Pr. Michel ROBERT
Université de Montpellier
Chaire Polytech - ISIA



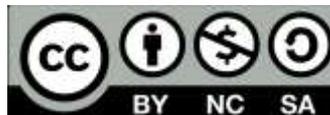
« Responsabilité, éthique et impacts des Technologies Numériques »

Directeur du CINES

Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur



Direction générale
de l'enseignement supérieur
et de l'insertion professionnelle
Direction générale
de la recherche
et de l'innovation





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, ...*
- Distinguer les enjeux, les émotions et la raison (ex: IA)



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>



STREAMING VS CD OU DVD, LISEUSE VS LIVRE PAPIER : QUELS SONT LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DIGITALISATION DES SERVICES CULTURELS ? (Ademe, 2022)

Séance du 29 avril 2024

**La sobriété pour un monde numérique soutenable :
défis, limites et solutions**

Michel ROBERT

Professeur à l'Université de Montpellier
Directeur du Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur
Membre de l'Académie des Sciences et des Lettres de Montpellier

Quelques grandeurs physiques du monde numérique

- **Le nanomonde numérique** Micro 10^{-6} Nano 10^{-9}
 - Longueur de grille d'un transistor MOS, fabriqué en 2024 : 3 à 5 nm
 - Nombre de transistors d'un circuit intégré numérique en 2024 : > 50 milliards
- **Le monde numérique** : Octet (byte) : 11010001
 - ✓ **Kilo** 10^3
 - ✓ **Méga** 10^6 (million)
 - ✓ **Giga** 10^9 (milliard)
 - ✓ **Téra** 10^{12} (mille milliard)
 - ✓ **Péta** 10^{15} (million de milliards)
 - ✓ **Exa** 10^{18} (milliard de milliards)
 - ✓ **Zetta** 10^{21}

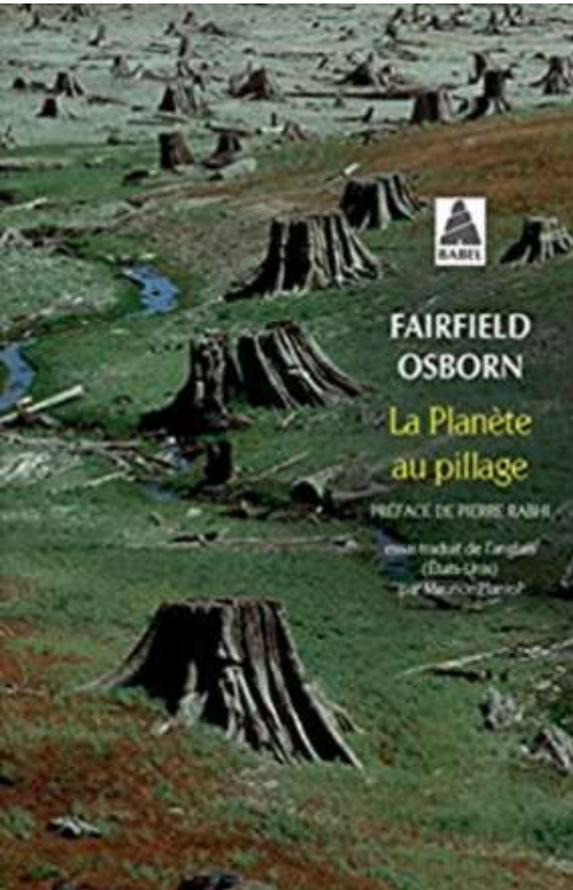
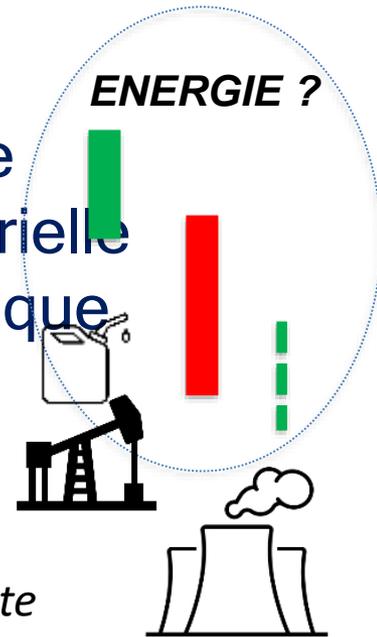
- Livre = x **Kilo**-octets
- Image = x **Méga**-octets
- Film = x **Giga**-octets

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

➤ *1 Zetta octets de données*

Activités humaines et pollutions : bilan

- - 12 000 ans, Homo sapiens & révolution agricole
- XIX^e siècle : basculement vers une société industrielle
- XX^e siècle : basculement vers une société numérique
- XXI^e siècle : impacts de la période 1850-2025 ?



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

- 2022 : Sixième rapport d'évaluation du GIEC

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Nations unies)

Quelles solutions face au réchauffement climatique ?

- **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**).



