

« Énergie, infrastructure et calcul, quel équilibre ? » CINES, 27 Mars

Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

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

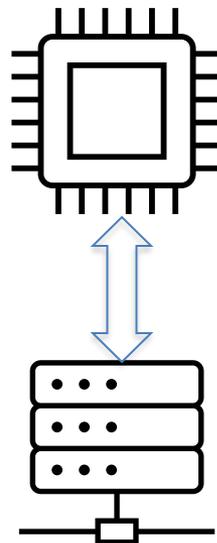
Membre honoraire de l'Institut Universitaire de France

CiNES


**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**

isia



LIRMM

Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

- Contexte
- Data center
- IA
- Energie
- Ressources
- Agir!

Société numérique : performances et risques

MOTS CLÉS

numérique, informatique & IA, microélectronique, communications
objets connectés,

processeurs mémoires

data centers, données, calculs

énergie

ressources

impacts : environnementaux, sociétaux

*Responsabilité Sobriété Sécurité Souveraineté
éthique*

émotion & raison

usages : utiles, futiles

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

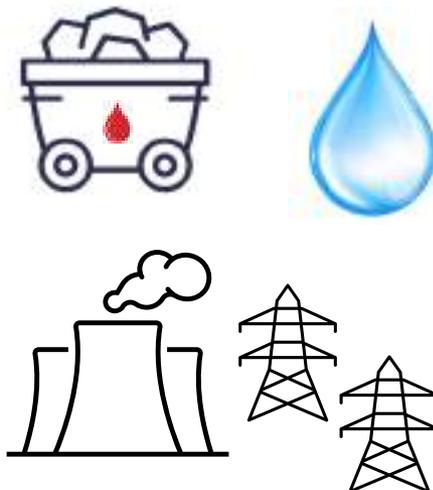
REGULATIONS ?

Empreinte du numérique

BESOINS

✓ **RESSOURCES**

✓ **ENERGIE**



IMPACTS

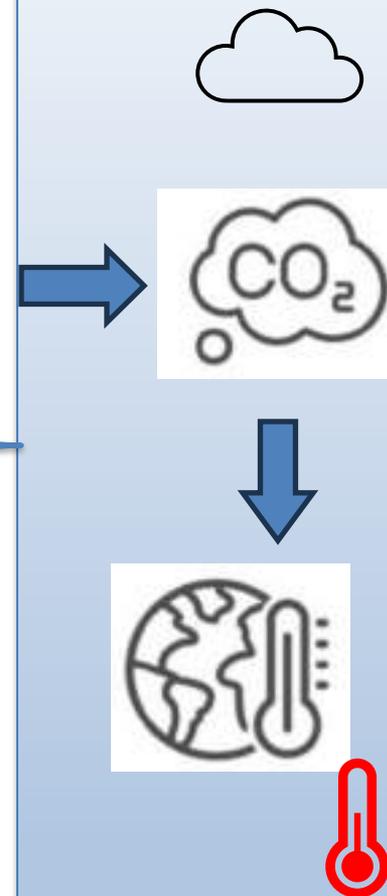
✓ **FABRICATION**

✓ **UTILISATION**

✓ **FIN DE VIE**

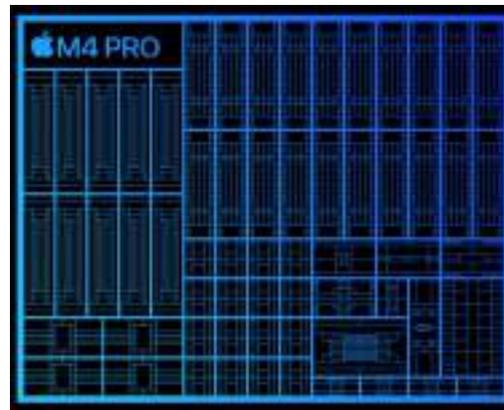
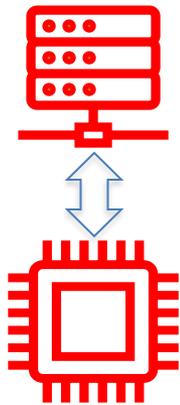


ETHIQUE

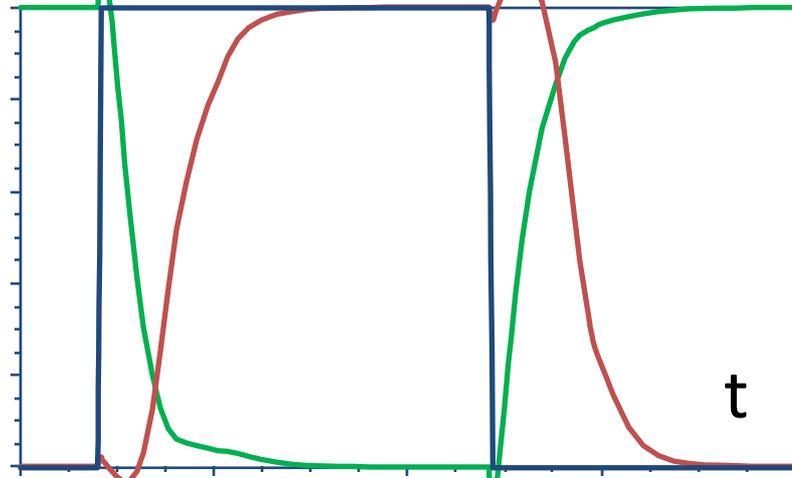
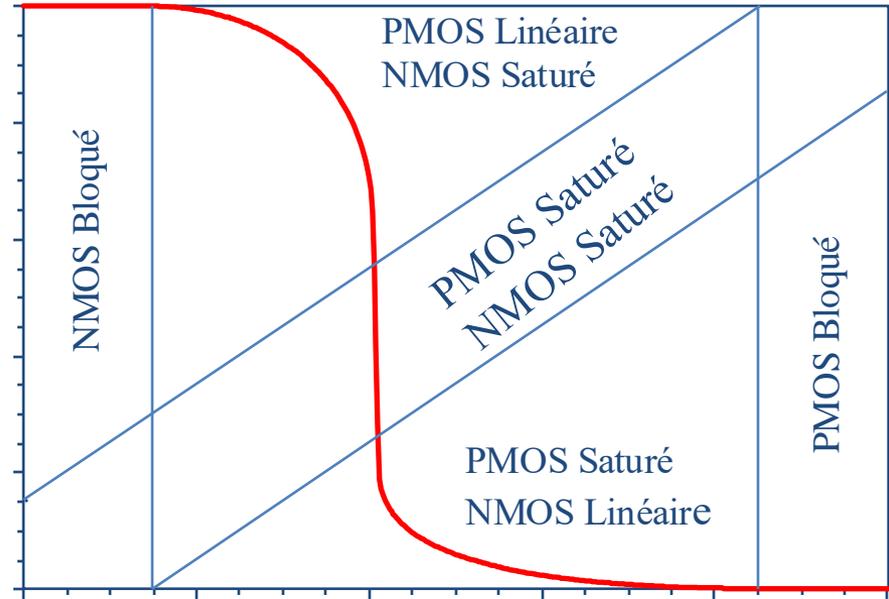
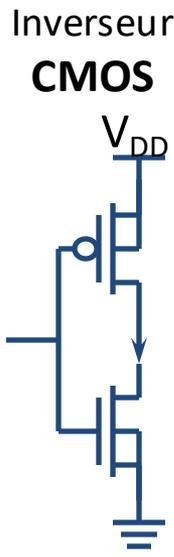
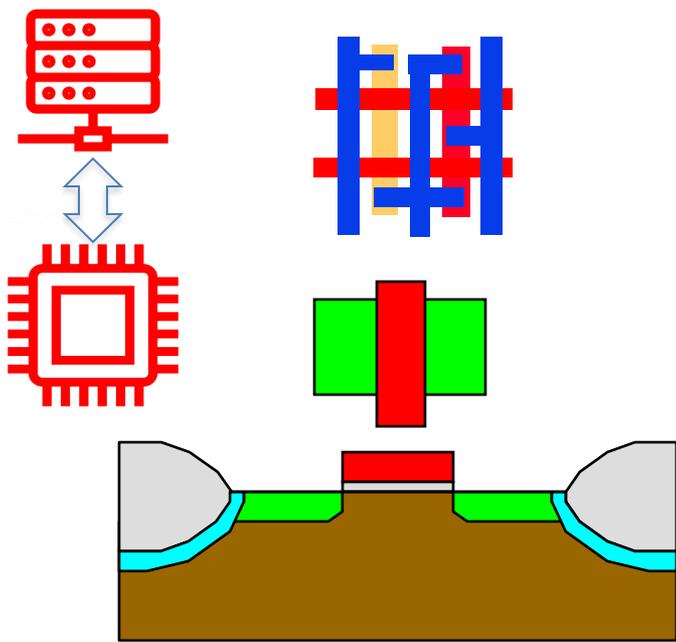


Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

- Contexte
- Data center
- IA
- Energie
- Ressources
- Agir!



- # 30 G Tr. 3nm
- ARM
- CPU, GPU, NPU
- Neural Engine :# 40 T op/s



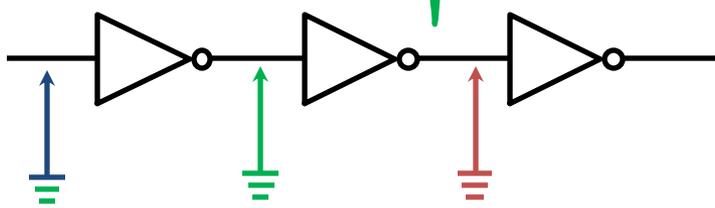
f ?



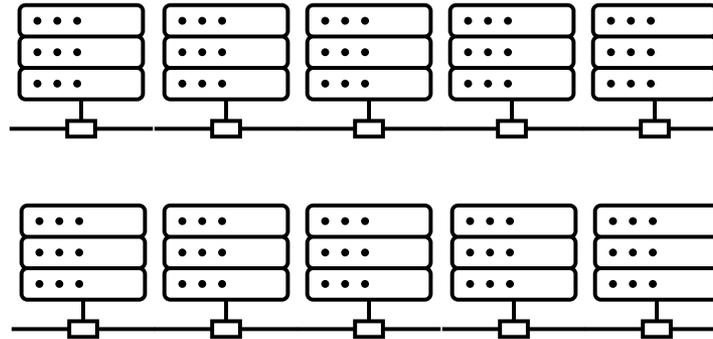
$$P_{totale} = P_{stat} + P_{cc} + P_{dyn}$$

$$P_{dyn} = C \times V_{DD}^2 \times f$$

MESURER!



**MUTUALISATION
DES EQUIPEMENTS**



*CENTRALISÉ
ou
DISTRIBUÉ ?*

**HEBERGEMENT
RESEAUX
CALCUL
STOCKAGE**

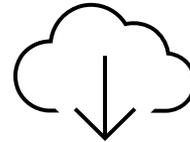
**SOUVERAINETÉ
SECURITÉ
SOBRIETÉ**

**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)

DATA CENTER



CiNES

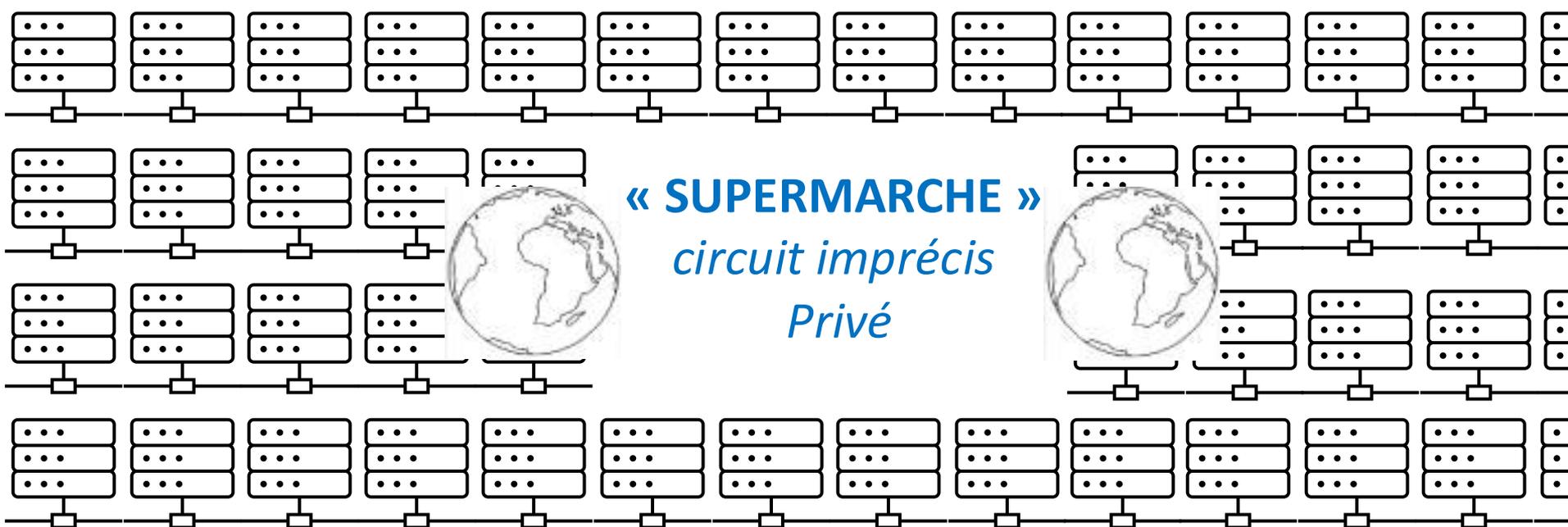
« EPICERIE »
circuit court Public




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

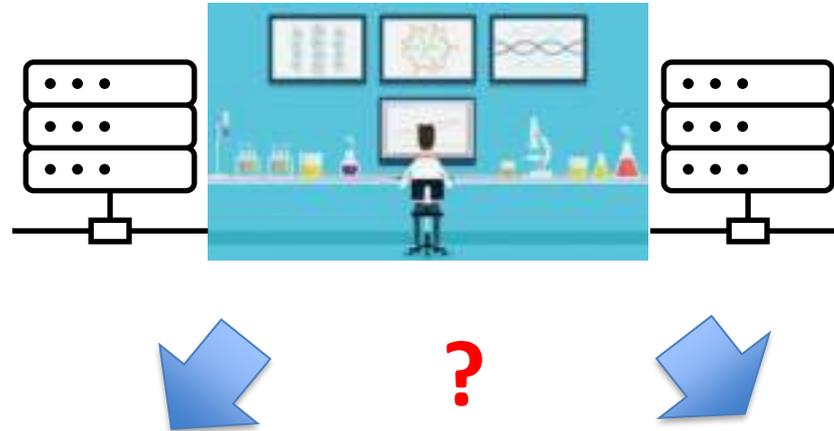
**SOUVERAINETÉ
SECURITÉ
SOBRIÉTÉ**



« SUPERMARCHÉ »
*circuit imprécis
Privé*

CALCULER : BILAN ?

