



ARCHI 2025 Sète, Domaine du Lazaret, 12 mars 2025
école thématique

'architecture des systèmes matériels, logiciels embarqués, méthodes de conception associées

Sustainable Computing

Sobriété numérique et intelligence artificielle

Pr. Michel ROBERT

Université de Montpellier

Directeur du **CINES** (Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur)

Chaire Polytech – ISIA « *Responsabilité, éthique et impacts des Technologies Numériques* »

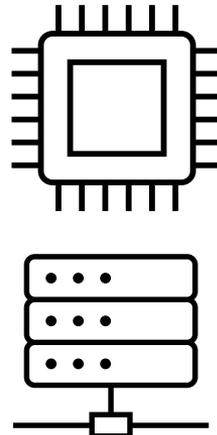
Président de la section Sciences de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

Membre honoraire de l'Institut Universitaire de France




**MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

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



RE:INE:
RESPONSABILITE. ETHIQUE. IMPACT. NUMERIQUE

 **POLYTECH[®]
MONTPELLIER**



LIRMM

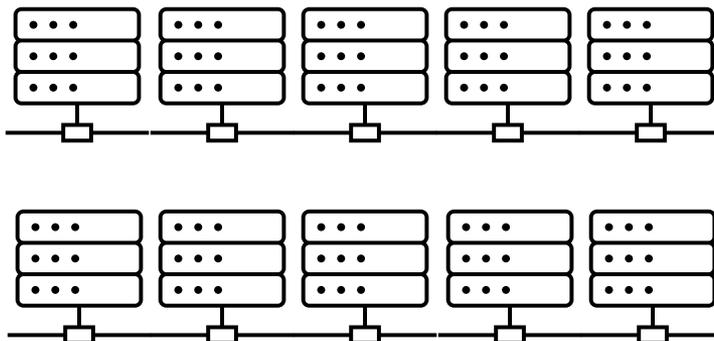


Les 4 piliers de la chaire :

- **1 - Formation et Education** : définir un programme de formation au sein de Polytech Montpellier sur la responsabilité sociétale du numérique
- **2- Territoire et Citoyen** : volonté de rayonner sur le territoire, en s'adressant également aux citoyens dans le cadre de débats, de conférences grand public, ou en lien avec les collectivités locales
- **3 - Innovation** : faire le lien entre formation-entreprises-recherche pour développer de nouvelles innovations sur le territoire.
- **4 - Inclusion numérique** : promouvoir l'utilisation d'un numérique utile, inclusif, permettant de favoriser l'accessibilité numérique.



**MUTUALISATION
DES EQUIPEMENTS**



*CENTRALISÉ
ou
DISTRIBUÉ ?*

**HEBERGEMENT
RESEAUX
CALCUL
STOCKAGE**

**SOUVERAINETÉ
SECURITÉ
SOBRIETÉ**

**ENERGIE
EAU**

DATA CENTER

**CENTRE DE
DONNÉES ET CALCULS**

HPC
&
IA



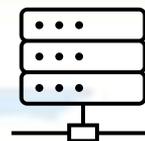
PUBLIC ou PRIVÉ ?

LOCALISATION ? (*France, Europe, ...*)

site de l'utilisateur pour son usage, hébergement par un tiers,
hébergement et serveurs gérés par un tiers, cloud, edge, hyperscale

CINES = Hébergement de serveurs et de supercalculateurs (MESO & ADASTRA)

LES COMPOSANTS FONCTIONNELS D'UN DATA CENTER



externe

Réseau de très haute tension
réseau RTE et/ou Enedis
selon taille du data center

Poste de transformation
sur site, pour data centers
de grande taille

Alimentation électrique
généralement multipliée
pour redondance

Alimentation en eau
pour refroidissement
par réseau urbain
ou pompage d'eau
souterraine/de surface

Réseau de chaleur urbain
permettant d'utiliser
la chaleur résiduelle,
dite fatale (*optionnel*)

Partie Gestion & Logistique

avec accueil, bureaux, zone logistique, parking
et équipements de sécurité plus ou moins
importants, selon taille et type du data center.

interne

**Partie technique
de refroidissement**
climatisation sur toiture
ou à l'extérieur du bâtiment.

Partie informatique
salles serveurs, souvent
regroupés en *IT Pods*
(chacun, par exemple, dédié
à une entreprise).

**Partie technique
électricité et secours**
contenant groupes
électrogènes, batteries,
onduleurs, transformateurs
et réserves de fioul



Centre Informatique National de l'Enseignement supérieur

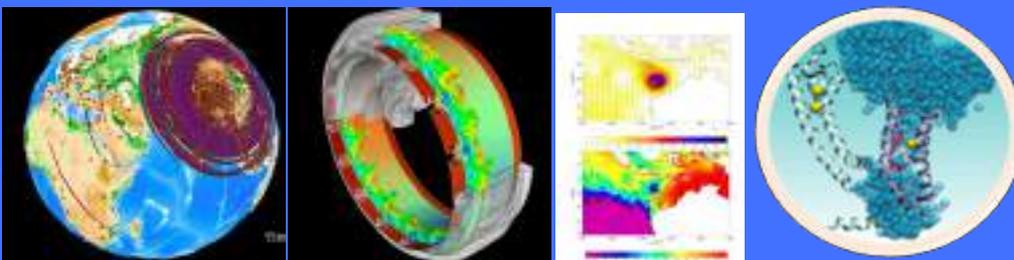
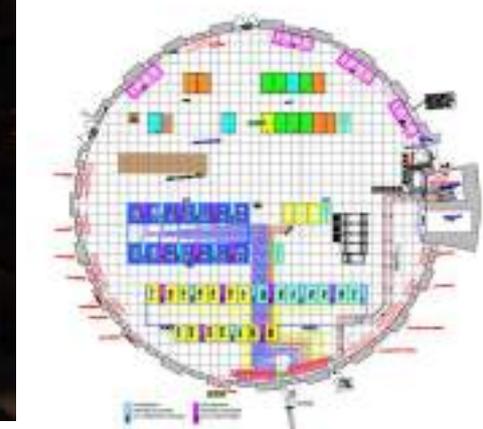
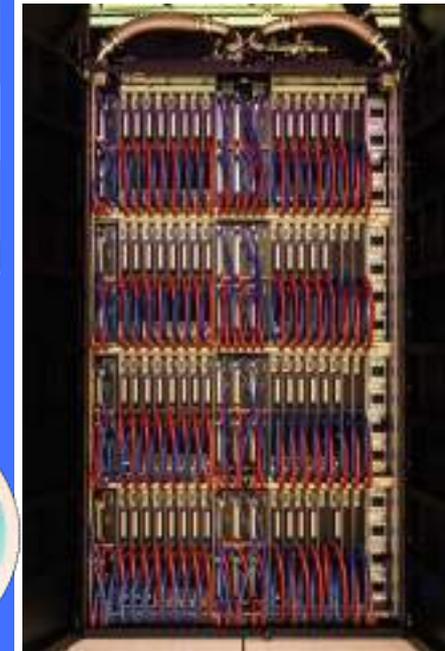
Calcul intensif

Hébergement

Archivage pérenne



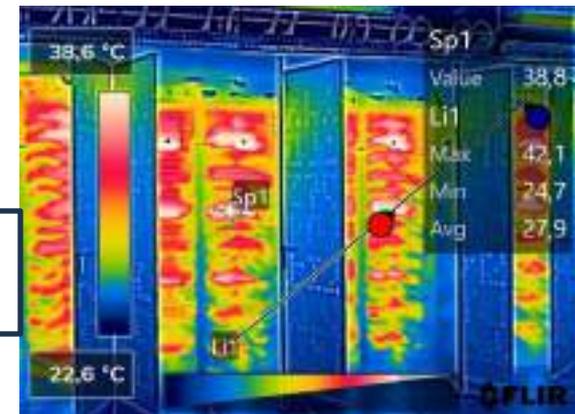
CENTRE INFORMATIQUE NATIONAL DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR



- ✓ Etablissement public sous tutelle du MESR, créé en 1980, basé à Montpellier
- ✓ Fournit des ressources, services et expertises avec 3 activités principales :
 - **Calcul intensif**
 - **Archivage pérenne des données**
 - **Hébergement de serveurs**
- ✓ **Un supercalculateur de niveau mondial, Aداstra (2023) équipé de partitions CPU et GPU adaptées aux enjeux de l'IA**
- ✓ Centre de référence pour le calcul intensif responsable (sobriété énergétique...)



ADASTRA : 11e du Top 500 (2023)
3e au Green 500 mondial



CINES = 5 salles machines (1 500 m²), 2 lignes ERDF (2,6 MW et 10 MW), **Double alimentation ondulée et sécurisée** par groupe électrogène, **Deux chaînes de production de froid**, Copies et sauvegardes dans des salles distinctes + copie à distance, **Capacités de stockage de plusieurs PetaOctets**, Des accès réseau performants.

Sobriété numérique et intelligence artificielle

Peut-on concilier performance, sobriété, souveraineté et éthique au service d'une société numérique durable et responsable ?

Sobriété numérique et intelligence artificielle

Peut-on concilier performance, sobriété, souveraineté et éthique au service d'une société numérique durable et responsable ?

Une trajectoire soutenable ou **insoutenable** ?

- RESSOURCES
- ENERGIE
- IMPACTS
- USAGES

REGULATIONS ?

Sommet de l'IA : le fonds canadien Brookfield va investir 20 milliards d'euros en France, notamment pour développer ses data centers

Avec 1 gigawatt de puissance de calcul maximale, le projet de Brookfield à Cambrai fait jeu égal avec le data center prévu par les Emirats arabes unis sur un « campus » axé sur l'IA.

Le Monde avec AFP

Publié aujourd'hui à 08h13 · Lecture 1 min.

HAUT CONSEIL
pour le CLIMAT

TENIR LE CAP
DE LA DÉCARBONATION,
• PROTÉGER LA POPULATION

RAPPORT ANNUEL 2024
DU HAUT CONSEIL POUR LE CLIMAT
JUN 2024



FRANCE 2030
La France de 2030 se prépare aujourd'hui !



Consommation énergétique des centres de données (phase d'utilisation) (TWh)

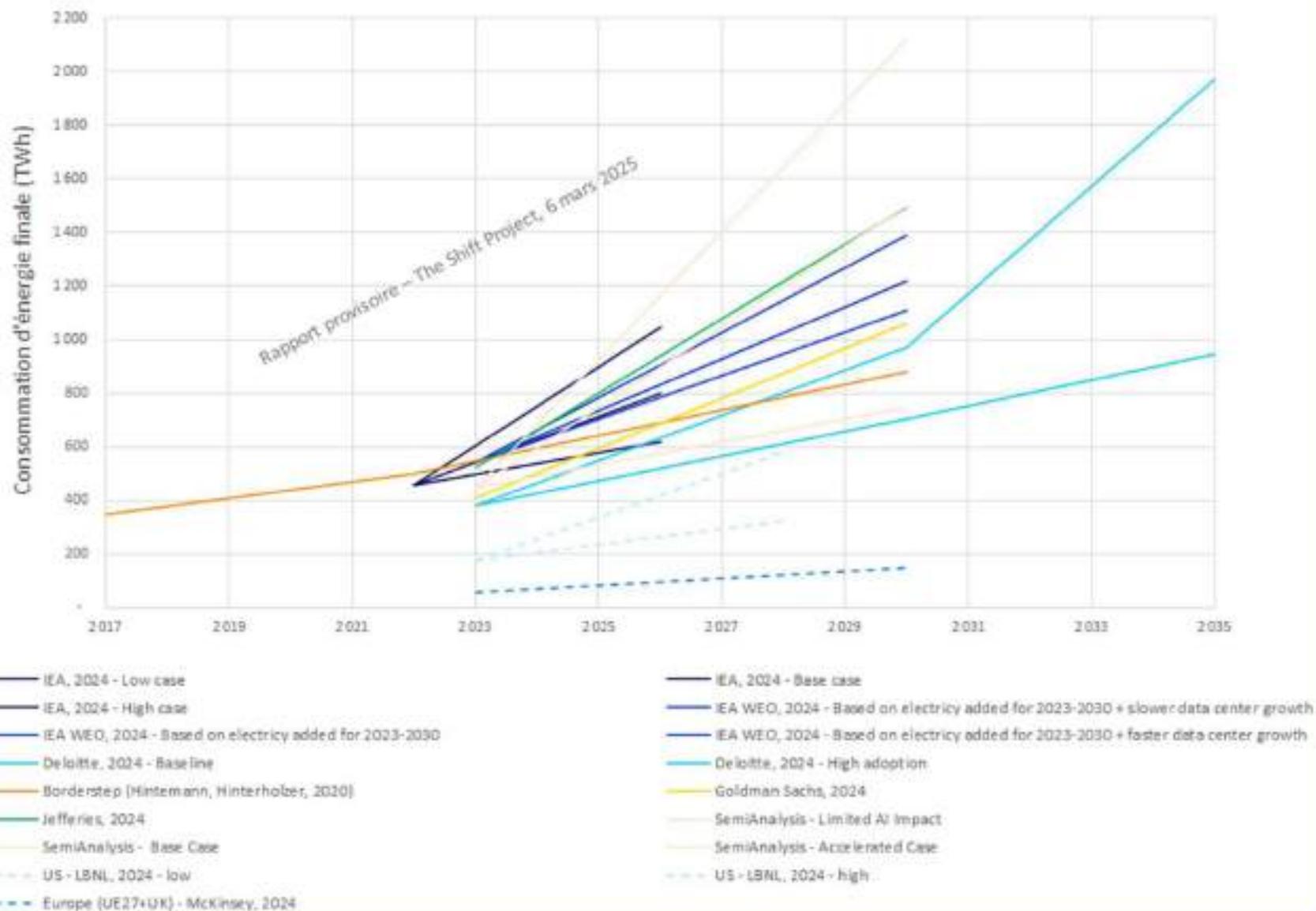


Figure 8 - État des lieux des prévisions de consommation électrique annuelle des centres de données mondiaux. Sources : (Deloitte, 2024; Goldman Sachs, 2024; Hintemann R. & Hinterholzer S., 2020; IEA, 2024a, 2024b; Jefferies, 2024; LBNL et al., 2024; McKinsey & Company, 2024; SemiAnalysis et al., 2024)

Mix électrique français

Source : RTE



Nucléaire

361,7 TWh



Hydrolique

74,7 TWh



Eolien

46,6 TWh



Solaire

23,3 TWh



Gaz

17,4 TWh



Thermique renouvelable

10,2 TWh



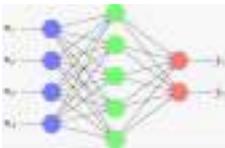
Autres

2,6 TWh

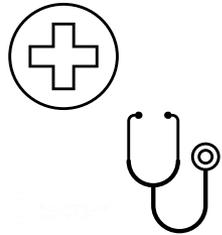
Qu'est-ce que l'IA ?

Informatique, statistiques, algèbre, sciences cognitives, neurobiologie computationnelle (réseaux neuronaux artificiels) ...

- L'intelligence artificielle (IA) est permet aux machines informatiques de simuler l'apprentissage, la compréhension, la résolution de problèmes, la prise de décision, la créativité et l'autonomie de l'être humain.
- Les applications et les appareils équipés d'une IA peuvent voir et identifier les objets, sont capables de comprendre le langage humain et d'y répondre.
- Le machine learning (ML) et l'apprentissage profond ont permis l'émergence des IA génératives, capables de générer du texte, des images, des vidéos ...