ENERGIE PRIMAIRE



GAZ À EFFET DE SERRE



EAU



RESSOURCES

- 13,8 milliards Apparition de la matière et de l'énergie. *Début de la physique.* Formation des
et des molécules. *Début de la chimie.*

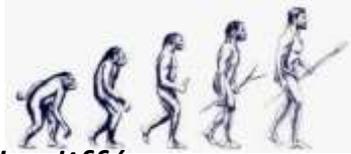
- 4,5 milliards Formation de la planète Terre.

- 3,8 milliards Émergence des organismes. *Commencement de la biologie.*

- 6 millions Dernière ancêtre commun des humains et des chimpanzés.

- 2.5 millions Les humains évoluent en Afrique. *Premiers outils de pierre.*

- 2 millions Propagation des humains de l'Afrique vers l'Eurasie. *Évolution de différentes
espèces humaines.*



- 400000 Les Néandertaliens commencent à évoluer en Europe et au Moyen-Orient.
Usage régulier du feu.

- 300000 Homo sapiens évolue en Afrique.

- 70000 **Révolution cognitive.** Émergence de la narration. Commencement de l'Histoire.
Sapiens se répand hors de l'Afrique.

- 50000 Sapiens s'établit en Australie. **Extinction de la mégafaune australienne.**

- 30000 Extinction des Néandertaliens. Homo sapiens est la seule espèce humaine survivante.

- 15000 Sapiens s'établit en Amérique. **Extinction de la mégafaune américaine.**

- 12000 **Révolution agricole. Domestication des plantes et des animaux. Sédentarisation.**

- 5000 Premiers royaumes, **naissance de l'écriture, première monnaie.**

- 2500 Invention des pièces de monnaie. Empire perse.

- 2000 Empire des Han en Chine. Empire romain en Méditerranée.

- 500 **Révolution scientifique.** L'humanité commence à acquérir un pouvoir sans précédent. Les
Européens entreprennent de conquérir l'Amérique et les océans. Invention de l'**imprimerie** (1450
Gutenberg)



- 200 **Révolution industrielle.** L'État et le marché remplacent la famille et la communauté.
Extinction massive des plantes et des animaux.



Le monde numérique

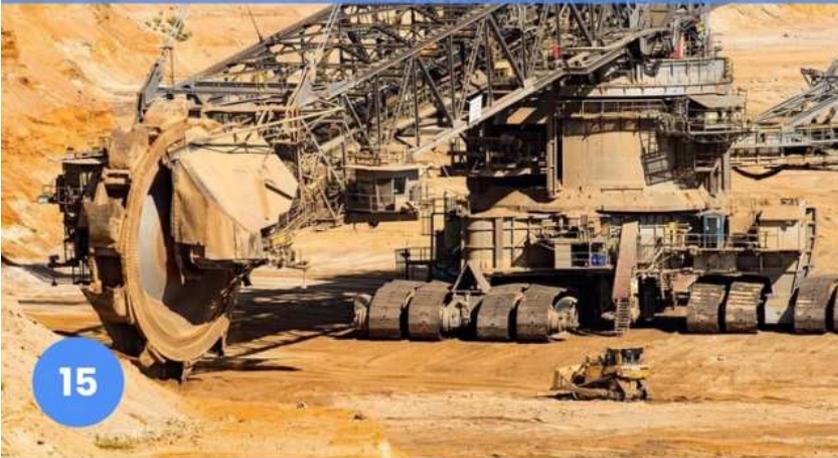
- Le numérique : du Nano 10^{-9} au Zetta 10^{21} :
Sciences, Technologies, Usages et Impacts
- Monde numérique = des objets électroniques
« matériel-logiciel » composé de circuits intégrés + des programmes informatiques + des communications ...
- Fonctionnement : ordinateurs, tablettes, smartphones, objets connectés, terminaux,...
- infrastructures nécessaires : réseaux, data centers, ...
- Usages : (télé)-Travailler, Calculer, Commercer, S'informer, Se former, Communiquer, Partager... se divertir

Communication ou connexion ?

*Le numérique nous rapproche du lointain,
mais ne nous éloigne t'il pas du proche ?*



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



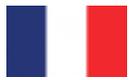
8

© Crédits photo : Muntaka Chaso

RS



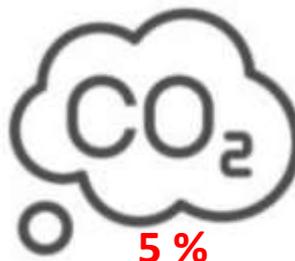
Recyclage Electronique en Inde
Composés toxiques : Mercure, plomb, Arsenic
< 20% des déchets Electronique recyclés
(Europe 40%) 55 Millions de Tonnes/an



Impacts du « NUMERIQUE »

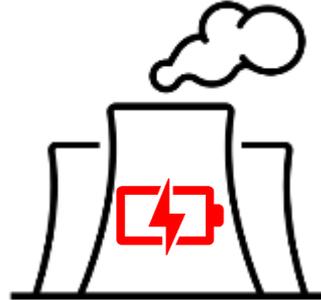


- FABRICATION
- UTILISATION
- FIN DE VIE



5 %

GES



10 %



10 %

Millions de tonnes
de ressources

Milliards de tonnes
de terres excavées

Millions de tonnes
de déchets