*Adéquation
moyens- besoins :
mesure ?*



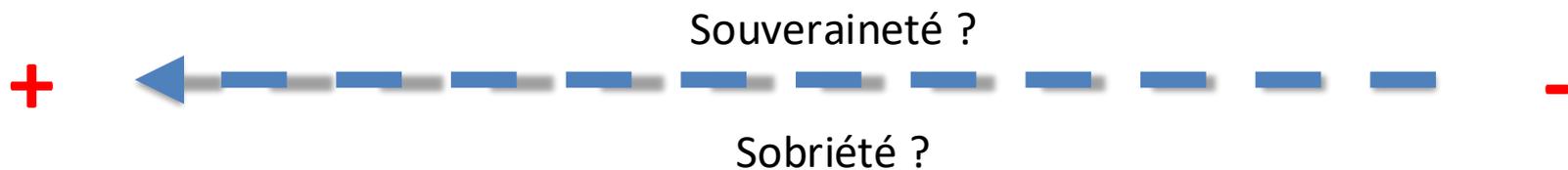
- Local : équipe, laboratoire, établissement
- Régional
- National : GENCI (CINES, IDRI, TGCC)
- Européen : EuroHPC



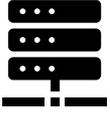
- GAFAM ...
- AUTRE ...



- International



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

MUTUALISATION NATIONALE

CiNES



**ADAstra
1,4 MW**

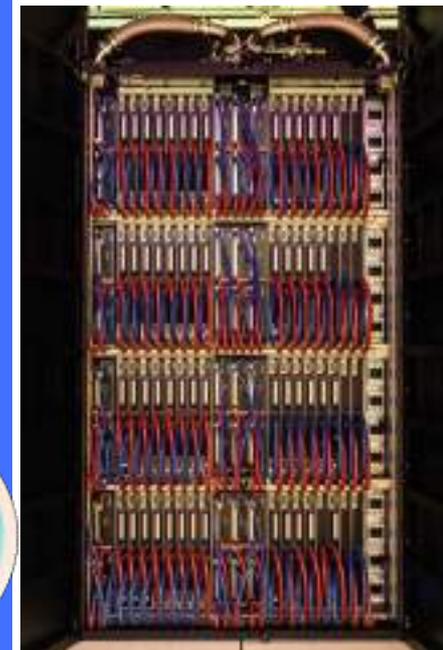


Centre Informatique National de l'Enseignement supérieur

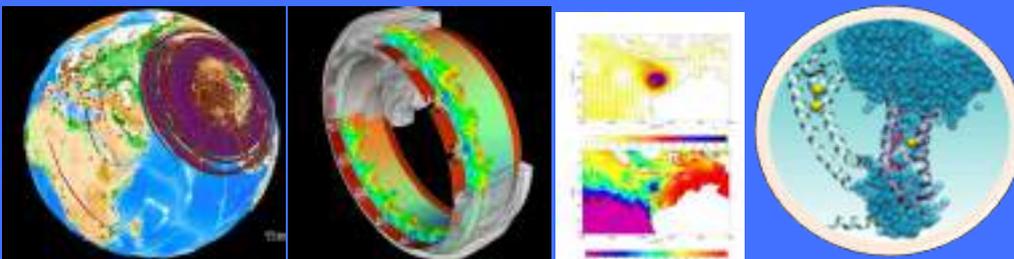
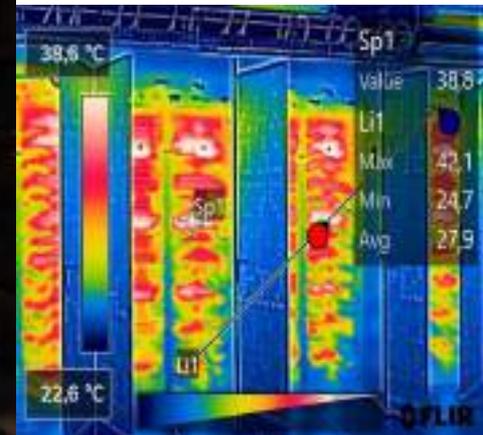
Calcul intensif

Hébergement

Archivage pérenne



ADAstra
1,4 MW
1 W = 70 GFlop/s



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

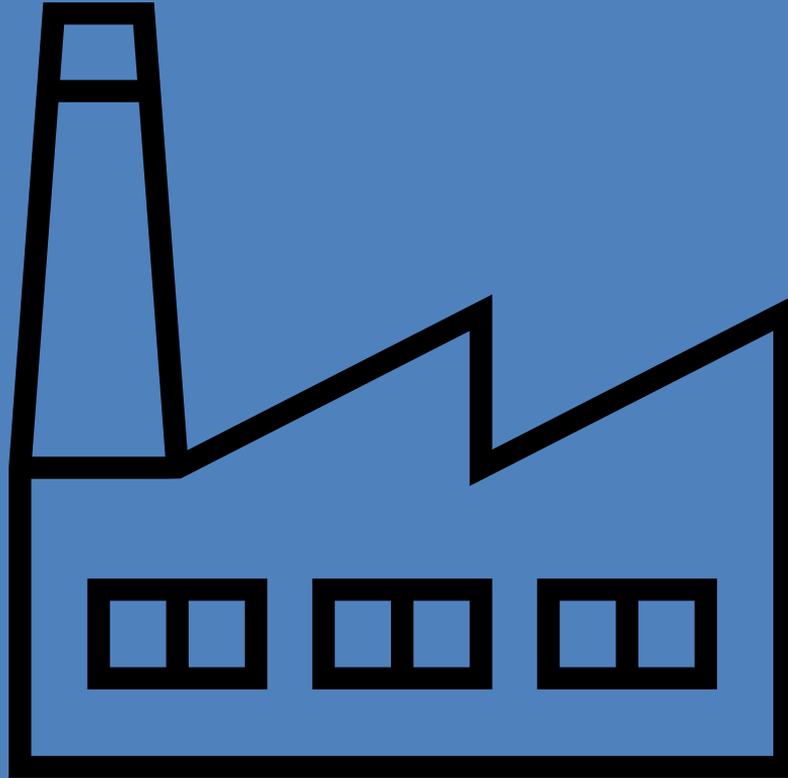


- **2024 : CINES ADAstra 100 PFlop/s = (10^{17})**
> 20 milliards CINES 1980 !
Pour 1 W : $70 \cdot 10^9$ opérations/s (FP 64)

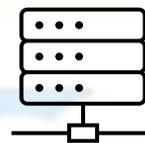


100 milliards de Transistors (# 3 nm)

LES COMPOSANTS FONCTIONNELS D'UN DATA CENTER



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



Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

- Contexte
- Data center
- IA
- Energie
- Ressources
- Agir!