1950's	 Artificial intelligence (AI) <i>Human intelligence exhibited by machines</i>
1980's	 Machine learning <i>AI systems that learn from historical data</i>
2010's	 Deep learning <i>Machine learning models that mimic human brain function</i>
2020's	 Generative AI (Gen AI) <i>Deep learning models (foundation models) that create original content</i>



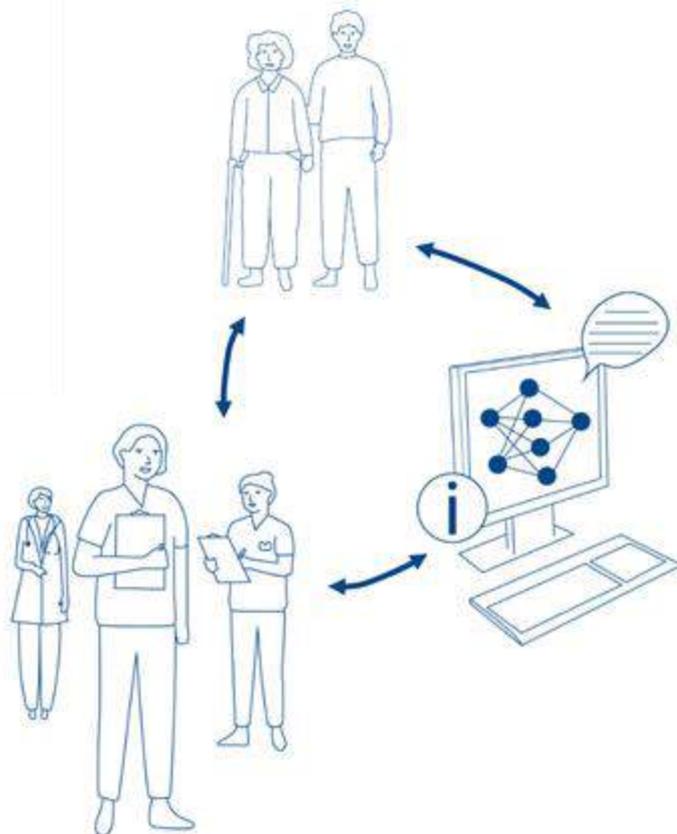
DONNÉES DE SANTÉ

PRODUITES DANS LE CADRE

du soin

de la recherche

de la gestion hospitalière



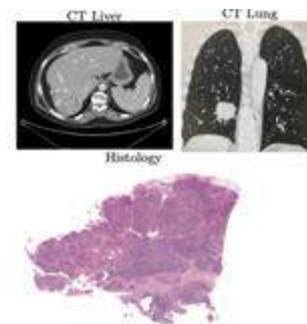
Alliance Santé – IA



Input

Histoire clinique du patient

Base de connaissances



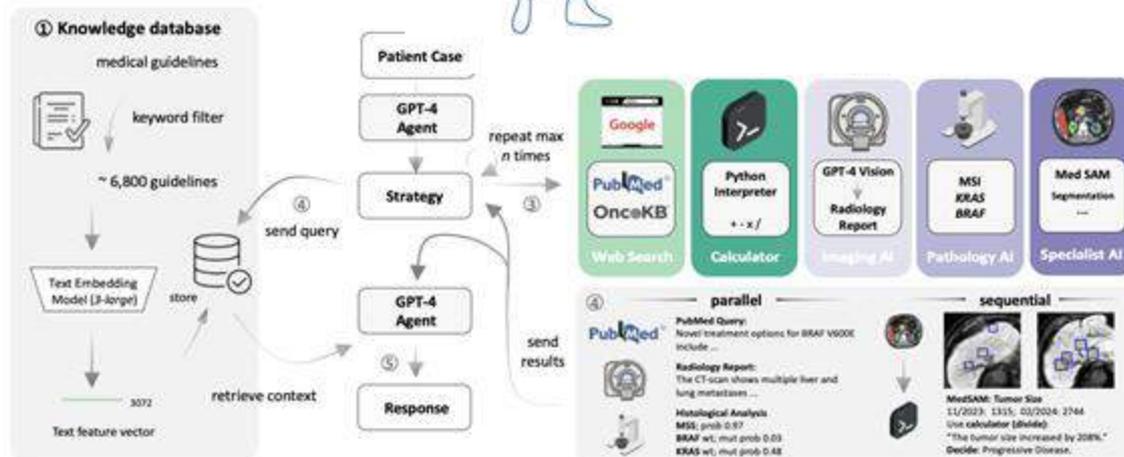
Assistant IA

Output

Proposition thérapeutique argumentée (plan de traitement, etc.)

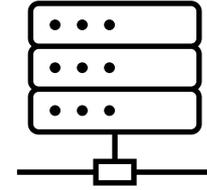
Evaluation par experts humains (11 cas)

Utilisation correcte des outils : 97%
Conclusions correctes : 93.6%
Recommandations complètes : 94% et utiles 89.2%
Documenté sur une littérature pertinente : 82.5%

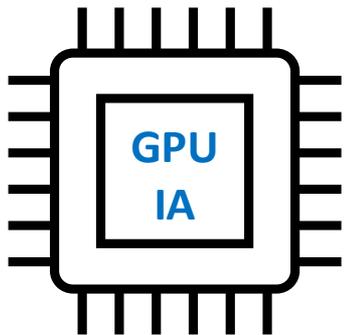


Les nouveaux usages et leurs impacts : Intelligence Artificielle

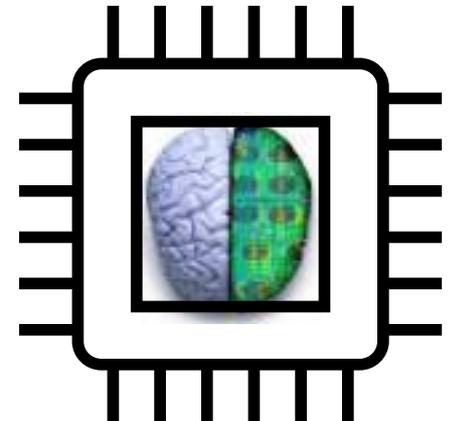
Frugalité et sobriété



- les IA génératives nécessitent des stockages de données et des calculs complexes dans des data centers énergivores
- Cela conduit à s'interroger sur la :
 - ✓ *taille des modèles (LLM générique ou SML spécialisé) pour l'apprentissage et les inférences*
 - ✓ *précision des calculs nécessaires (de 64 à 4 bits)*



- Précision paramétrable et reconfigurable ?
- Partitions adaptées ?



Le déploiement massif de l'IA induits de nouveaux usages et besoins

Constats

- le développement des IA génératives statistiques industrielles (LLM, ChatGPT, ...) implique une augmentation des moyens de calcul en amont (construction, entraînements) et en aval (usage, inférences).
- Les IA génératives ajoutent de nouvelles couches d'usages et de besoins :
 - *Nouvelles architectures, capacités de traitement et de stockage des données*
 - *Nouveaux terminaux pour pouvoir rendre des services d'IA locaux*
 - *Nouveaux services, effets d'obsolescence, effets rebonds ...*

Le déploiement massif de l'IA induits de nouveaux usages et besoins

Constats

- le développement des IA génératives statistiques industrielles (LLM, ChatGPT, ...) implique une augmentation des moyens de calcul en amont (construction, entraînements) et en aval (usage, inférences).
- Les IA génératives ajoutent de nouvelles couches d'usages et de besoins :
 - *Nouvelles architectures, capacités de traitement et de stockage des données*
 - *Nouveaux terminaux pour pouvoir rendre des services d'IA locaux*
 - *Nouveaux services, effets d'obsolescence, effets rebonds ...*

Conséquences

- **L'évolution du numérique et depuis 2023 de l'IA est trop rapide en regard des délais structurels de transformation des infrastructures électriques**
- **L'IA, le cloud computing, les crypto-monnaies, multiplient les besoins en data centers et crée une contrainte forte et imprévue sur la production d'électricité et son transport**

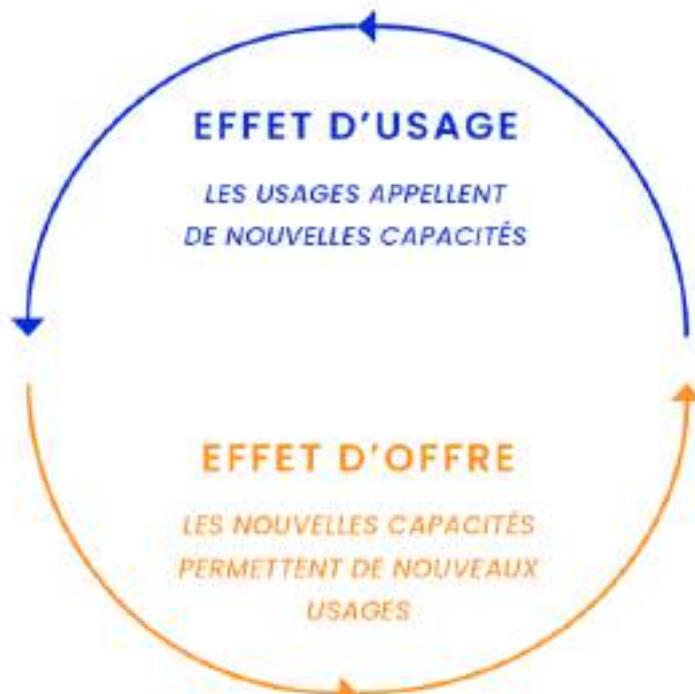
NOS USAGES & NOS INFRASTRUCTURES

sont les deux faces d'une même dynamique



Centre de données

hyperscaler, edge, terminaux plus puissants, processeurs, processeurs graphiques



Usages

Voix, SMS, MMS, vidéos, HD, 4K, 8K, mondes virtuels, IA générative, IA



LE THINK TANK
DE LA TRANSITION
BAS CARBONE

**Intelligence artificielle, données, calcul :
quelles infrastructures dans un monde décarboné ?**

Training compute of frontier models



Nombre d'opérations nécessaires pour entraîner un modèle d'IA

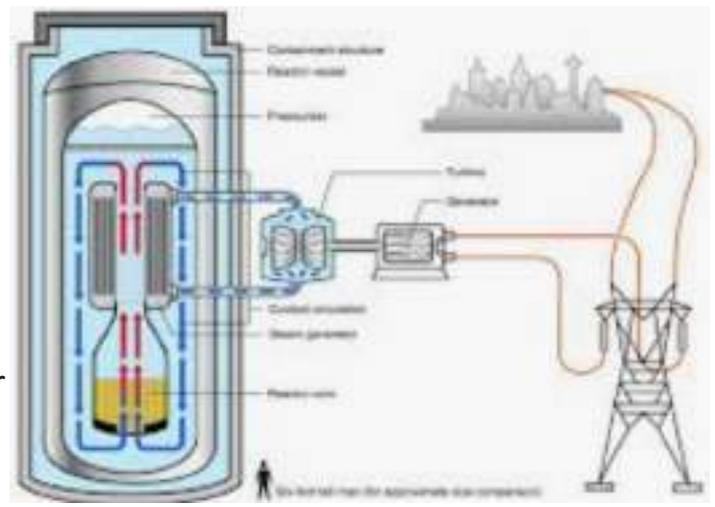


1 exaflop = 10^{18} ----->
 GPT4 = 10^{25}
 Soit $\times 10^7$ s (4 mois en FP64)
 (# 1 mois en FP16)

Source : Training Compute of Frontier AI Models Grows by 4-5x per Year
 Jaime Sevilla et Edu Roldán, Epoch AI



Three Mile Island (USA) & Data center Microsoft



SMR
 petits réacteurs nucléaires modulaires de faible puissance (20 à 300 MW)

Guerre en Ukraine : Donald Trump lorgne sur les métaux précieux ukrainiens en échange de l'aide américaine

A l'automne dernier, Kiev avait ouvert la porte à une "exploitation commune des ressources stratégiques" de l'Ukraine avec ses partenaires internationaux.

franceinfo avec AFP
France Télévisions

Publié le 03/02/2025 23:27 Mis à jour le 03/02/2025 23:49

franceinfo:
Votre opinion compte pour nous.

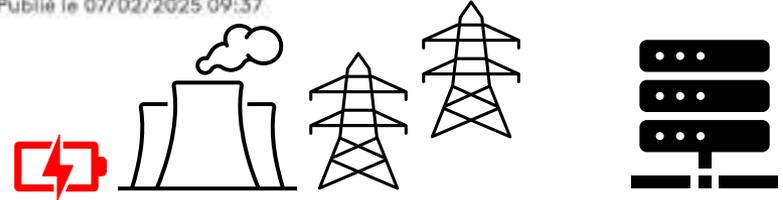
Intelligence artificielle : les Emirats arabes unis vont construire un "data center" géant en France, selon l'Elysée

Ce projet "représente des investissements d'un ordre de grandeur de 30 à 50 milliards d'euros", a précisé la présidence.

franceinfo avec AFP
France Télévisions



Publié le 07/02/2025 09:37



20 Minutes avec AFP
Publié le 06/02/2025 à 23h32 • Mis à jour le 07/02/2025 à 10h06

1 GW ?

Quel est le lien entre votre téléphone, un métal rare et la guerre en RD Congo ?



GETTY IMAGES

Damian Zane
BBC News

4 février 2025

Une trentaine de sites pour de futurs data centers



Parallèlement, la ministre française en charge de l'IA, Clara Chappaz, a révélé que 35 sites « prêts à l'emploi » sont déjà identifiés pour accueillir de futurs centres de données en France. Ces infrastructures couvriront environ 1.200 hectares, avec une annonce de leur emplacement prévue pour le début de la semaine prochaine.



Les émissions de gaz à effet de serre générées par le numérique sont pour 25 % dues aux data centers, 26 % dues aux infrastructures réseau et 47 % dues aux équipements des consommateurs. Shutterstock

L'inquiétante trajectoire de la consommation énergétique du numérique

Publié: 2 mars 2020, 22:13 CET



Optimiser la consommation énergétique des bâtiments hébergeant les data centers a eu un global effet négatif : la consommation a augmenté. Oleksiy Mark, Shutterstock

La chasse au gaspillage dans le cloud et les data centers

Publié: 29 janvier 2023, 18:01 CET

Sobriété numérique et intelligence artificielle

- **SANS DATA CENTERS, PAS D'IA !**
- **SANS ENERGIE, PAS DE DATA CENTERS !**

Sobriété numérique



Une trajectoire soutenable ou insoutenable ?

