

Utilisation raisonnée des moyens informatiques

pour les Mines Nancy, parcours Recherche

Jérémie Gaidamour

Novembre 2023

Introduction

Objectifs de cette présentation :

- Considérer l'impact environnemental de l'utilisation des technologies numériques, notamment la consommation d'énergie des dispositifs et des centres de données.
- Favoriser des pratiques qui contribuent à la durabilité numérique.

Cette présentation s'appuie sur le travail de :

- S. Contassot-Vivier - Réalité matérielle du numérique, 2023
- R. David - Dans l'ombre du numérique, 2019

Nos équipements informatiques :

- À nous tous réunis, combien d'appareils numériques possédons-nous ?

Nos usages :

- Pour quel usage en général ?
- Combien de messages avons-nous envoyé ou reçu durant la journée ?

Utilisation d'équipements distants :

- Combien de Mo transférés ?
- Où vont ces données ?

Aujourd'hui, toutes les applications (ex: applications mobiles) échangent des données avec un ou plusieurs serveurs.

Qu'est-ce qu'un serveur ?

Les datacenters :

- regroupe toute l'activité informatique d'une société, d'un établissement.
- surfaces de plusieurs centaines ou milliers de m²
- la consommation énergétique est très importante : équivalent de 3 habitations sur 4 m² de surface !
- nécessite des équipements annexes important (ventilation, climatisation, sécurité incendie, ...)

Centres de données – Datacenters

Exemple de Google :

<https://devlup.com/social-media/google-social-media/inside-google-powerful-datacenters/4456>



Centres de données – Datacenters

Exemple de Google :

<https://devlup.com/social-media/google-social-media/inside-google-powerful-datacenters/4456>



Quelques chiffres

Nos équipements informatiques :

- 8,58 milliards d'abonnements mobiles en service dans le monde en 2022 pour une population mondiale de 7,95 milliards d'habitants.
- Plus de 2 milliards d'ordinateurs.

Nos usages :

- 300 milliards d'e-mails échangés chaque jour à travers le monde, soit environ 200 millions d'e-mails par minute.
- Le streaming vidéo représente 61 % du trafic Internet.

Utilisation d'équipements distants :

- 8.6 millions de datacenters dans le monde
- 378 câbles sous-marins, pour un total de 1,2 million de km.
Circonférence de la terre : 40 075 km

Dématérialisation trompeuse

- Introduction
- Cycle de vie
 - Fabrication
 - Utilisation
 - Fin de Vie
- Utilisation raisonnée des moyens informatiques
 - Bonnes pratiques
 - Calcul scientifique
 - Données numériques et stockage

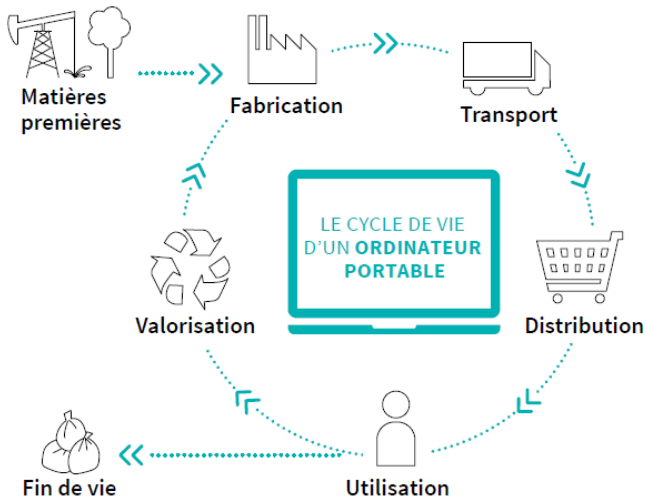
Cycle de vie

Quel impact environnemental du numérique ?