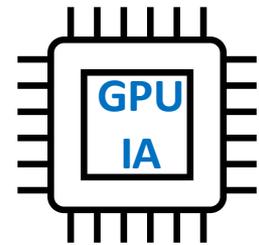
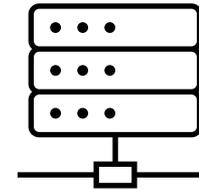
Sobriété numérique et intelligence artificielle

➤ **SANS DATA CENTERS, PAS D'IA !**

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

Frugalité et sobriété

- les IA génératives statistiques (LLM) nécessitent des transferts et stockages de données, des calculs complexes en amont (apprentissage) et en aval (inférences), dans des data centers énergivores
- Cela conduit à s'interroger sur la :
 - ✓ *taille des modèles (LLM - SML)*
 - ✓ *précision des calculs nécessaires (de FP 64 à ... bits) :*
 - ✓ *choix des processeurs et des partitions*
- 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 ...*



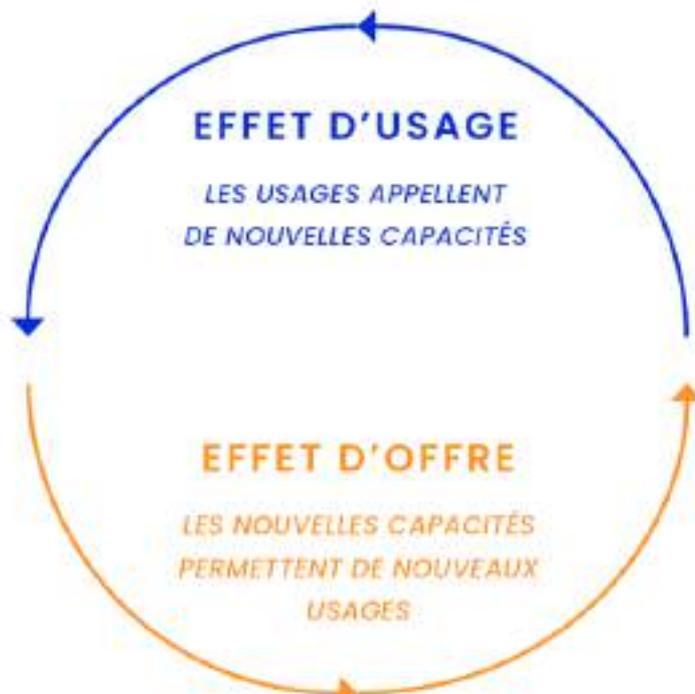
NOS USAGES & NOS INFRASTRUCTURES

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 ?**

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

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

Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

- Contexte
- Data center
- IA
- Energie
- Ressources
- Agir!

Sobriété numérique et intelligence artificielle

➤ **SANS DATA CENTERS, PAS D'IA !**

➤ **SANS ENERGIE, PAS DE DATA CENTERS**

THE CON**!**VERSATION
L'expertise environnementale, l'indépendance journalistique
100% financée par vos cotisations



Les émissions de gaz à effet de serre générées par le numérique sont pour 25 % dues aux data centers, 28 % dues à infrastructures réseau et 47 % dues aux équipements des consommateurs. Shutterstock

L'inquiétante trajectoire de la consommation énergétique du numérique

Publié: 2 mars 2025, 22:13 CET

THE CON**!**VERSATION
L'expertise environnementale, l'indépendance journalistique



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

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 !



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.

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

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

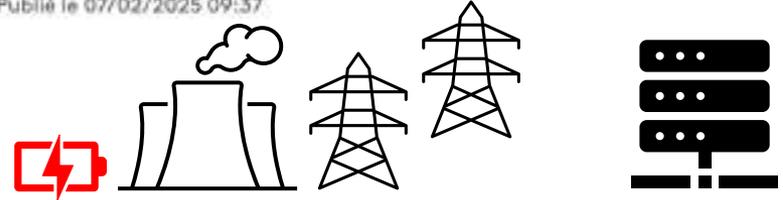
Ce projet "représente des investissements d'un ordre de grandeur de 30 à 50 milliards d'euros", a précisé la présidence.

franceinfo avec AFP
France Télévisions



1 GW ?

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

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.