Société numérique : performances et risques

De l'abondance et de l'insouciance aux sobriétés

OBJECTIFS

- Expliquer le contexte et les enjeux du monde numérique
- Identifier les limites des technologies et de leurs usages
- Alerter sur les dérives actuelles
- Présenter des perspectives pour un monde numérique plus responsable et soutenable

Société numérique : performances et risques

MOTS CLÉS

sciences & technologies, physique & chimie, mathématiques,
numérique, informatique, microélectronique, télécommunications

Intelligence Artificielle (IA)

ordinateur, supercalculateur, objets connectés

data centers, données, calculs

énergie

ressources impacts : environnementaux, sociétaux

Responsabilité

Sobriété

Sécurité

Souveraineté

SHS

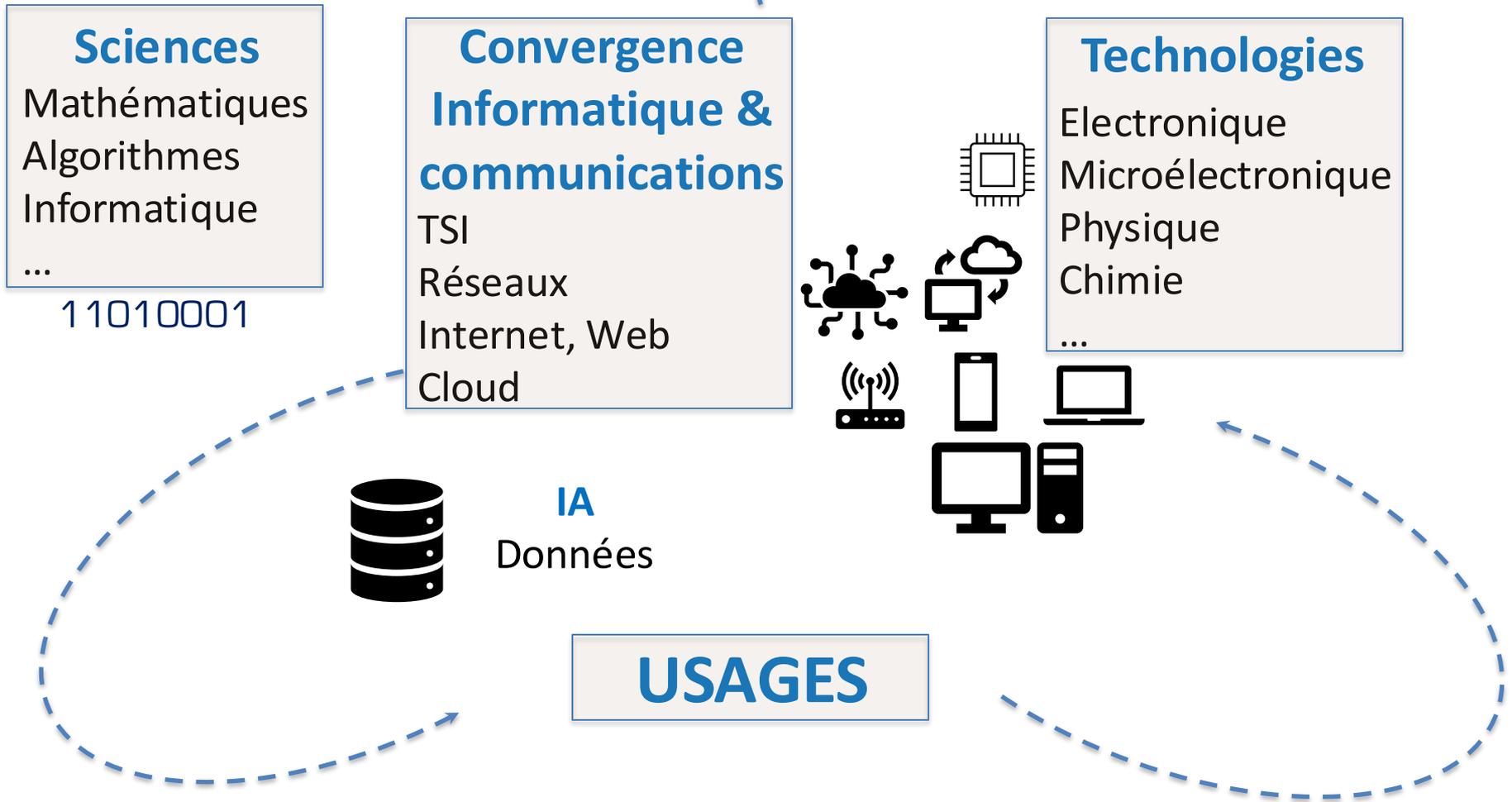
éthique

émotion & raison

usages : utiles, futiles

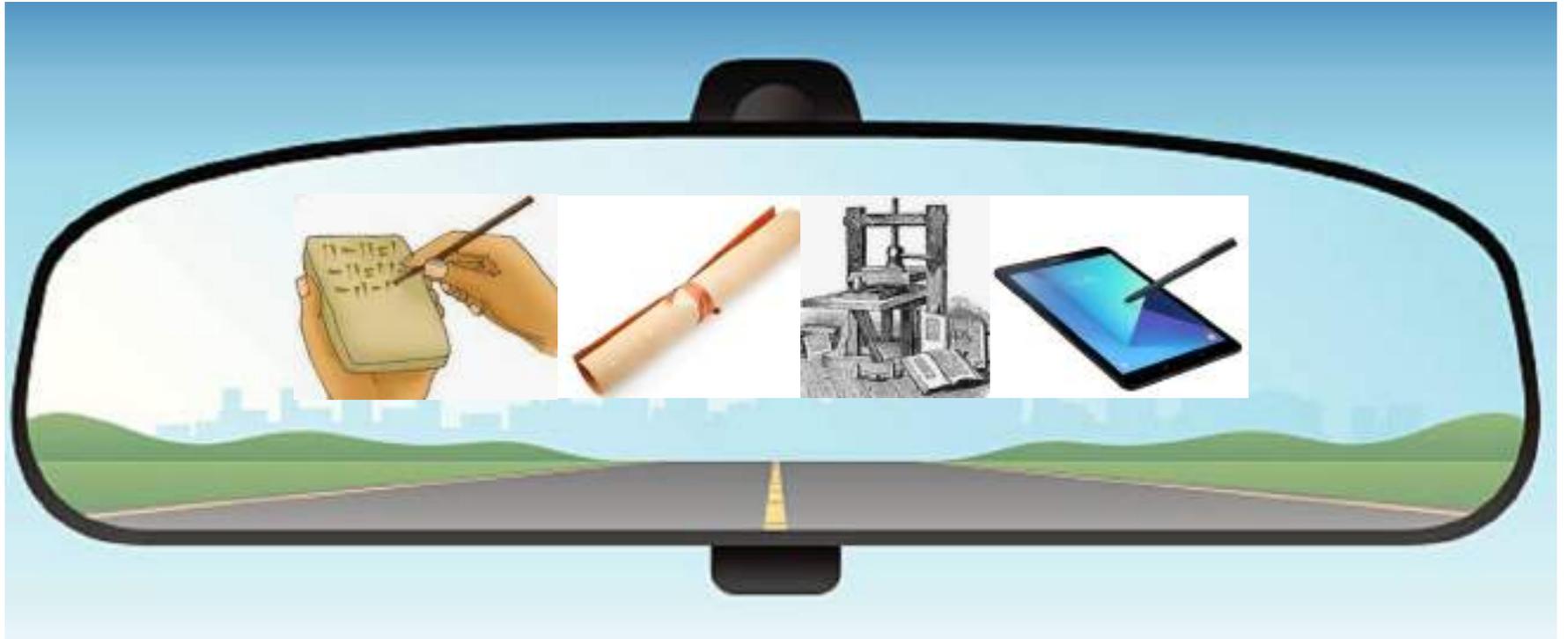
CONVERGENCES Sciences & Technologies

matériel et immatériel

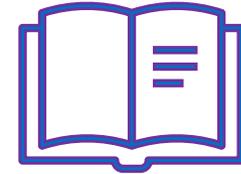


Internet, logiciels, objets connectés, cloud ...





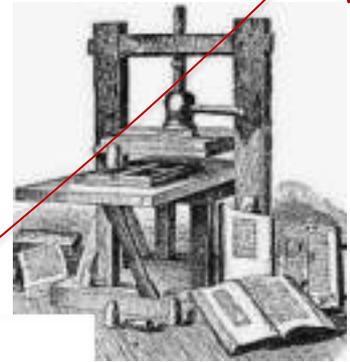
-5000



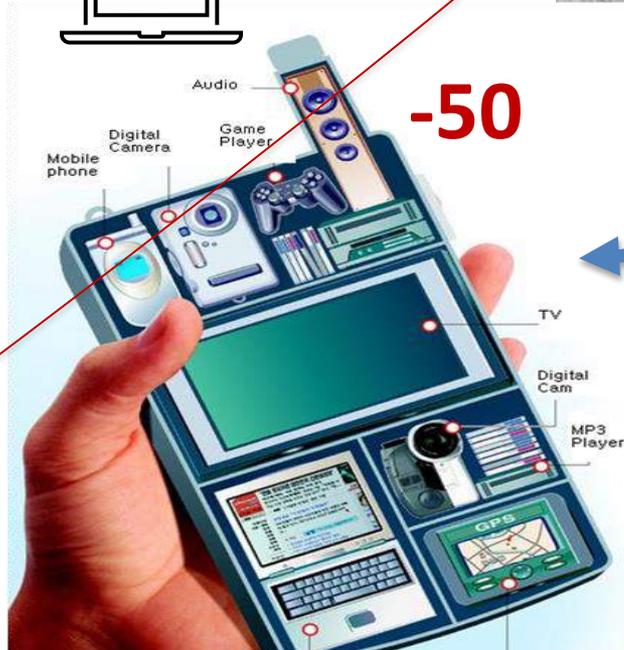
De l'écriture au numérique : accélération des innovations

*Il faut de l'énergie et de la matière pour
transformer, créer, stocker, échanger
des informations ...*