- Fabrication des machines
 - Provenance des matières premières ?
 - Acheminements des appareils ?
 - 22 kg de produits chimiques pour un ordinateur*
- Phase d'usage
 - Consommation d'énergie
 - Internet = 2% des émissions mondiales de GES (= transports aériens)*
- Fin de vie ?
 - Qu'advient-il des machines ?
 - 70 à 90% des DEE fait l'objet d'un trafic et ne suit pas des filières de recyclage réglementées*

Source : étude WeGreenIT, 2018

LE CYCLE DE VIE D'UN ORDINATEUR



Analyse de Cycle de Vie :

- Les impacts environnementaux concernent l'ensemble du cycle de vie d'un produit ou service numérique.
- L'ACV : méthode d'évaluation normalisée (ISO 14040 et 14044) permettant de réaliser un bilan environnemental multi-critère et multi-étape d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie.
- Ici, on s'intéresse à 3 étapes clés : Fabrication, Utilisation et Fin de Vie

- Exemple pour un ordinateur :
 - 22 kg de produits chimiques pour un ordinateur
 - 40 kg de combustible
 - 1,5 T d'eau
- Matériaux utilisés :
 - Extraction minière
 - Parfois dans des conditions sociales et environnementales difficiles
 - Ressources non renouvelables et très peu recyclées
 - Dans un PC neuf, très peu de matériaux issus du recyclage

Matériaux :

- 45 métaux différents dans un ordinateur portable
- Exemple de l'Indium (pour les écrans à cristaux liquide):
 - Masse par appareil : 39mg pour un ordinateur portable, 254mg pour un écran LCD
 - Coût : 70\$/kg en 2001, 700\$/kg en 2010
 - Production : x 2.5 10 ans
 - Recyclage : < 1%

→ La pression sur les ressources naturelles vient aussi de l'industrie numérique.

Phase de fabrication - Matériaux

Constituants d'un smartphone :

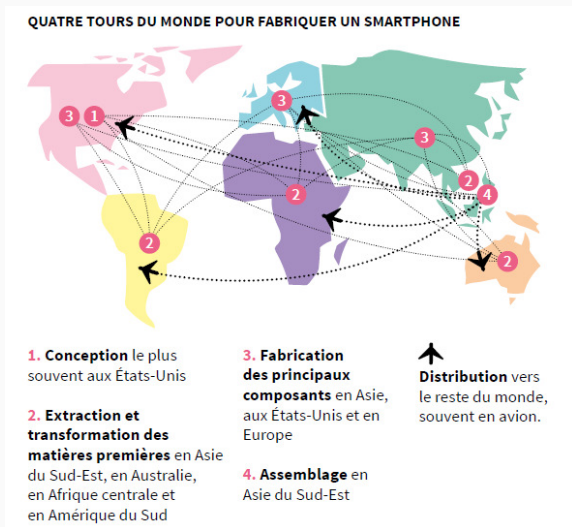
↓→	1	2	3 ^b	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H																		
2	3 Li	4 Be												6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl		
4	19 K	20 Ca		21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge		35 Br		
5	37 Rb	38 Sr		39 Y	40 Zr						46 Pd	47 Ag		49 In		51 Sb	52 Te	53 I	
6		56 Ba	*		72 Hf		74 W			77 Ir	78 Pt	79 Au		81 Tl	82 Pb	83 Bi			
7			**																
			↓																
Lanthanides	*				60 Nd					64 Gd					68 Er	69 Tm			
Actinides	**									95 Am									

Le numérique engloutit une large part de la production mondiale des métaux :

Élément	Part (%)	Utilisation
terbium	88	aimants, éclairages
germanium	87	fibres optiques / infrarouges
gallium	70	circuits intégrés
ruthénium	66	divers éléments électroniques
dysprosium	63	aimants
indium	60	écrans, semiconducteurs, LED
erbium	50	éclairages
europium	50	
gadolinium	50	divers éléments électroniques
iridium	43	
béryllium	42	ignifuges
antimoine	41	aimants
néodyme	26	

Phase de fabrication - Transport

Le voyage d'un smartphone :



Optimiser la durée de vie des équipements en choisissant du matériel *durable* et *évolutif*:

- Acquérir une garantie longue (au moins 5 ans)
- Ajout de RAM ou choisir initialement une quantité élevée de mémoire
- Choisir un disque dur adapté SSD plus robuste, conso. 0,15 watt vs. 2,5-5 W)
- Une batterie 'Long Life Cycle' représente un poids environnemental environ 2 à 3 fois inférieur à une batterie standard !¹
- Remplacer ou ajouter des composants pour prolonger la durée de vie

Dans l'enseignement supérieur et la recherche - le marché MatInfo :

- Appel d'offre avec exigences éco-label, durée garantie, réparabilité, suivi...

¹sur 3 ans d'utilisation, avec une recharge par jour, source : MatInfo

Exemple : renouveler ou conserver un ancien serveur ?