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

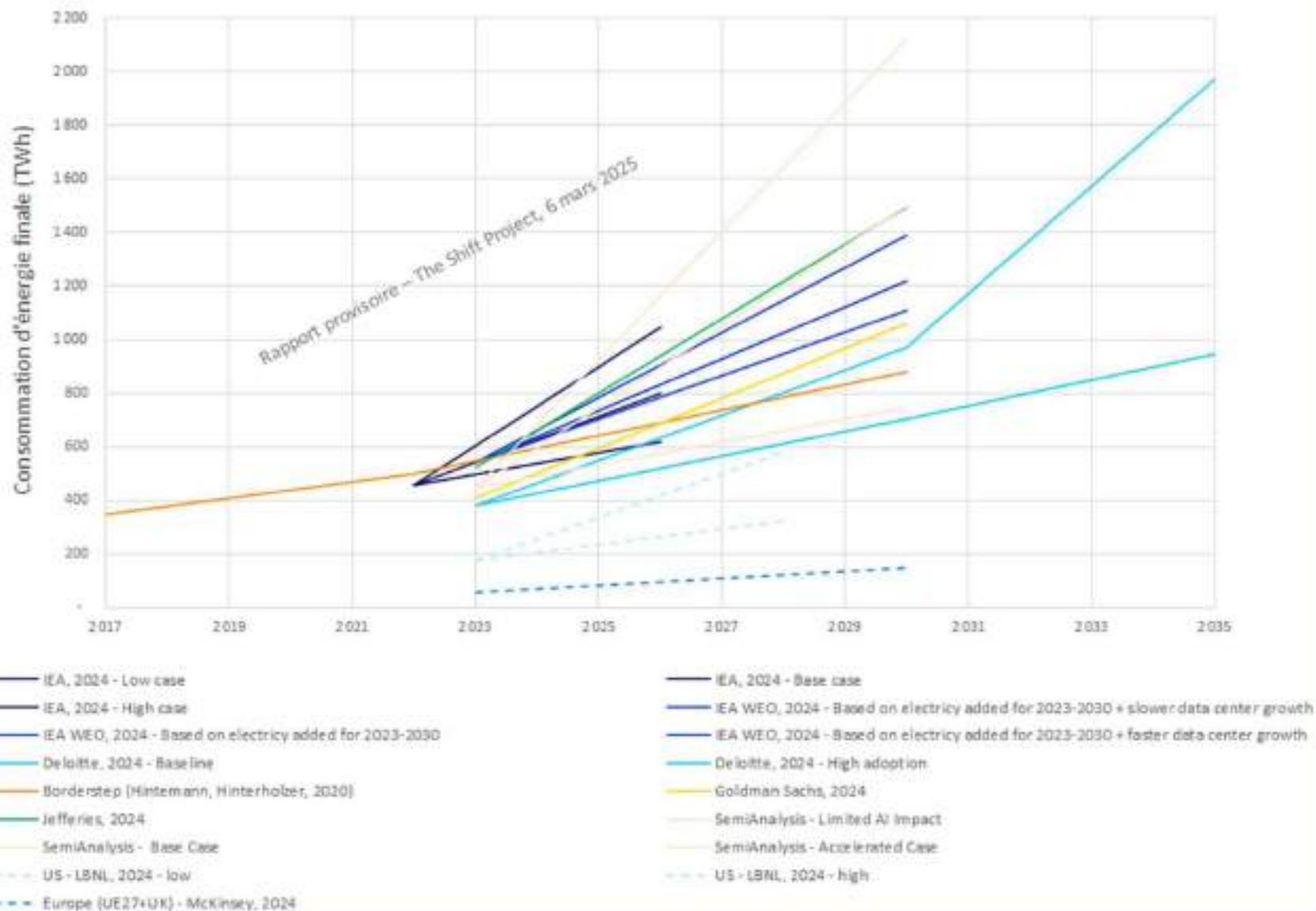


Figure 8 - État des lieux des prévisions de consommation électrique annuelle des centres de données mondiaux. Sources : (Deloitte, 2024; Goldman Sachs, 2024; Hintemann R. & Hinterholzer S., 2020; IEA, 2024a, 2024b; Jefferies, 2024; LBNL et al., 2024; McKinsey & Company, 2024; SemiAnalysis et al., 2024)

Training compute of frontier models

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

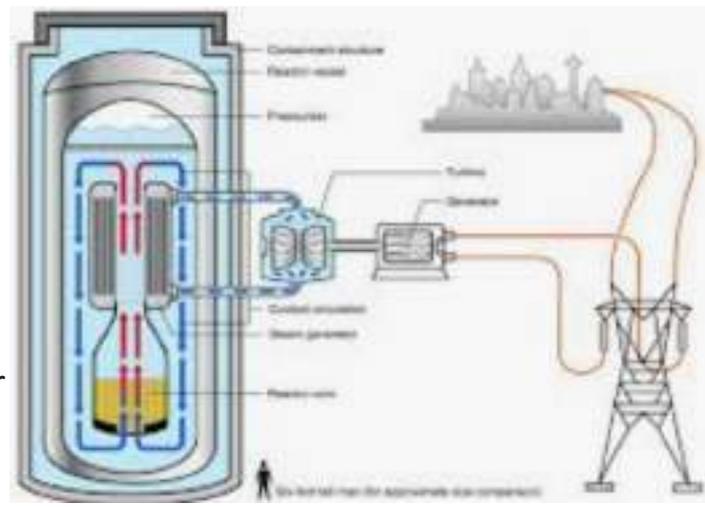


1 exaflop = 10^{18}
 GPT4 = 10^{25}
 Soit $\times 10^7$ s (4 mois en FP64)
 (# 1 mois en FP16)

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)

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

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
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

Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

- Contexte
- Data center
- IA
- Energie
- Ressources
- Agir!

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)



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



RESSOURCES

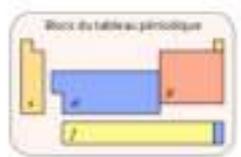
Tableau périodique des éléments

Groupe → 1
Période ↓

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

nom de l'élément (gpc: 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 post-transition, Métaux lourds

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

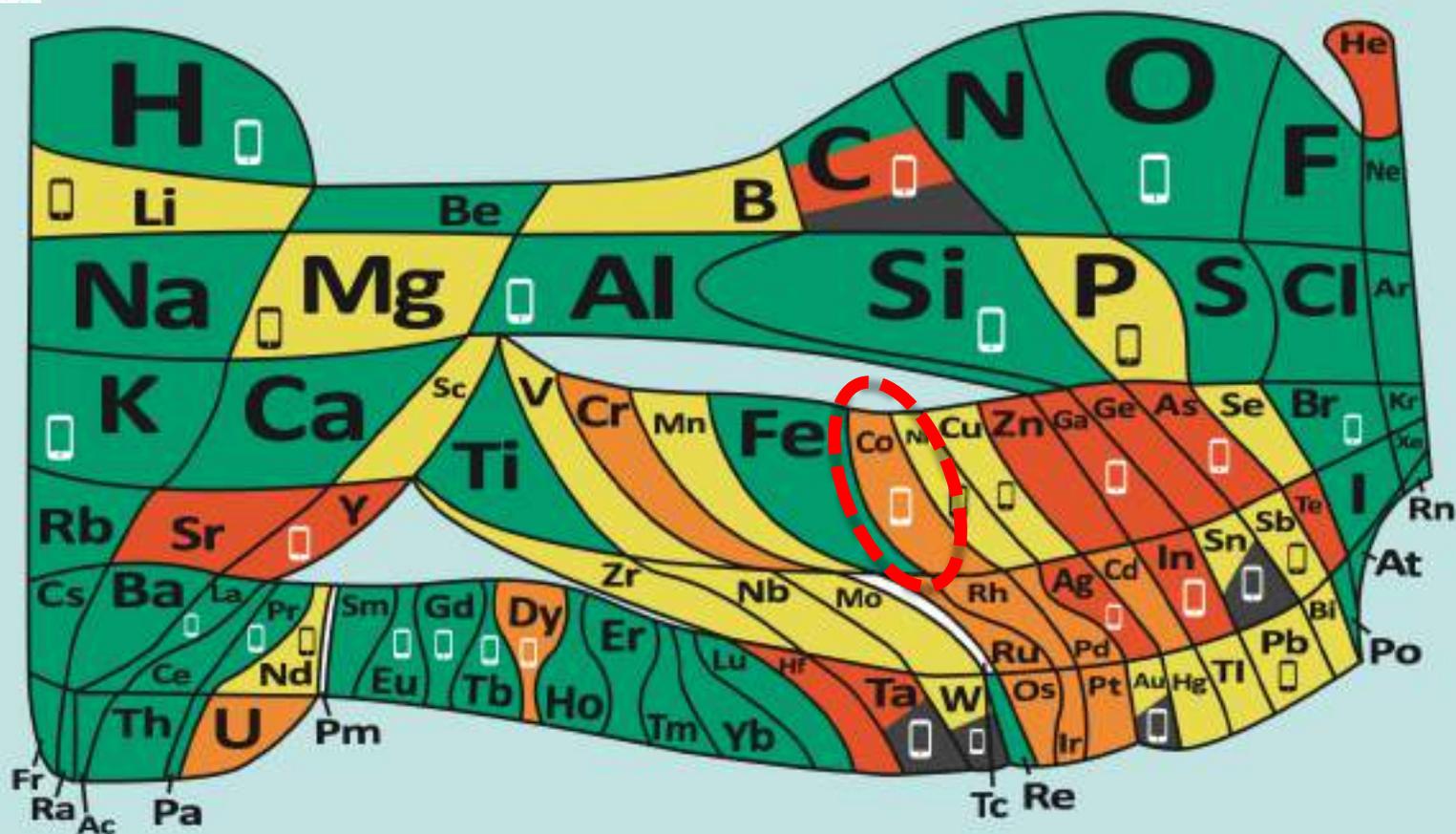
Origine: primordial, désintégration d'autres éléments, synthétique