-500



-50

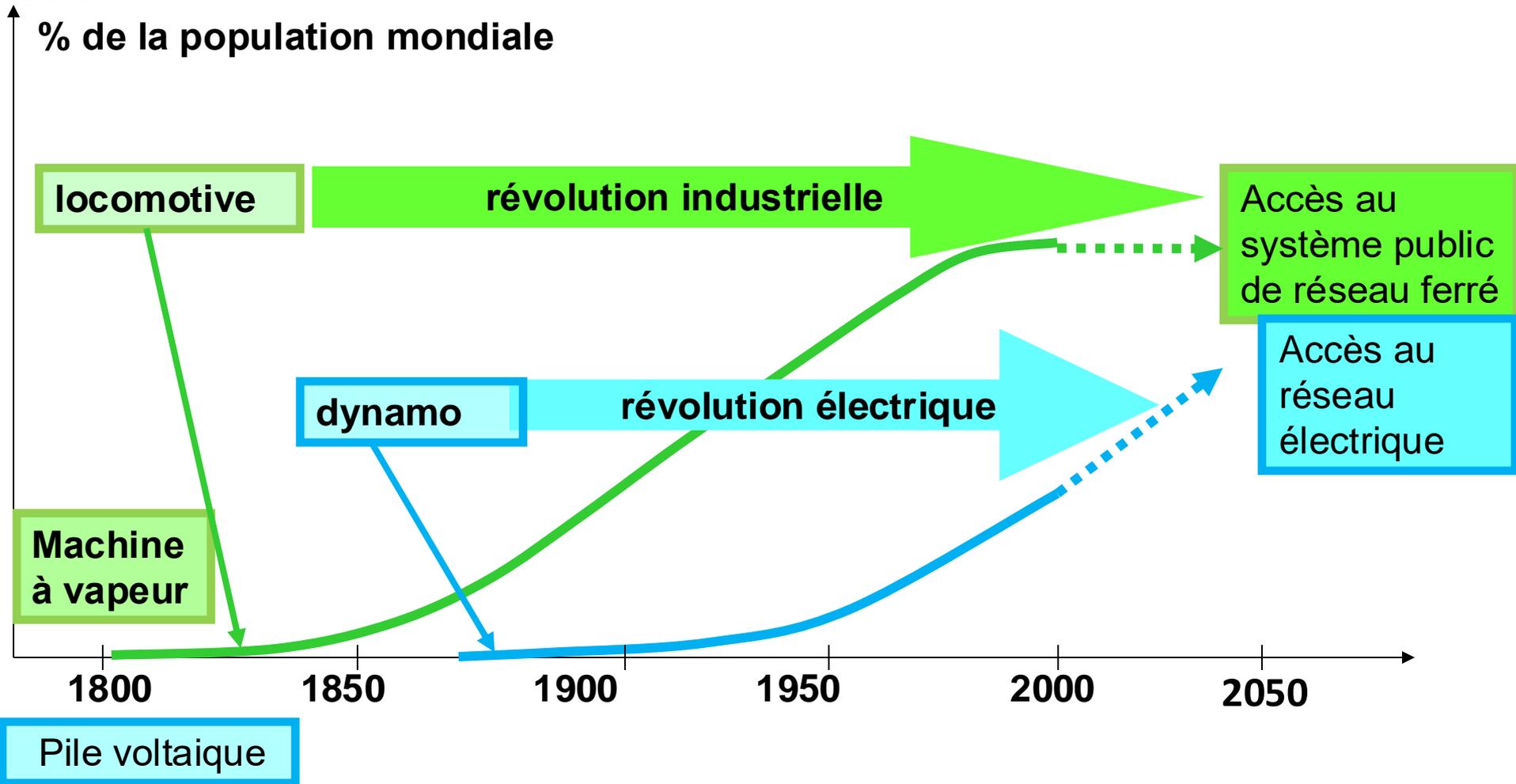


**Electronique
+
Télécoms
+
Informatique**

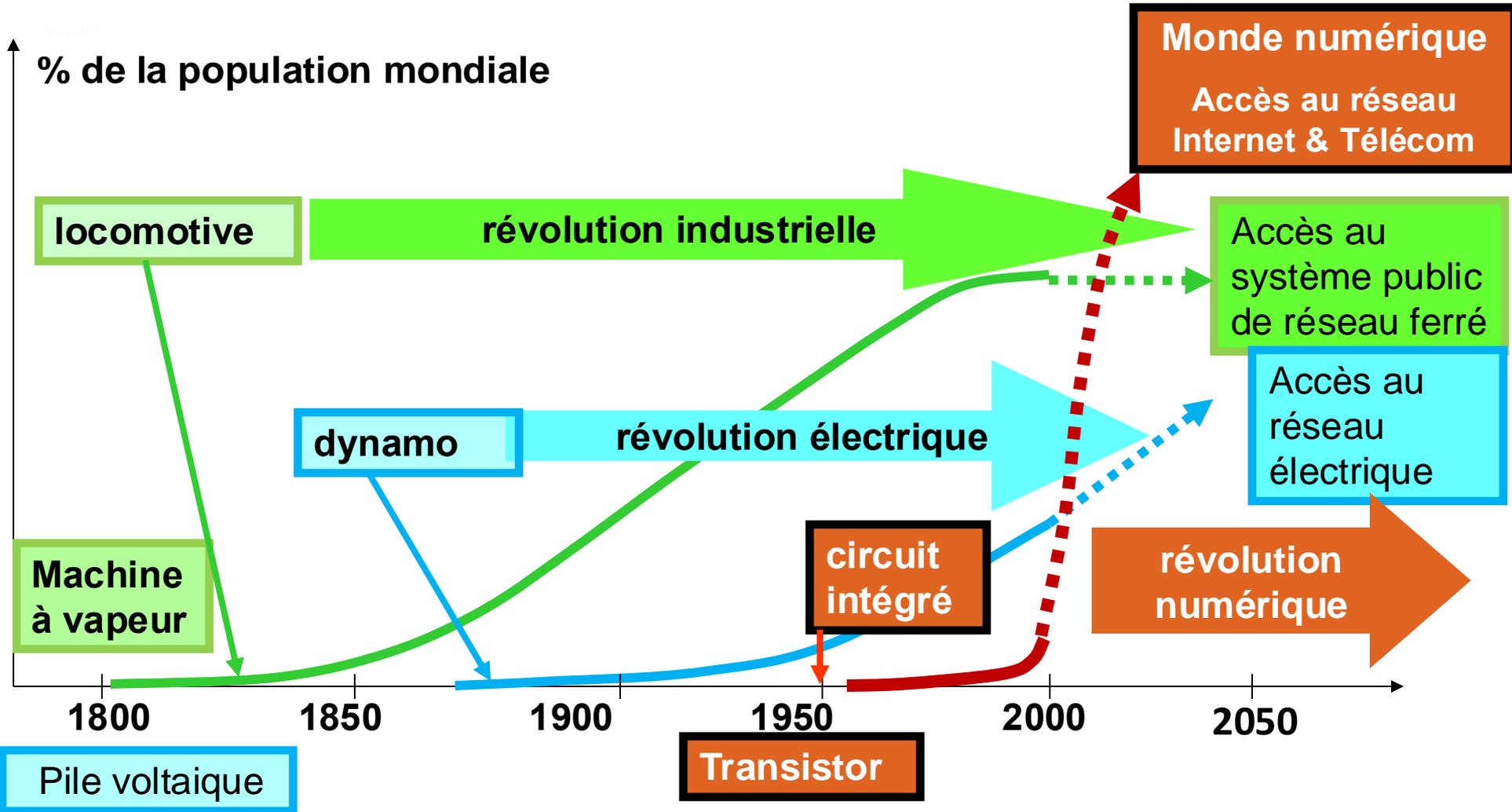


-5

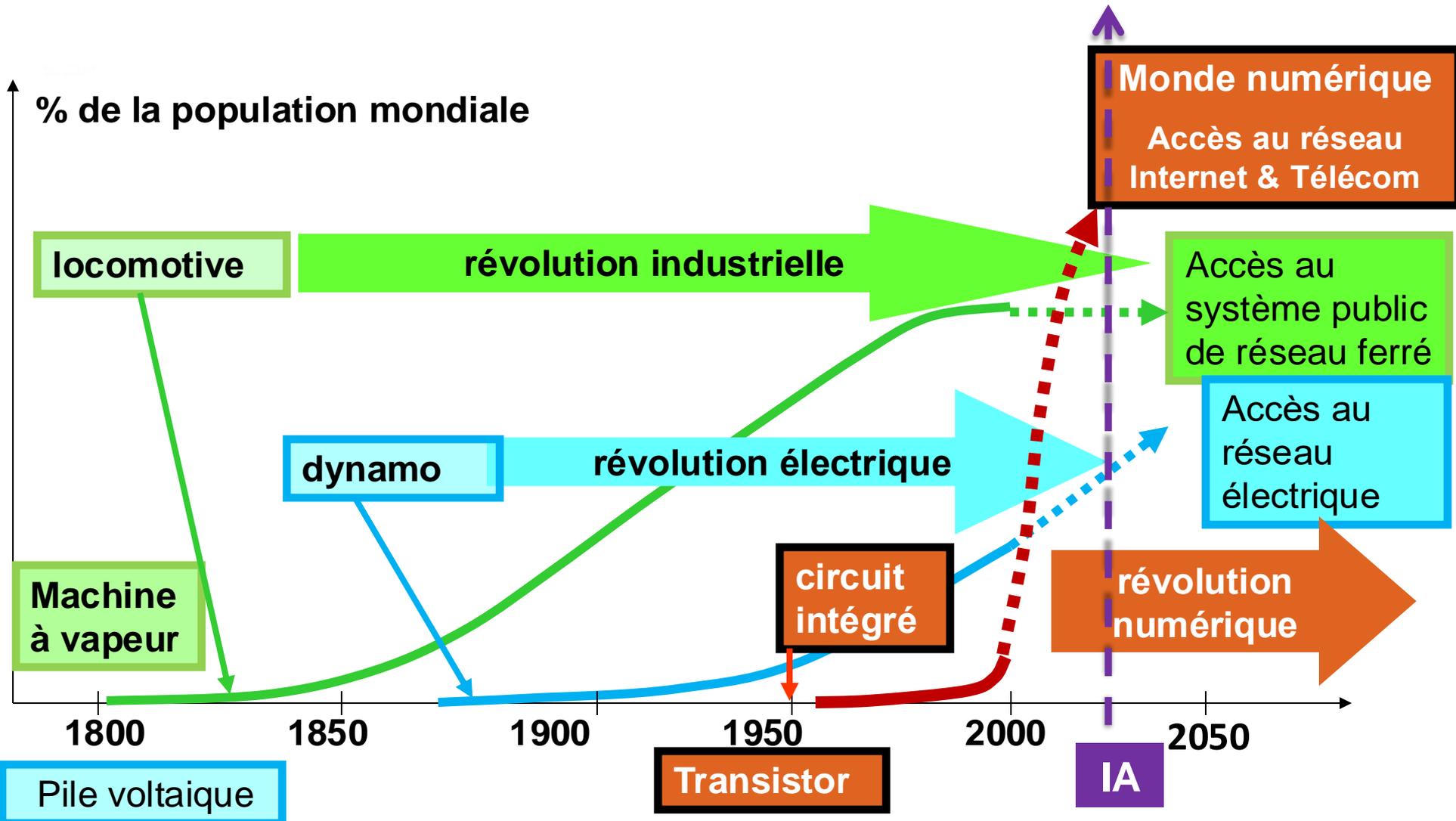
Accélération des évolutions technologiques



Accélération des évolutions technologiques



Accélération des évolutions technologiques



1 million d'utilisateurs en 5 jours (30-11-22)
100 millions en 2 mois
400 millions de visites hebdomadaires

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 :

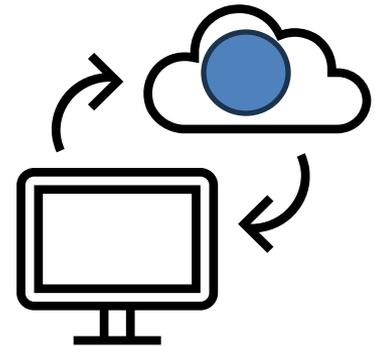
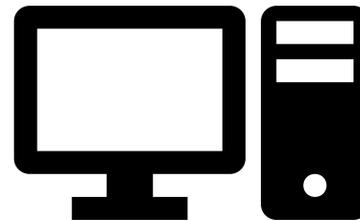
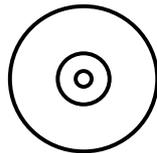
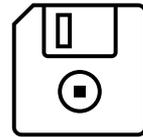
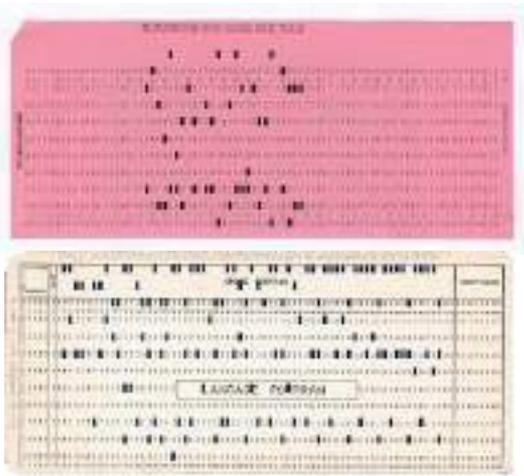
- Machines
- Algorithmes
- Langages, programmes
- Informations, données
- HPC, calcul intensif
- Cloud, Data Centers
- IA



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

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

Préservation numérique à long terme ?



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*
Pour 1 W : 0,03 addition/s

- **1980 : calculateur CINES : 5 MIPS ($5 \cdot 10^6$)**
> 1000 ENIAC



- **2024 : CINES ADAstra 100 PFlop/s = (10^{17})**
> 20 milliards CINES 1980 !
Pour 1 W : $70 \cdot 10^9$ opérations/s (FP 64)

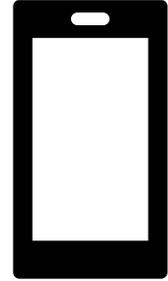


100 milliards de Transistors (# 3 nm)

« Numérique » : quelques questions

SMARTPHONES

- ✓ Quantités mondiales et abonnements ?
- ✓ Distances parcourues pour la fabrication ?
- ✓ Nombre d'éléments nécessaires ?
- ✓ Poids relatif des matières premières extraites ?



TECHNOLOGIES NUMERIQUES

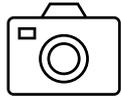
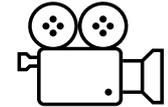
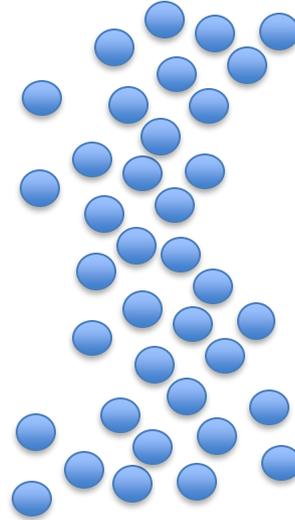
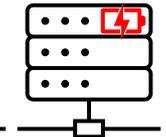
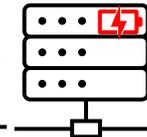
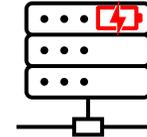
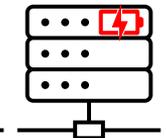
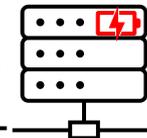
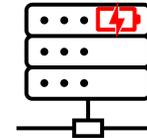
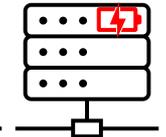
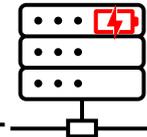
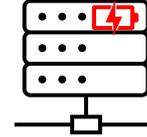
- ✓ L'explosion du volume des données : pourquoi ?
- ✓ Quel est l'impact du numérique sur l'environnement ?
- ✓ Pourquoi autant de minerais ?
- ✓ Est-ce qu'il est possible de recycler ?
- ✓ Qu'est ce que l'effet rebond ?
- ✓ Qu'est ce que l'éco-conception ?
- ✓ Quelle responsabilité sociétale avons-nous ?

- ✓ **Quelles recommandations pour un numérique responsable et souhaitable?**

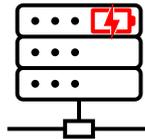
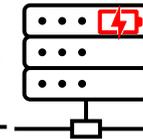
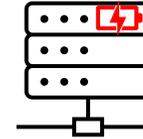
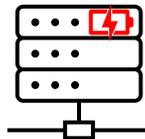
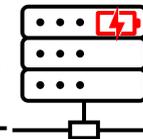
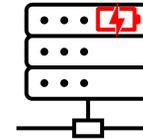
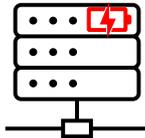
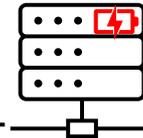
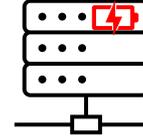
L'ILLUSION DE LA DÉMATÉRIALISATION



L'ILLUSION DE LA DÉMATÉRIALISATION



L'ILLUSION DE LA DÉMATÉRIALISATION

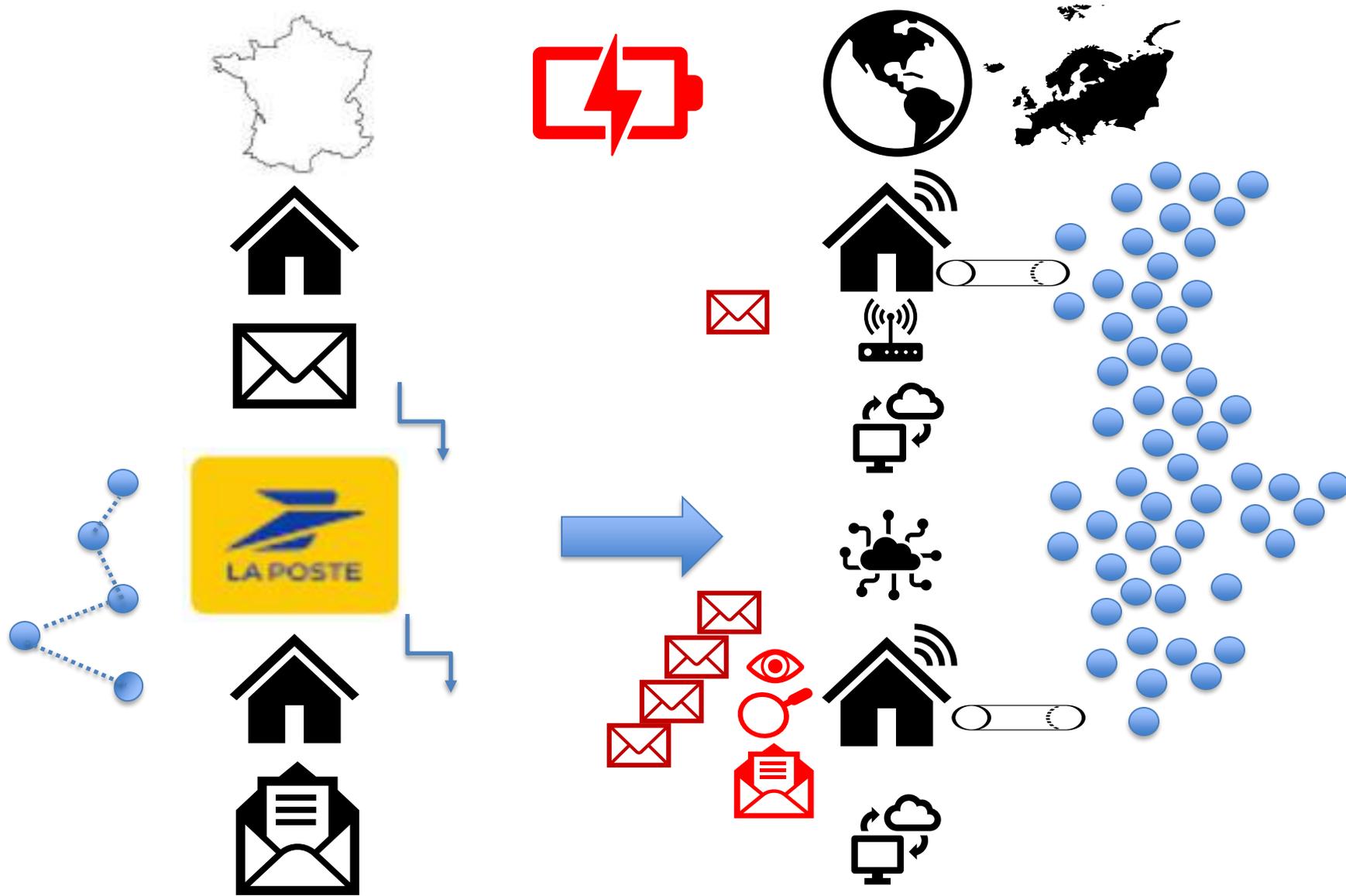


- Nombre d'Objets = NO
- Nombre Personnes = NP
- énergie nécessaire = E
- Ressources = R

Impacts = f (NO, NP, E_{fabrication} , E_{usage} , R)

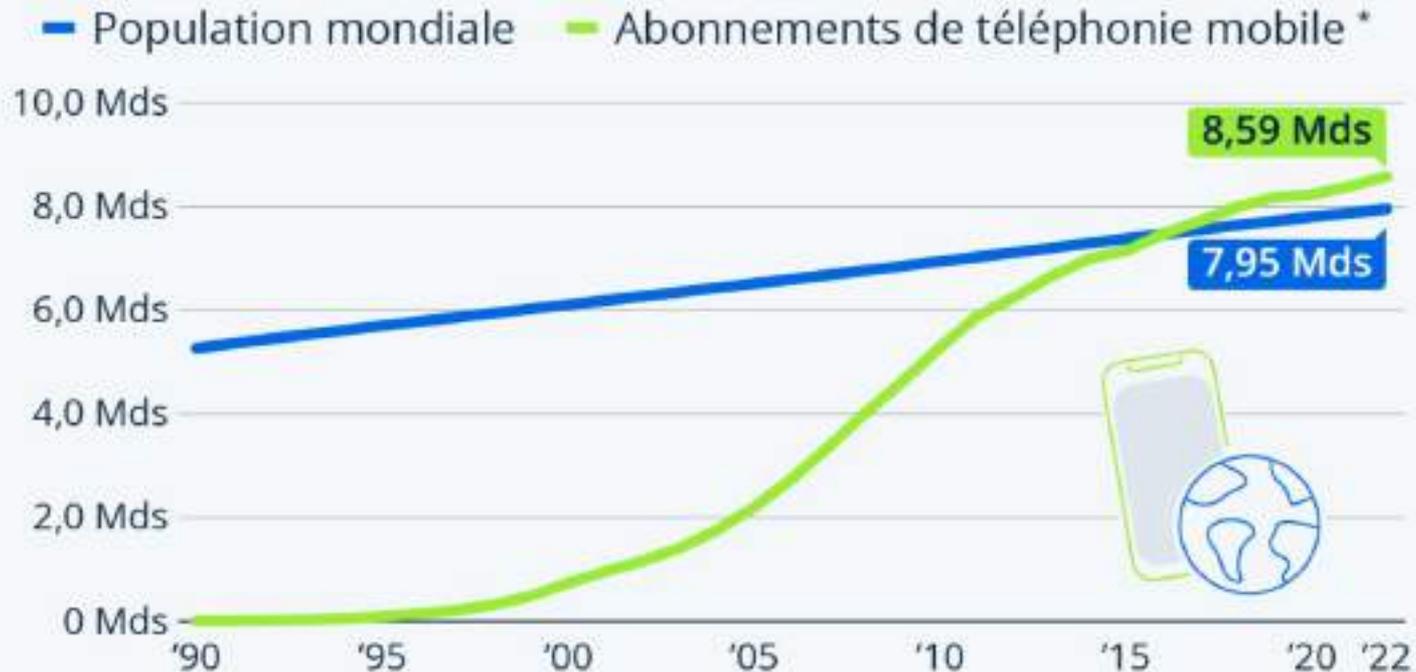


TECHNOLOGIES & USAGES



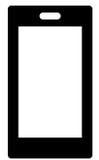
Plus de téléphones portables que d'humains sur Terre

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



Empreinte du numérique

- Le numérique représente aujourd'hui
 - ✓ *3 à 4 % des émissions mondiales de GES*
 - ✓ *2,5 % de l'empreinte carbone nationale*
 - ✓ *> 10 % de la production d'électricité mondiale*

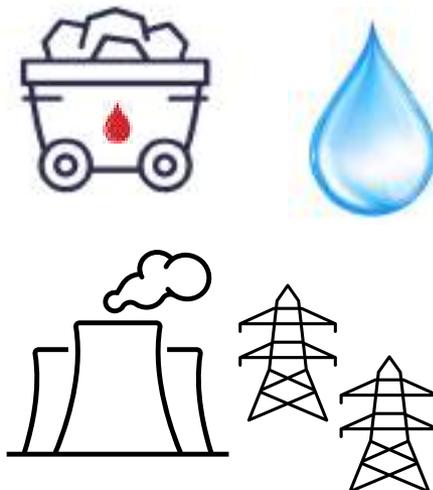
- En 10 ans (2012-2022), le trafic des données sur internet en France a été multiplié par **20**
- **Trafic internet : 80%** de vidéo
- **Netflix** représente **20%** du trafic internet français
- **75%** du trafic internet en France se fait désormais sur un smartphone

Empreinte du numérique

BESOINS

✓ **RESSOURCES**

✓ **ENERGIE**



IMPACTS

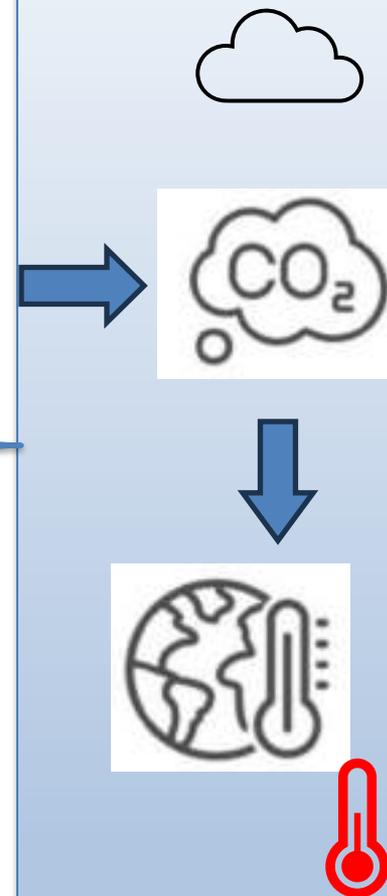
✓ **FABRICATION**

✓ **UTILISATION**

✓ **FIN DE VIE**



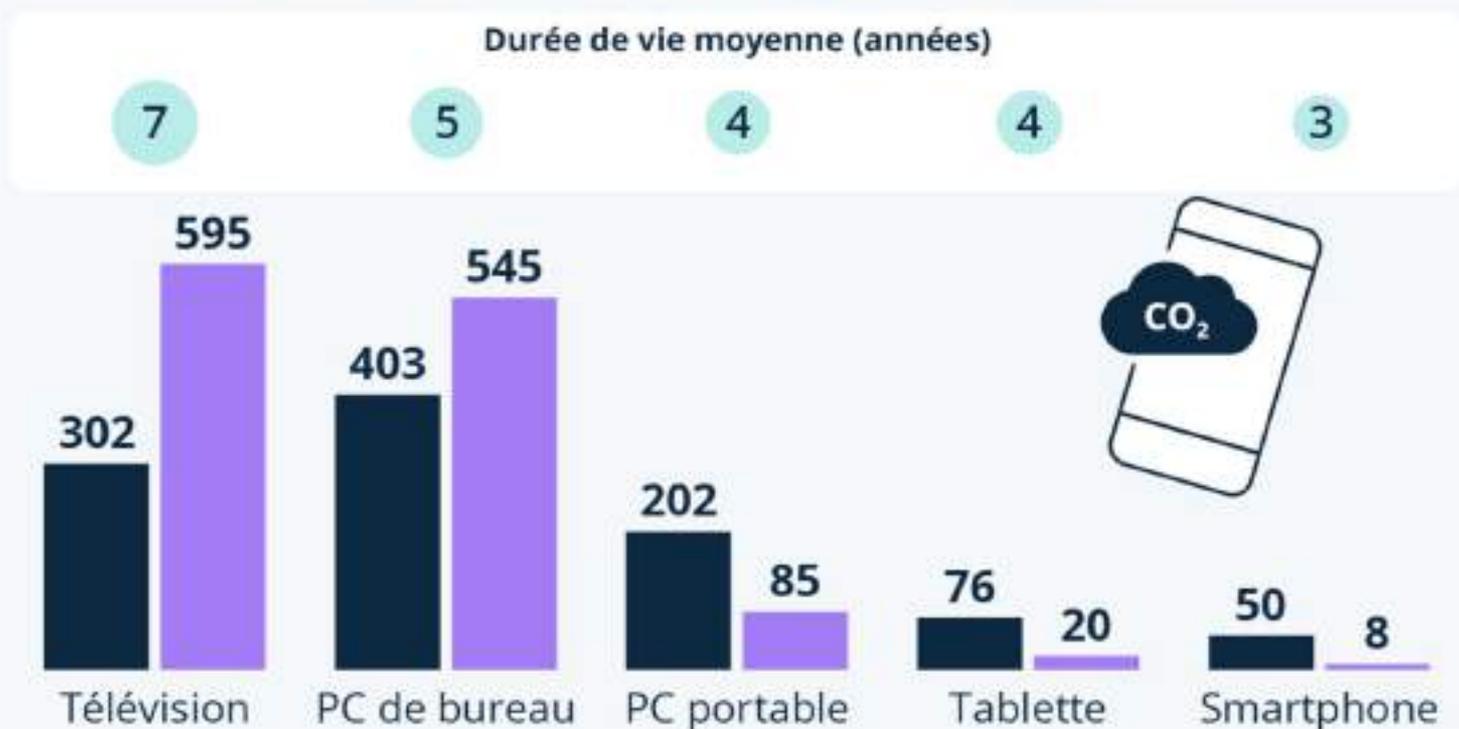
ETHIQUE



L'empreinte carbone des appareils électroniques

Émissions de gaz à effet de serre des appareils suivants sur l'ensemble du cycle de vie (en kg d'équivalent CO₂)*

■ Phase de fabrication ■ Phase d'utilisation

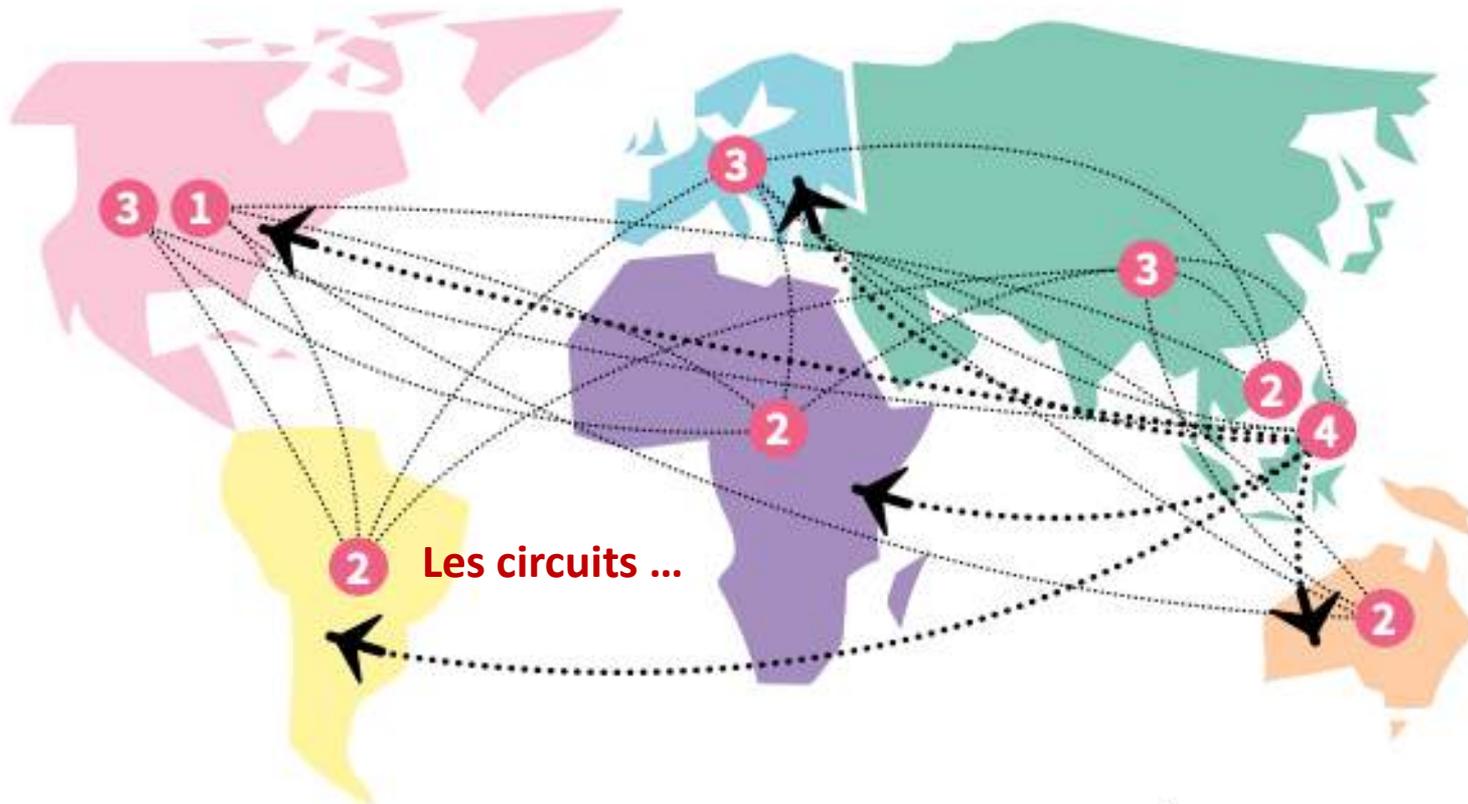
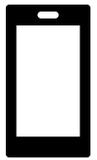


* Moyennes mondiales en 2020

Source : Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement (UNCTAD)



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

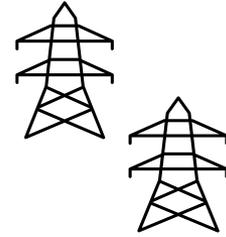
4. Assemblage en Asie du Sud-Est

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

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable et plus éthique : contexte, impacts, actions

- L'apparition du monde numérique
- Empreinte du numérique : impacts
 - *Energie*
 - *Ressources*
- Agir pour un monde numérique responsable

Empreinte du numérique : **ENERGIE** (et ressources)

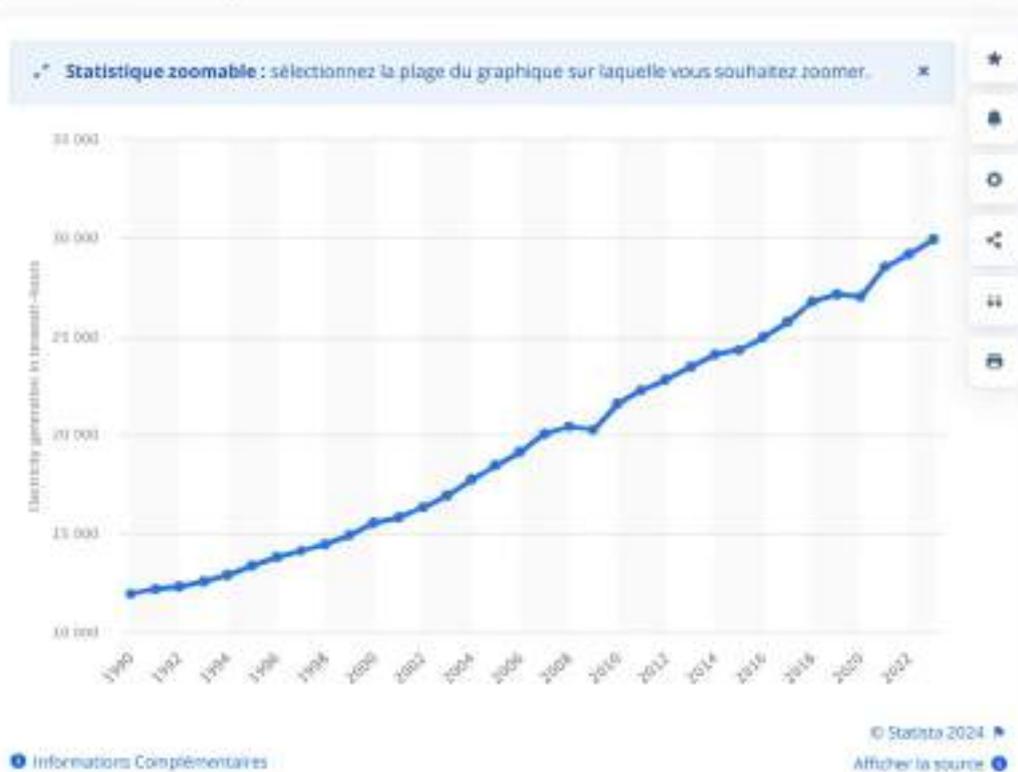


Production d'électricité en France (2023) : **500 TWh = 500.10¹²**

Production d'électricité mondiale (2023) : **30 000 TWh**

Production d'électricité dans le monde de 1990 à 2023

(en térawattheures)



**Numérique >
10 % de l'électricité mondiale**

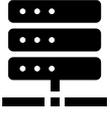
Réseaux # 40%

Terminaux # 30%

Data Centers # 30%

Et si nous disposions de sources d'énergies illimitées : impacts ?

DATA CENTER : regroupement d'infrastructures : ordinateurs centraux, serveurs, baies de stockage, équipements réseaux et télécommunications...