RESSOURCES

Les 90 éléments qui composent notre monde

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



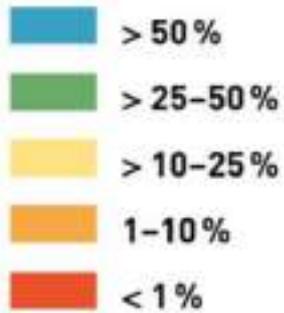
- Menace sérieuse dans les prochains 100 ans
- Menace croissante due à une utilisation accrue
- Disponibilité limitée avec futur risque d'approvisionnement
- Ressource abondante
- Élément synthétique
- Minerais dans des zones de conflits
- Éléments utilisés dans un smartphone

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



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

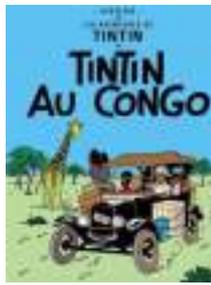
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

** 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



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

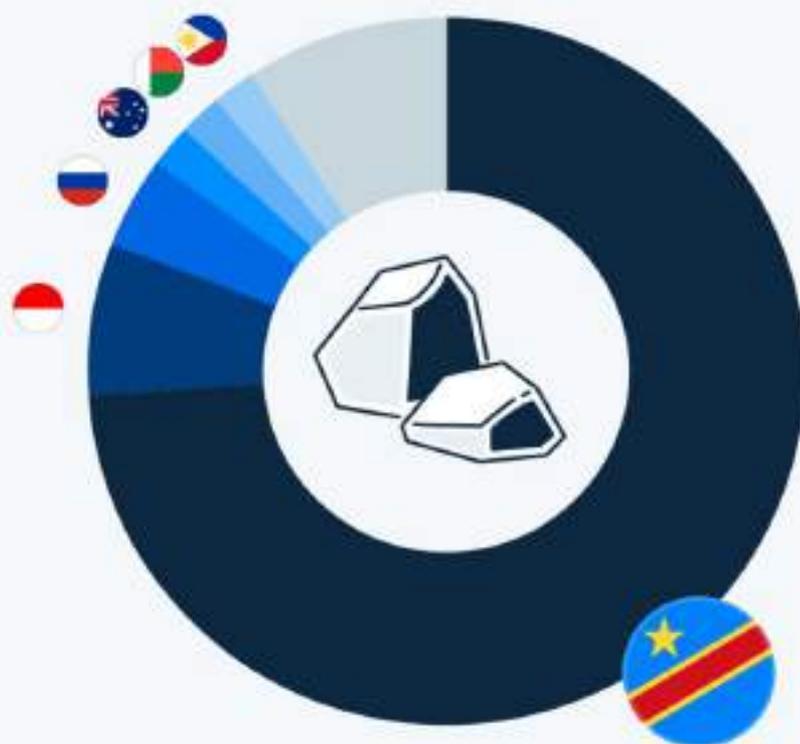


QUELS OBJETS ?

- 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



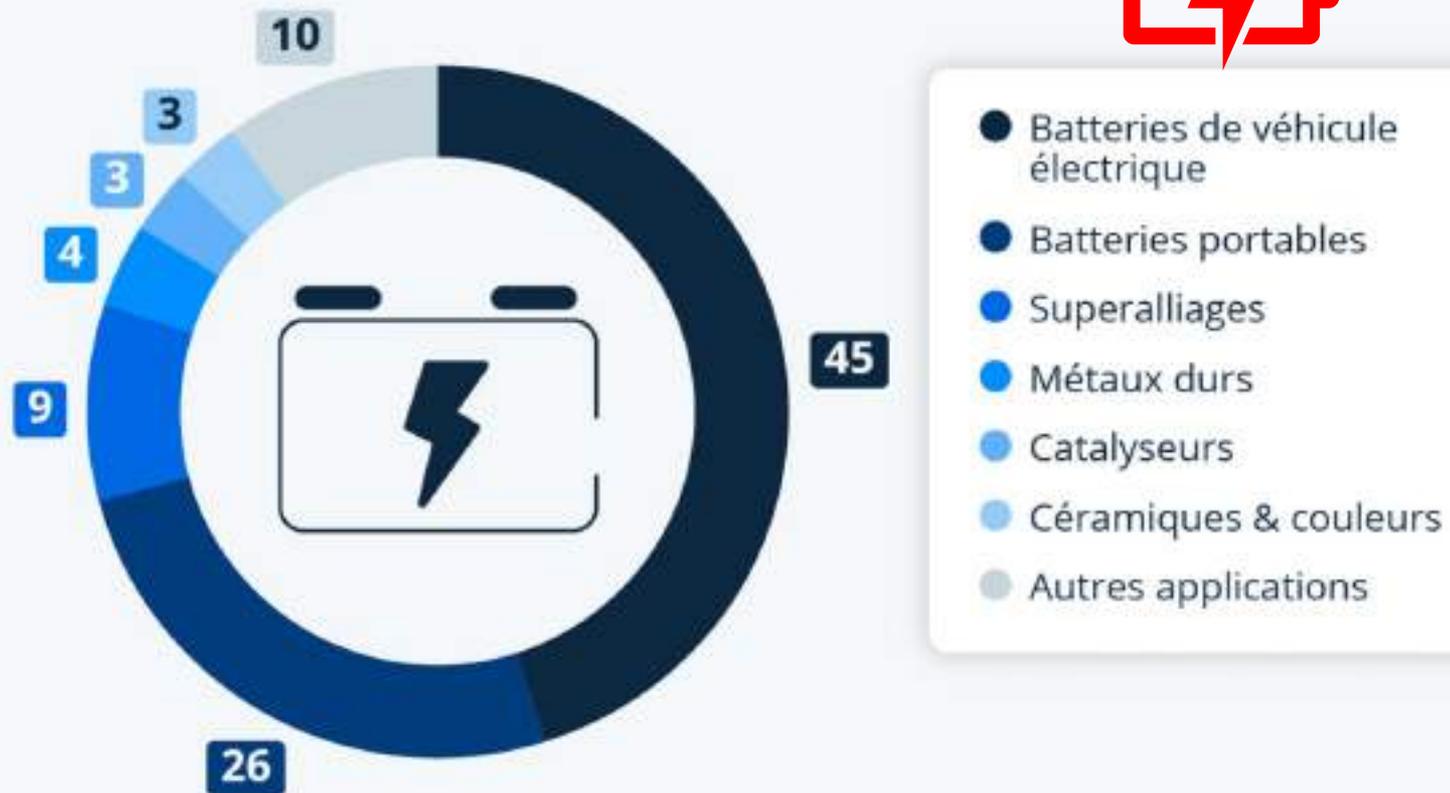
- **170 000** République démocratique du Congo
- **17 000** Indonésie
- **8 800** Russie
- **4 600** Australie
- **4 000** Madagascar
- **3 800** Philippines
- **21 100** Reste du monde