Centre Informatique National de l'Enseignement supérieur

Calcul intensif

Hébergement

Archivage pérenne

2024

17 GWh



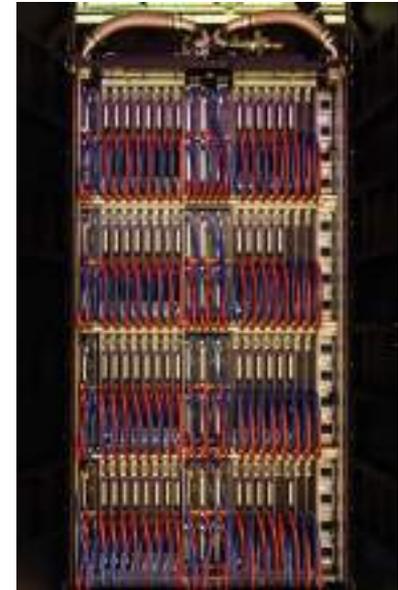
2/3 Supercalculateur ADAstra, Top3 Green 500 mondial

MUTUALISATION NATIONALE



CiNES

CENTRE INFORMATIQUE NATIONAL DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

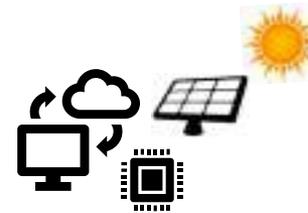
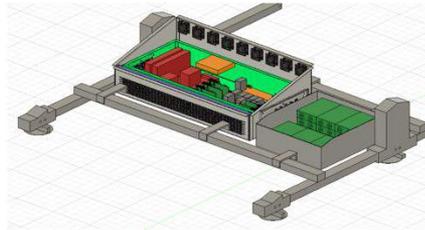


Coupler en circuit court les énergies renouvelables et les données- ressources informatiques distribuées et ré-utilisées

Pour un numérique responsable, économe en énergie, et distribué sur des surfaces inexploitées

Offrir de nouveaux services mutualisés :

- En couplant en « **circuit court numérique** » les **flux de données ET d'énergie photovoltaïque**
- En remettant en question le principe même du **data center**, en prônant une **approche distribuée**, en osmose avec les formes urbaines (cinquième facade) et les usages inhérents.
- Dotés de réseaux d'alimentations intelligents autogérés, la plateforme agrège production, stockage et distribution d'énergie
- Mixage possible entre divers modes d'utilisation de l'énergie, du calcul et des données
- L'architecture innovante et brevetée a été installée et validée sur le toit de Polytech Montpellier (co-financement Région)



Exemple : « box internet »

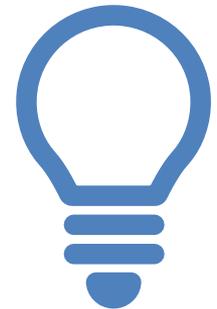
Boîtier servant d'interface entre l'abonné et un fournisseur d'accès à Internet, réunissant plusieurs fonctions : Modem. Routeur. Switch. Borne d'accès Wi-Fi

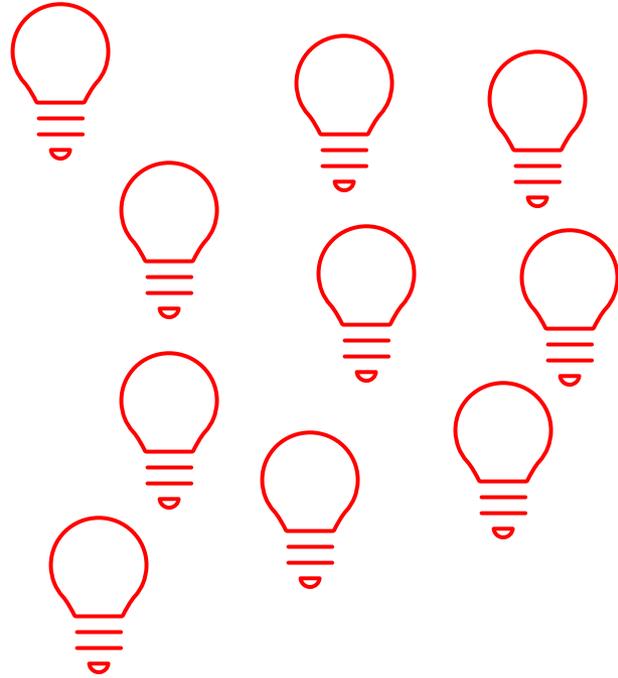
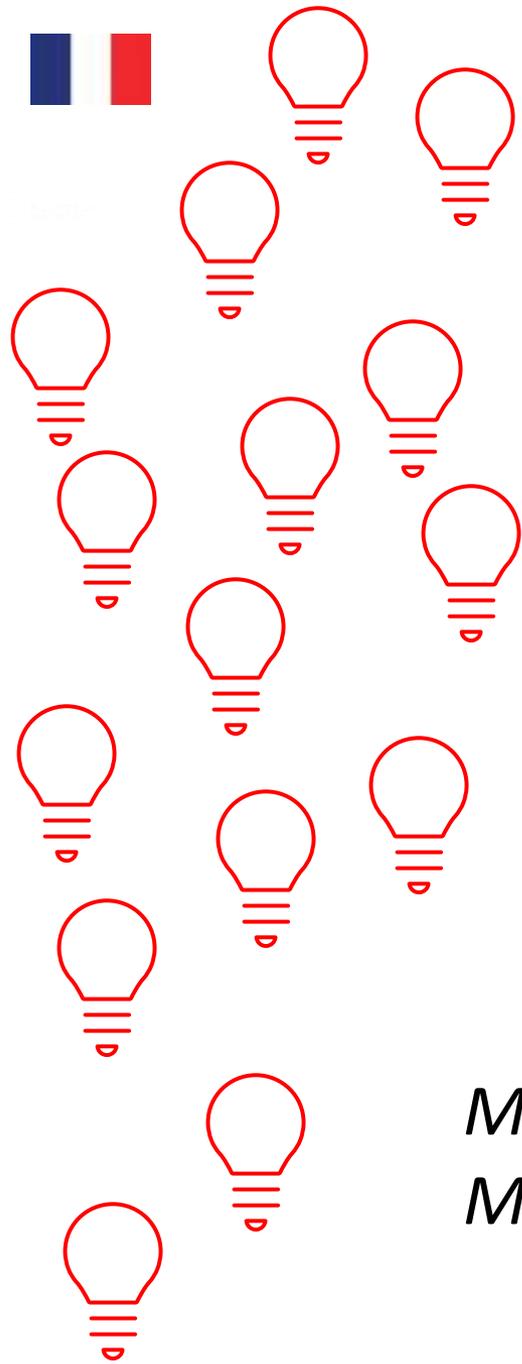


Mode « marche »

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***



Transition Ecologique et du Développement Sostenable

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
6. Autre ?

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

Empreinte du numérique

RESSOURCES



P. BIHOUX

- Des centaines de millions d'années pour créer nos ressources terrestres
- Consommations de ressources . Comparaison (-10000 à 2000 ans) avec (2000 à 2025)



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)
- Exemples : Cuivre, Nickel, Cobalt, Lithium ...
- Exemple : mobilité
 - Véhicule thermique = 50 kg de matériaux critiques ; Cuivre = 20 kg
 - Véhicule électrique = 200 kg de matériaux critiques ; Cuivre = 80 kg
- Exemple : pour 1 Tonne de minerai : fer = 40%, , cuivre= 0,5%, or 0,001% (100000 fois moins concentré que le fer)
- Conséquence : **besoins** planétaires d'ici 2040 : Lithium (x 40), Nickel (x20), Cobalt (x20), Cuivre (x3)
- Ressources & Réserves ? ... Quelques décennies d'exploitation dans certain cas

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

Ressources et résidus d'un smartphone de 200 g :
1000 fois son poids = 200 kg

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

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



**Ressources et résidus d'un smartphone de 200 g :
1000 fois son poids = 200 kg**

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

Les 4 éléments principaux du monde vivant

- oxygène (O)
- carbone (C)
- hydrogène (H)
- azote (N)



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



**Ressources et résidus d'un smartphone de 200 g :
1000 fois son poids = 200 kg**



RESSOURCES

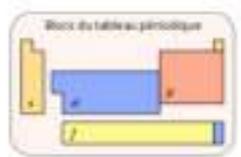
Tableau périodique des éléments

Groupe → 1
Période ↓

états d'oxydation
1^{re} énergie d'ionisation (en eV/mol)
électronégativité (Pauling)
configuration électronique
électrons par niveau d'énergie

nom de l'élément (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)
[ICAVR "Annonces Réagirs 2013" + nov. 2015]

1	2	13	14	15	16	17	18										
H	He	B	C	N	O	F	Ne										
Li	Be	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
Na	Mg	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og



La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Métaux: Alcalins, Alcalino-terreux, Lanthanides, Actinides, Métaux de transition, Métaux lourds, Métaux alcalins

Non métaux: Autres non-métaux, Halogènes, Gaz nobles, Non classés

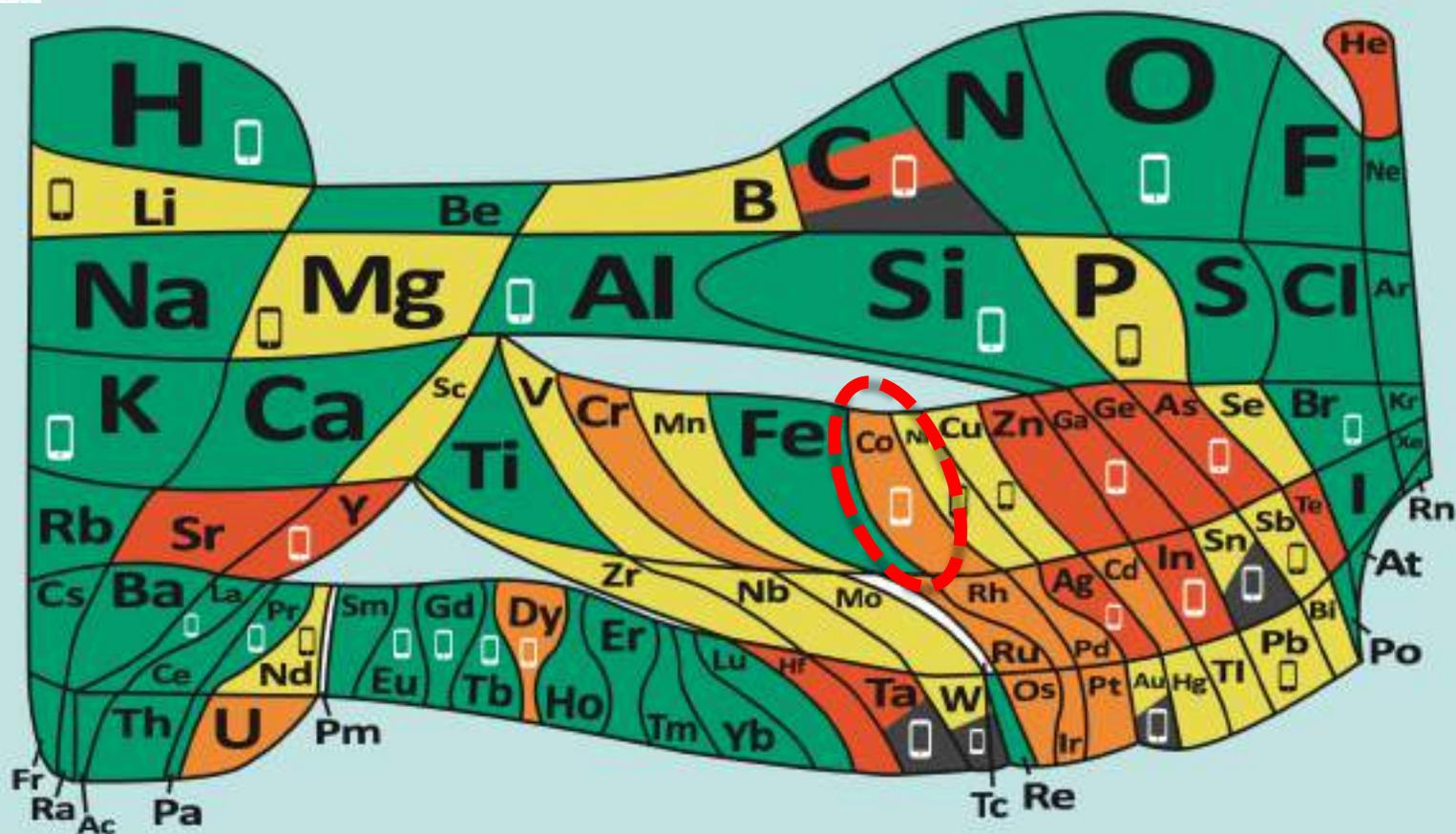
Origine: primordial, désintégration d'autres éléments, synthétique



RESSOURCES

Les 90 éléments qui composent notre monde

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



- Menace sérieuse dans les prochains 100 ans
- Menace croissante due à une utilisation accrue
- Disponibilité limitée avec futur risque d'approvisionnement
- Ressource abondante
- Élément synthétique
- Minerais dans des zones de conflits
- Éléments utilisés dans un smartphone

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

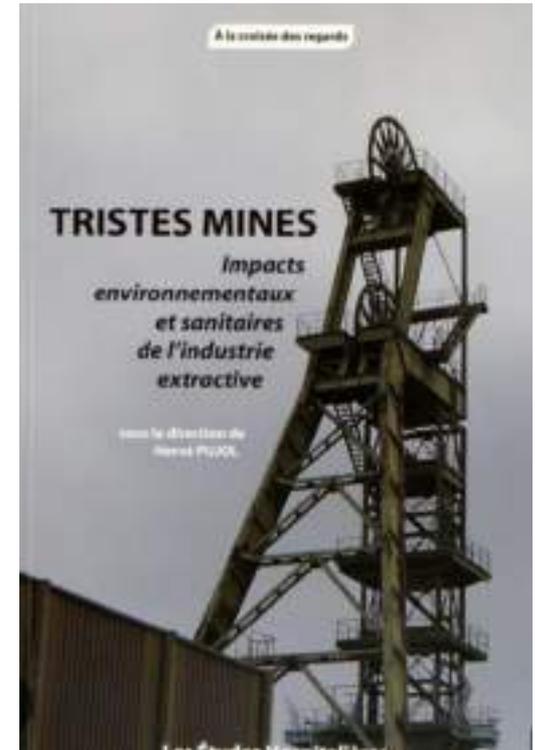


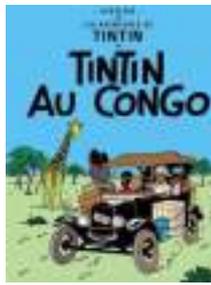
TRISTES MINES



Mine de Salsigne (Aude)

- Dernière mine d'or en France métropolitaine fermée en 2004
- Un siècle de pollution par l'arsenic
- Le BRGM a chiffré à 3 tonnes d'arsenic charriées annuellement par l'Orbiel,
- Impacts sanitaires majeurs : santé, ressources en eau polluées...
- La préfecture de l'Aude a élaboré un arrêté interdisant la mise sur le marché de légumes produits dans cette vallée.





Si le territoire de la RDC n'existait pas ... *Que serait aujourd'hui le monde numérique?*



QUELS OBJETS ?