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

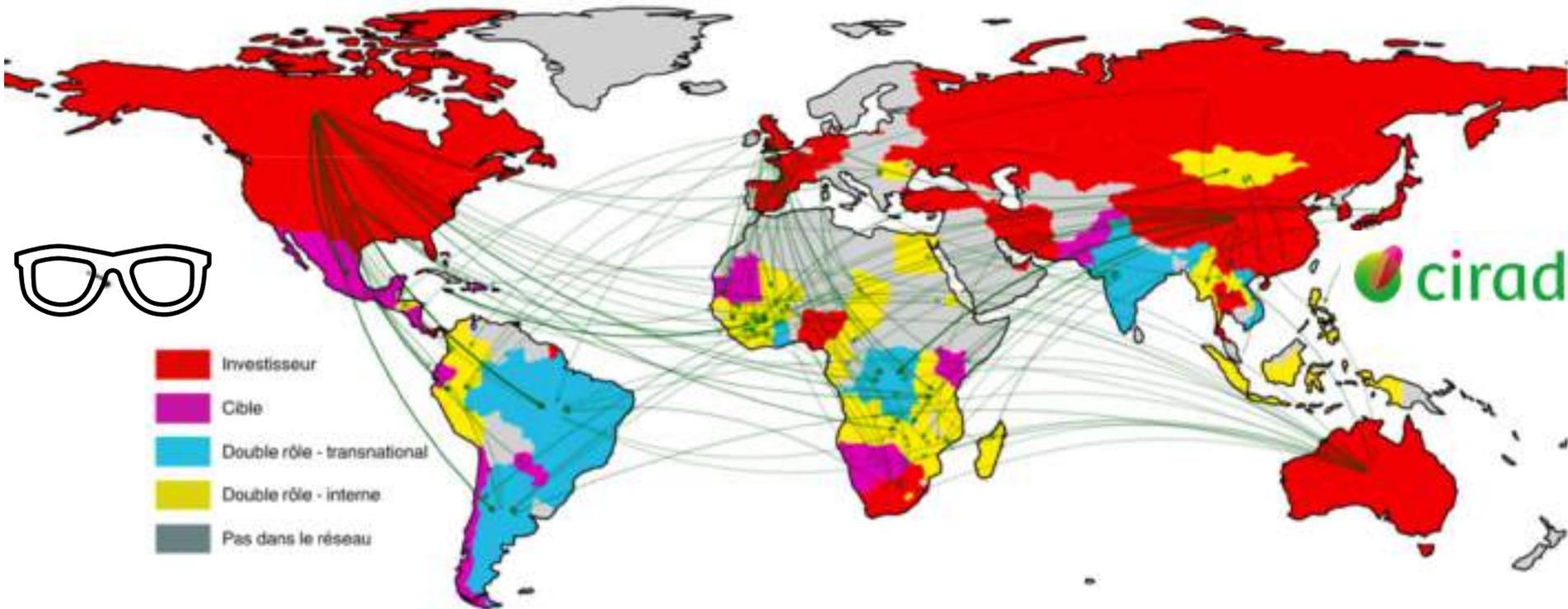
L'Est du pays est formellement déconseillé (en rouge), à l'exception des villes de Goma et Bukavu, qui sont déconseillées sauf raisons impératives (en orange). La situation sécuritaire dans l'Est de la RDC est marquée par une grande violence et la présence de groupes armés congolais et étrangers, ainsi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



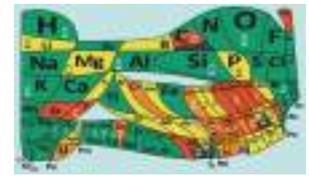
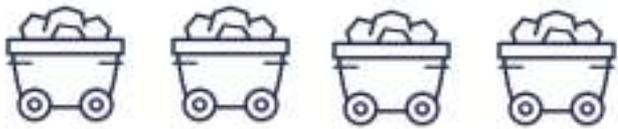
A qui appartiennent les terres? *formaliser un indice d'impact sociétal*

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

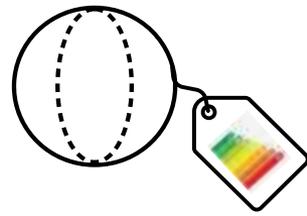
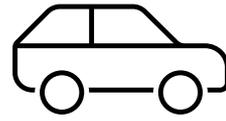
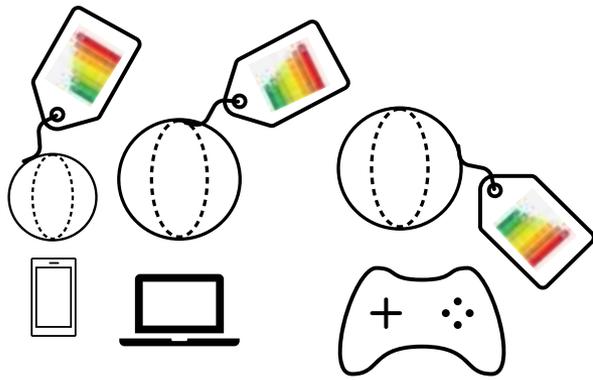
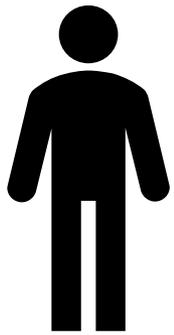


Co



MINERAIS







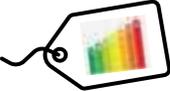
Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

- Contexte
- Data center
- IA
- Energie
- Ressources
- Agir!



Limiter la frénésie numérique

Agir individuellement et collectivement

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

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

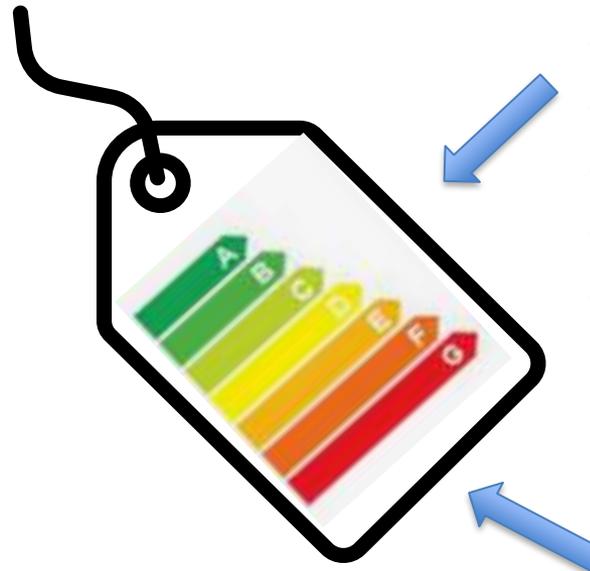
GARANTIE

MAINTENANCE

RECYCLAGE

**CONSOMMATION
ELECTRIQUE**

*Marche
Veille*



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

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.