- Dimensions
- Poids
- Autonomie
- Prix

La RDC produit trois quarts du cobalt dans le monde

Principaux pays producteurs de cobalt dans le monde en 2023, en tonnes métriques

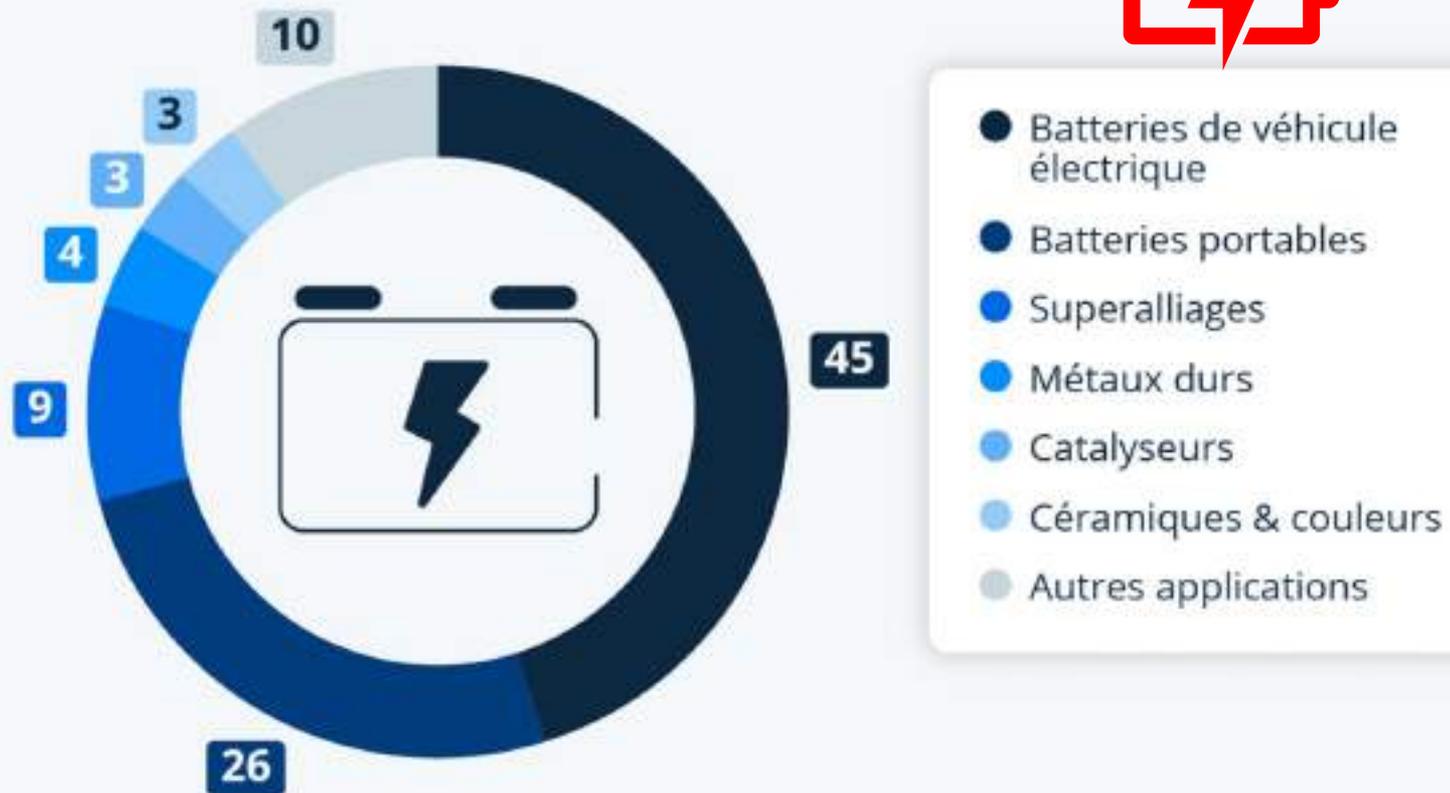


Source : US Geological Survey



Plus de deux tiers du cobalt sert à la production de batteries

Répartition de la demande mondiale de cobalt en 2023, par application (en %)



Source : Cobalt Institute



La malédiction des matières premières : les minerais de sang

Cas de la **RD Congo** : # 70% des réserves mondiales de **Cobalt & Coltan**

- RDC : potentiel de ressources naturelles et minérales (cobalt, coltan, diamant, or, cuivre ...) & deuxième plus grande forêt tropicale du monde.
- Le **Cobalt** : métal essentiel notamment pour la fabrication des batteries  Co, numéro atomique : 27
- Le **Coltan** (colombite-tantalite) : minerai dont on extrait et le tantale pour les condensateurs, filtres à onde de surface,



France Diplomatie

LE MINISTÈRE >

POLITIQUE ÉTRANGÈRE >

DOSSIERS PAYS >

CONSEILS AUX VOYAGEURS >

SERVICE

Situation sécuritaire dans l'est du pays

Publié le 23/07/2024

L'Est du pays est formellement déconseillé (en rouge), à l'exception des villes de Goma et Bukavu, qui sont déconseillées sauf raisons impératives (en orange). La situation sécuritaire dans l'Est de la RDC est marquée par une grande violence et la présence de groupes armés congolais et étrangers, ainsi que le déploiement de plusieurs armées étrangères.

La ville de Goma est encerclée par une rébellion armée et de nombreux porteurs d'armes circulent dans la ville et sa proximité immédiate. Les quartiers périphériques de la ville de Goma connaissent des attaques violentes





La malédiction des matières premières : les minerais de sang

Cas de la **RD Congo** : # 70% des réserves mondiales de **Cobalt & Coltan**

- RDC : potentiel de ressources naturelles et minérales (cobalt, coltan, diamant, or, cuivre ...) & deuxième plus grande forêt tropicale du monde.
- Le **Cobalt** : métal essentiel notamment pour la fabrication des batteries  Co, numéro atomique : 27
- Le **Coltan** (colombite-tantalite) : minerai dont on extrait et le tantale pour les condensateurs, filtres à onde de surface,  



Impact sociétal

➤ Deuxième guerre du Congo depuis 1997 : « l'économie électronique »

✓ 6 millions de morts 

✓ 4 millions d'exilés

✓ 6,8 millions de réfugiés internes aujourd'hui + actes de barbarie

➤ Déforestation incontrôlée



France Diplomatie

LE MINISTÈRE

POLITIQUE ÉTRANGÈRE

DOSSIERS PAYS

CONSEILS AUX VOYAGEURS

SERVICE

Situation sécuritaire dans l'est du pays

Publié le 23/07/2024

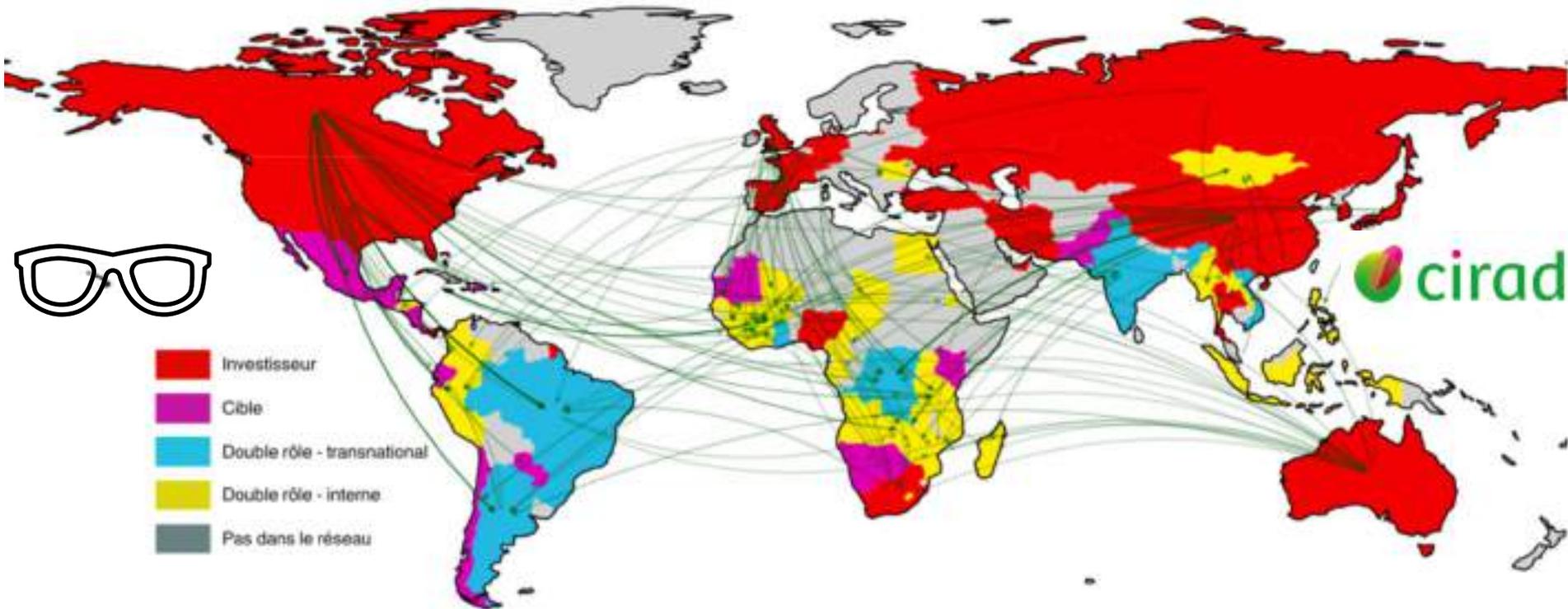
L'Est du pays est formellement déconseillé (en rouge), à l'exception des villes de Goma et Bukavu, qui sont déconseillées sauf raisons impératives (en orange). La situation sécuritaire dans l'Est de la RDC est marquée par une grande violence et la présence de groupes armés congolais et étrangers, ainsi que le déploiement de plusieurs armées étrangères.

La ville de Goma est encerclée par une rébellion armée et de nombreux porteurs d'armes circulent dans la ville et sa proximité immédiate. Les quartiers périphériques de la ville de Goma connaissent des attaques violentes



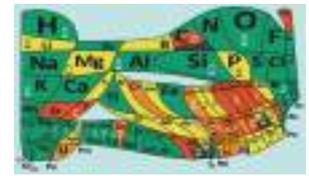
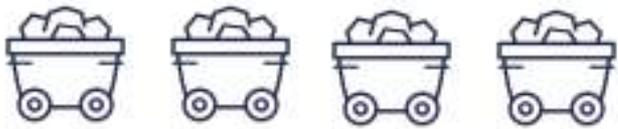
A qui appartiennent les terres? *formaliser un indice d'impact sociétal*

état actuel du réseau minier international à travers l'achat des terres (*initiative Land Matrix*)



Le réseau commercial des terres minières, où les pays sont colorés en fonction de leur rôle sur le marché : **uniquement investisseurs (rouge)**, uniquement cibles (magenta), pays à double rôle (cyan), double rôle uniquement pour les transactions internes (jaune)

Jérémy Bourgoïn, Roberto Interdonato, Quentin Grislain, Matteo Zignani, Sabrina Gaito. 2024. [Mining resources, the inconvenient truth of the “ecological” transition](#). *World Development Perspectives*. Volume 35.



EXCAVATION DE TERRES

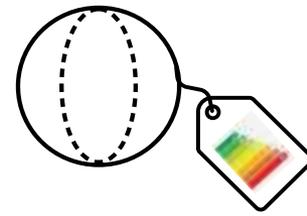
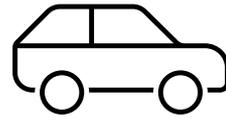
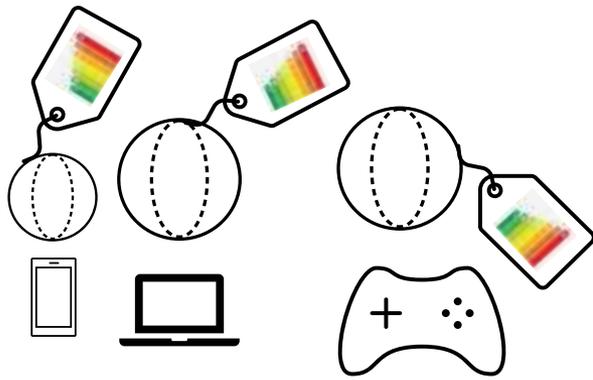
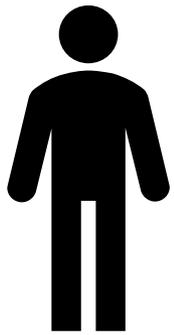


Co



MINERAIS







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: Munkita Choro

RS

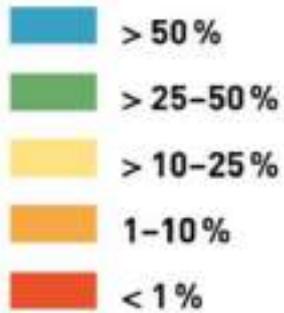


La Fresque du Numérique

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

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

Les enjeux d'un monde numérique plus responsable et plus éthique : contexte, impacts, actions

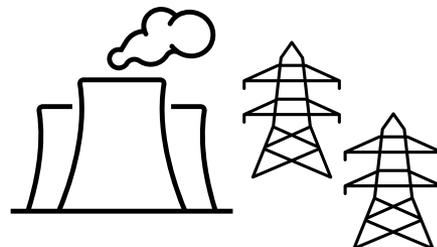
- **L'apparition du monde numérique**
- **Empreinte du numérique : impacts**
 - *Energie*
 - *Ressources*
- **Agir pour un monde numérique responsable**

Empreinte du numérique

BESOINS

✓ **RESSOURCES**

✓ **ENERGIE**



IMPACTS

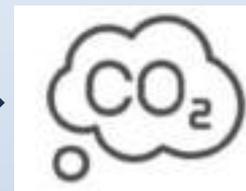
✓ **FABRICATION**

✓ **UTILISATION**

✓ **FIN DE VIE**



ETHIQUE



limiter la frénésie numérique

Sobriété

✓ Informer & Former

✓ Réguler

✓ Agir *individuellement et collectivement*



INFORMER: Evaluer le coût pour la planète



Aliments

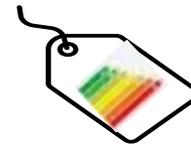
Vêtements

Objets

électriques

Numériques

Quelles informations pertinentes ?



INFORMER



IMPACTS DE LA FABRICATION

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

LIEUX DE FABRICATION
ET D'ASSEMBLAGE

IMPACTS SOCIAUX & ETHIQUE



DISTANCES PARCOURUES

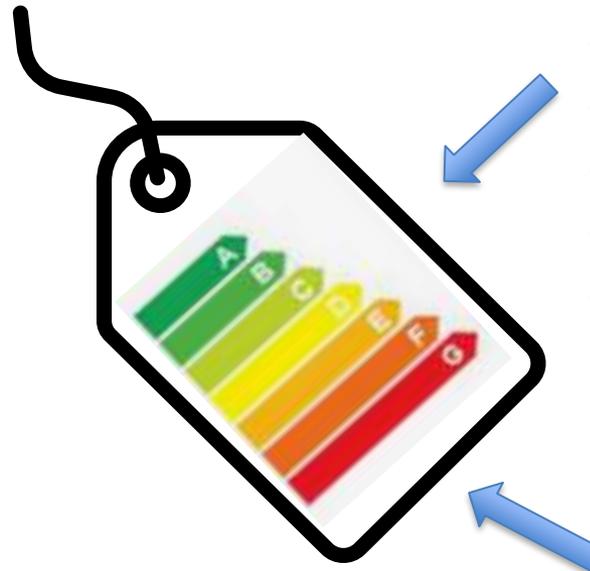
GARANTIE

MAINTENANCE

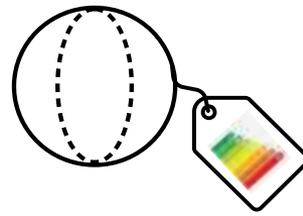
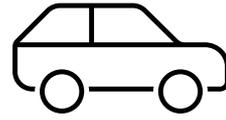
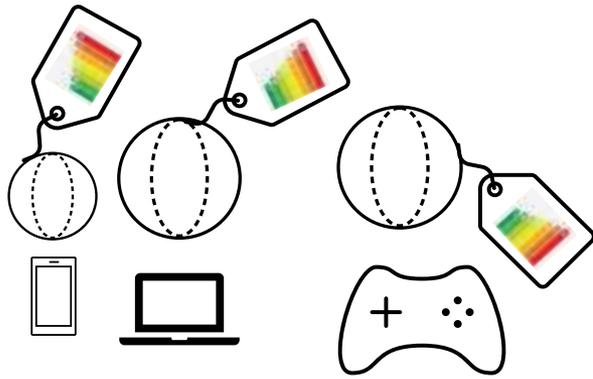
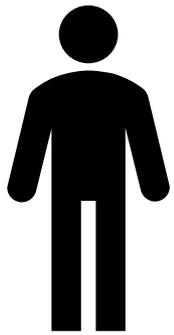
RECYCLAGE

**CONSOMMATION
ELECTRIQUE**

*Marche
Veille*



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



limiter la frénésie numérique

Sobriété

✓ Informer & Former

✓ Réguler

✓ Agir *individuellement et collectivement*



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.