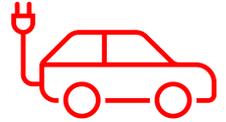
REGULER

➤ ***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>

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



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 ?

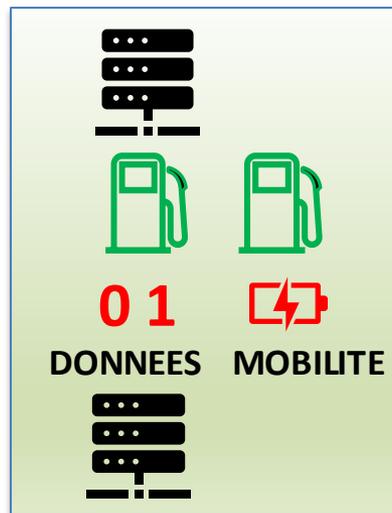
Mobilités et impacts

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

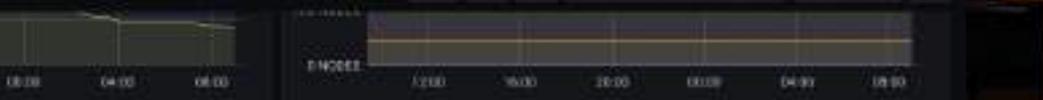
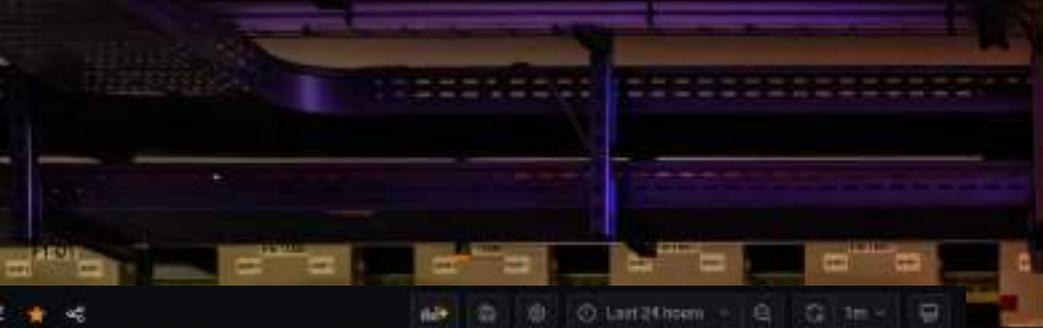


Voiture numérique électrique personnelle autonome ?

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



→ **Mutualisation ?**



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



Ad astra per

MESURER!

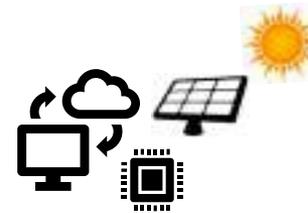
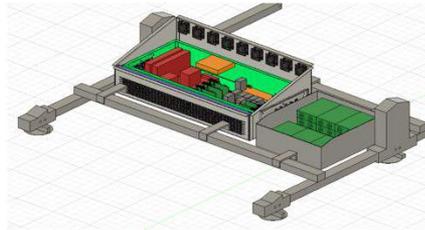
Low tech

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

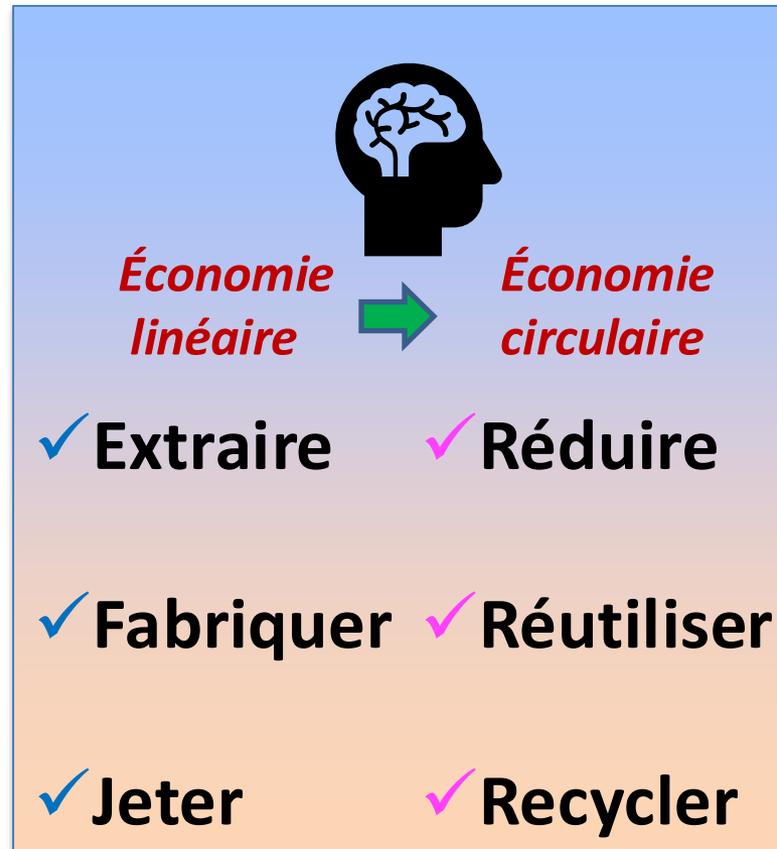
Offrir de nouveaux services mutualisés :

- 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)

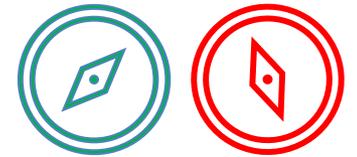


Agir individuellement et collectivement

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



Low tech



➤ ACV

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

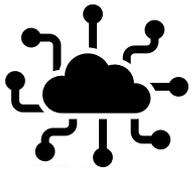
Biens communs



- Repenser les modèles de consommation
- éviter les forfaits à usages illimités



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

Séance du 29 avril 2024

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

Michel ROBERT

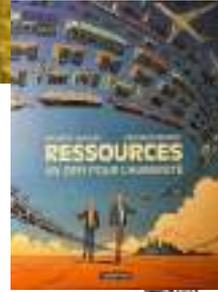
Professeur à l'Université de Montpellier
Directeur du Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur
Membre de l'Académie des Sciences et des Lettres de Montpellier

Quelques 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)

« Énergie, infrastructure et calcul, quel équilibre ? » CINES, 27 Mars

Calculs, données, IA et transition écologique enjeux, usages, impacts

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

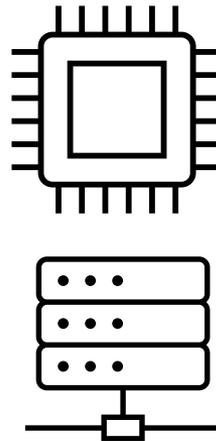
Membre honoraire de l'Institut Universitaire de France




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

isia



LIRMM