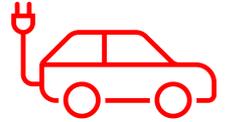
REGULER

➤ ***Loi n° 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 ».

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>

Limiter la frénésie numérique

Sobriété

✓ Informer & Former

✓ Réguler

✓ **Agir *individuellement et collectivement***

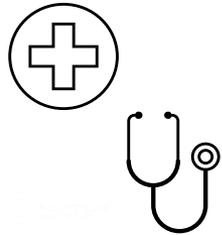


Le matériel, l'immatériel, l'humain et ses usages

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





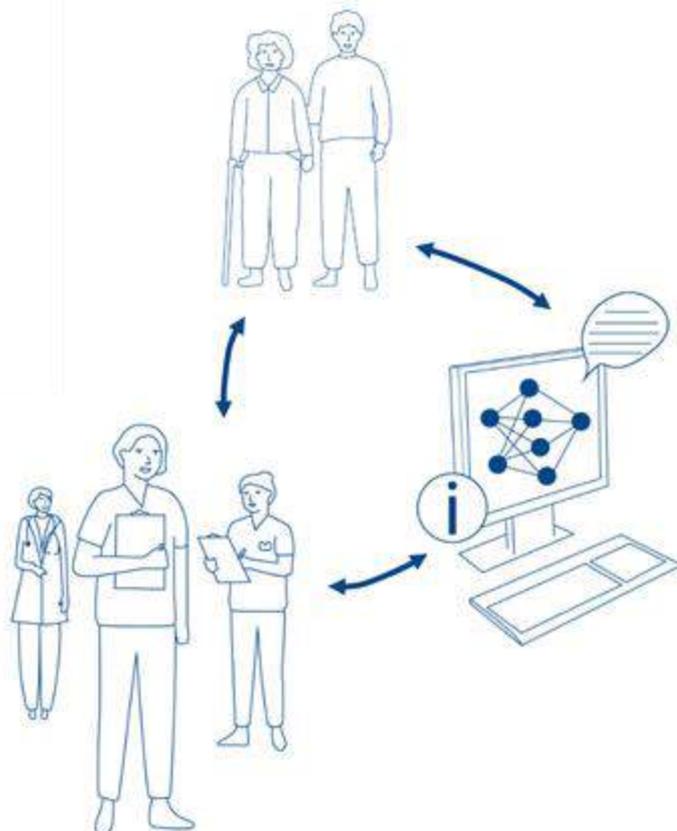
DONNÉES DE SANTÉ

PRODUITES DANS LE CADRE

du soin

de la recherche

de la gestion hospitalière



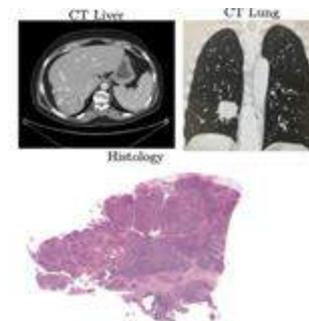
Alliance Santé – IA



Input

Histoire clinique du patient

Base de connaissances



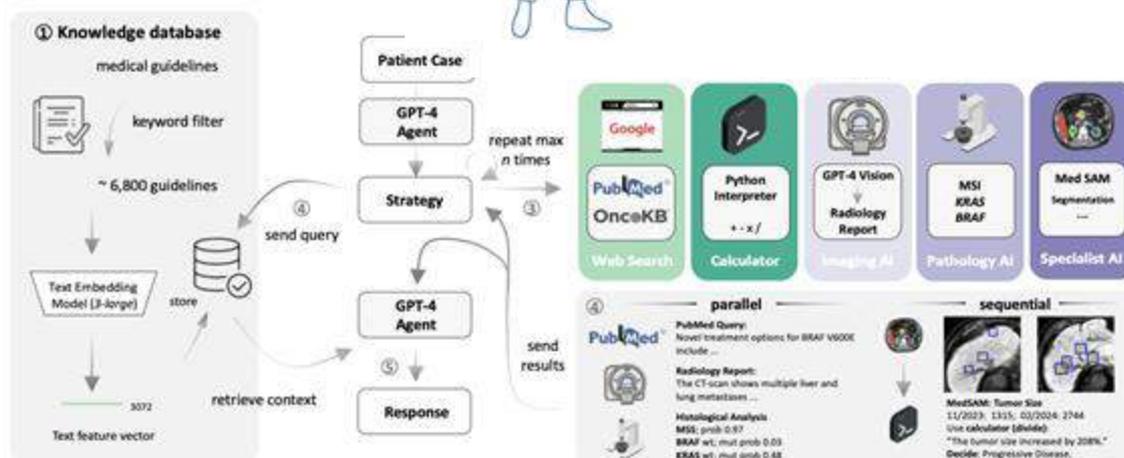
Assistant IA

Output

Proposition thérapeutique argumentée (plan de traitement, etc.)

Evaluation par experts humains (11 cas)

Utilisation correcte des outils : 97%
Conclusions correctes : 93.6%
Recommandations complètes : 94% et utiles 89.2%
Documenté sur une littérature pertinente : 82.5%



Le futile aujourd'hui

- 5G+ ? 6G ? 7G ? 



- **Streaming** dans un TGV streaming : méthode permettant de visionner des vidéos ou d'écouter de la musique sans avoir à télécharger de fichiers



- **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

UTILE OU FUTILE ?

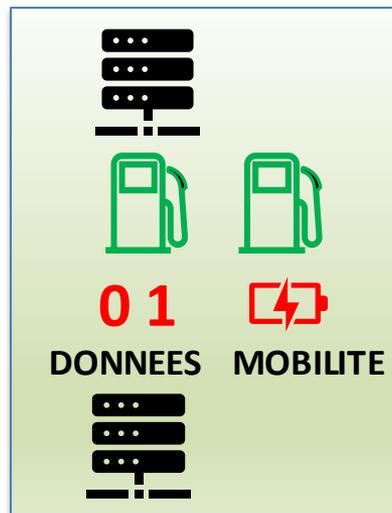
Mobilités et impacts

- *Energie*
- *Fabrication : poids, ressources, ACV*
- *coût*



Voiture numérique électrique personnelle autonome ?

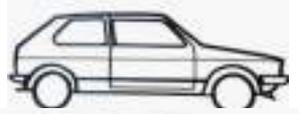
- **Utilisation : consommation (énergie, données)**



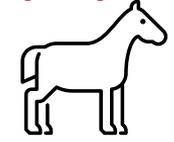
→ Mutualisation ?



Poids en kg	POIDS IN POIDS		POIDS 2024	BATTERIES	
	origine	2024	MAX	ELECTRIQUE	
2 CV	495				
R4	702			1410	
R5	745			1410	300
204	850				
Ami 6	620				
Fiat 500	470	980		1300	
Mini	635	1250		1730	
Golf	890	1384			
Moyenne	676			1462,5	
Topolino				487	65
Tesla M3				1746	454
SUV minimum		1500	3000		
VELO		15	20		
VELO ELECTRIQUE		22	30		2,5 à 6



Mobilité au travers des époques



Poids moyen d'une automobile il y a 50 ans et aujourd'hui

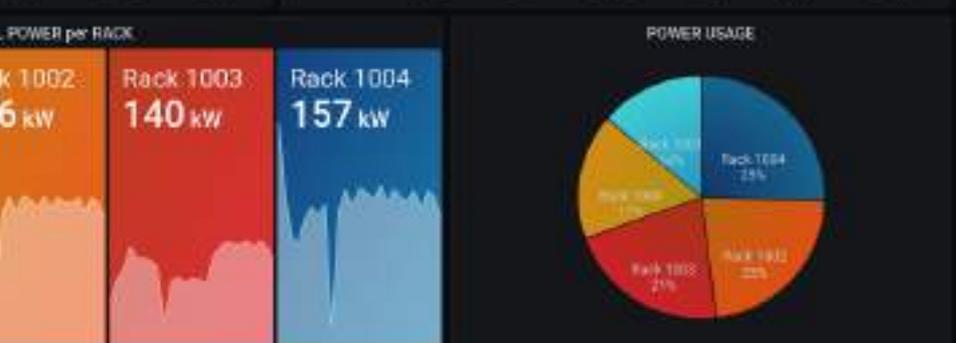
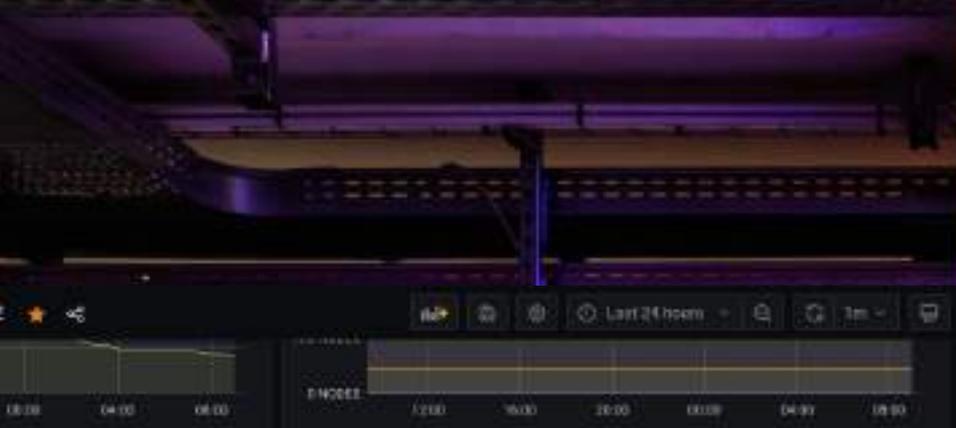


En un demi-siècle :

- Poids d'un véhicule : multiplié d'un facteur 2 à 6 !
- Poids des batteries : correspond à un véhicule du passé !
- Voitures numériques communicantes électriques bientôt autonomes

Agir individuellement et collectivement

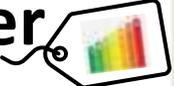
- Informer 
- Former
- Mesurer
- Réguler
- Modérer
- Mutualiser

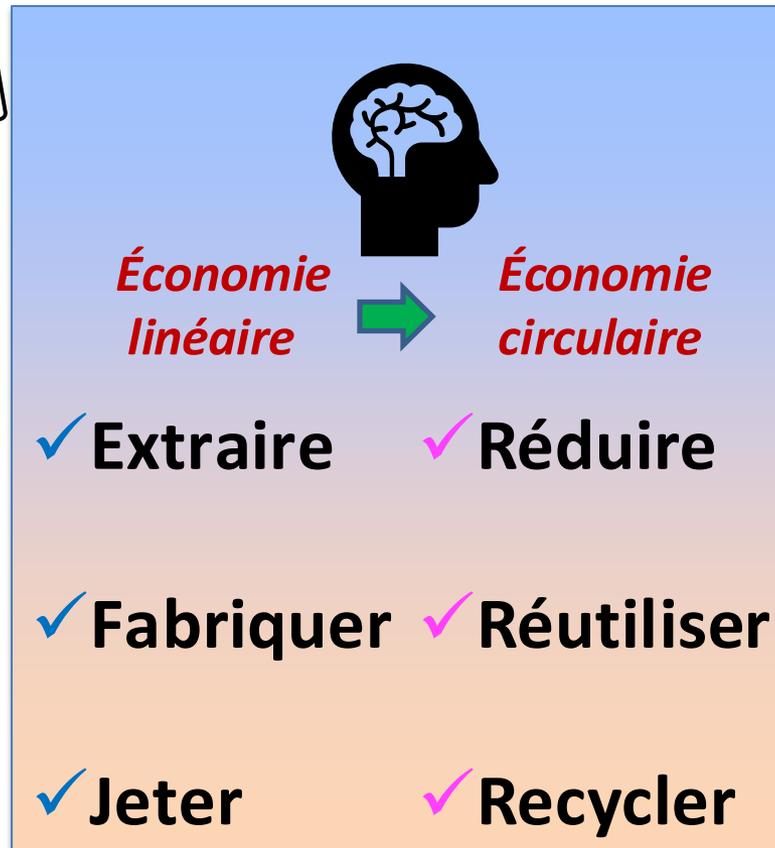


CINES COOLING	CDU 0 COOLING	CDU 1 COOLING
SUPPLY TEMP 30.8 °C	SUPPLY TEMP 35.8 °C	SUPPLY TEMP 35.4 °C
RETURN TEMP 41.9 °C	RETURN TEMP 42.5 °C	RETURN TEMP 42.5 °C



Agir individuellement et collectivement

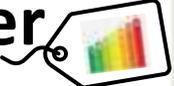
- Informer 
- Former
- Mesurer
- Réguler
- Modérer
- Mutualiser



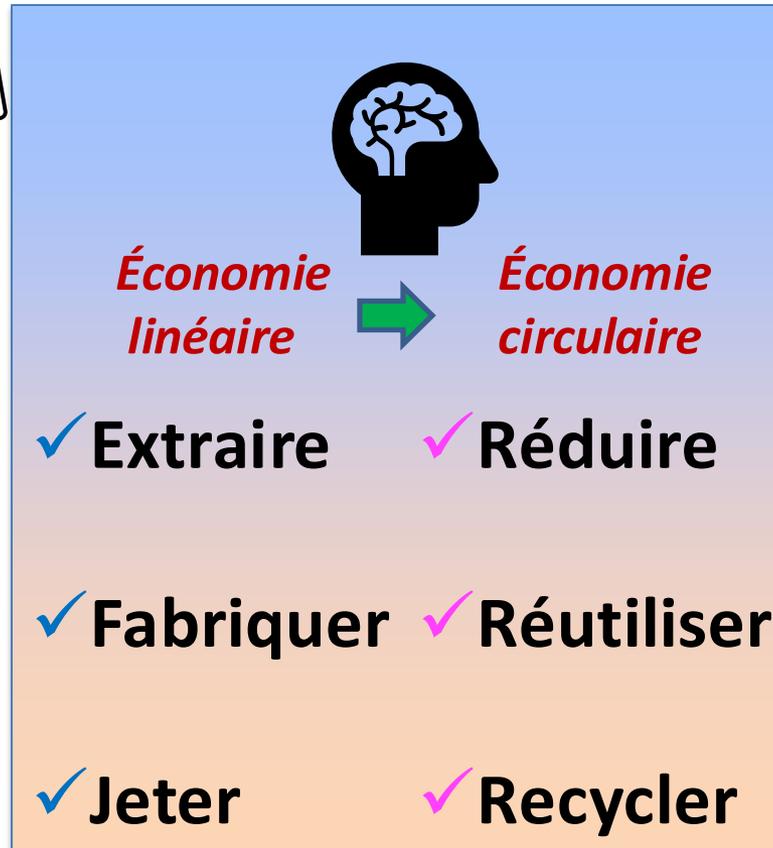
➤ ACV

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

Agir individuellement et collectivement

- Informer 
- Former
- Mesurer
- Réguler
- Modérer
- Mutualiser

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

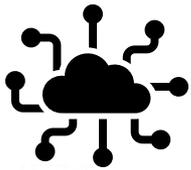


Biens communs
Repenser les modèles de consommation (éviter les forfaits à usages illimités)

Low tech



4 opérateurs = 4 réseaux



« 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



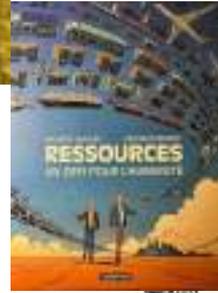
RESSOURCES

Quelques références ...

Philippe Bihouix - Aurore Stephant

Jean Marc Jancovici

Aurélien Barrau - Edgar Morin



<https://theshiftproject.org>

<https://www.ademe.fr>

<https://www.greenit.fr>

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

<https://institutnr.org>

<https://www.fresquedunumerique.org>

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

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