- Fabrication d'un serveur + transport : 500 + 15 kg eq CO2
- Taux d'émission de GES : pour 1KWH produit en France : 0,09 kg CO2 / KWH
- PUE (Power Usage Effectiveness) du datacenter : facteur 2
- Serveur 1 - 100W : consommation annuelle = $100 \times 24 \times 365 = 876$ KWH
- Serveur 2 - 80W : consommation annuelle = $80 \times 24 \times 365 = 701$ KWH

Q: est-il intéressant de remplacer le serveur 1 par le serveur 2 au bout de 4 ans ?

Exemple : renouveler ou conserver un ancien serveur ?

- Fabrication d'un serveur + transport : $500 + 15$ kg eq CO₂
- Taux d'émission de GES : pour 1KWH produit en France : 0,09 kg CO₂ / KWH
- PUE (Power Usage Effectiveness) du datacenter : facteur 2
- Serveur 1 - 100W : consommation annuelle = $100 \times 24 \times 365 = 876$ KWH
- Serveur 2 - 80W : consommation annuelle = $80 \times 24 \times 365 = 701$ KWH

Q: est-il intéressant de remplacer le serveur 1 par le serveur 2 au bout de 4 ans ?

- Sans remplacement : $(500 + 15) + 8 \times 2 \times 0.09 \times 876 = 1776$ kg eq CO₂
- Avec remplacement au bout de 4 ans :
 $2 \times (500+15) + 4 \times 2 \times 0.09 \times (876 + 701) = 2165$ kg eq CO₂

- Motivation économique : passer d'un marché d'équipement à un marché de renouvellement
- Obliger le consommateur à renouveler ses équipements plus tôt :
 - Imprimantes
 - Téléphones portables
 - Ordinateurs
- Conséquences économiques et environnementales
- Comment lutter ?
 - Bien acheter, réparer, modifier
 - Aspect législatif Article L213-4-1 Code de la consommation :
« L'obsolescence programmée est punie d'une peine de deux ans d'emprisonnement et de 300 000 € d'amende » (2016)

- En terme d'**impacts environnementaux**, la phase de fabrication est prédominante pour les serveurs informatiques et les postes de travail.
- Pour les seuls **gaz à effets de serre**, la phase de fabrication domine pour les petits objets. La phase d'utilisation peut dominer pour les serveurs.

Consommation d'énergie ?

Quelques chiffres...

- 1 box ADSL : consomme 20 Watts, allumée en permanence (pour attendre...)
⇒ Sur la facture d'électricité : 25€
- Il y a 23 Millions de box en France (4 TWh / an)
- 0.8% de la consommation électrique totale annuelle en France (pour une fonction qui consiste à attendre)
- 1 PC consomme entre 100 et 200 Watts



Source : R.Ferret GN3+ CBP DC IaaS workshop, Helsinki, 12/9/2014

Consommation d'énergie et impact environnemental difficile à évaluer précisément :

- Grande diversité de matériels
- Téléphones, PC fixes/portables, tablettes, imprimantes, copieurs, écrans, vidéos-projecteurs, routeurs, switches,...

Diverses études ou livres :

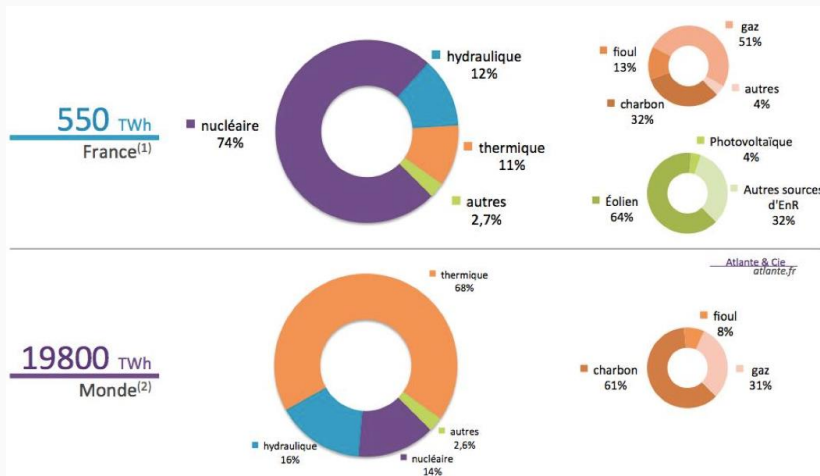
- GreenIT : article sur rapport de Enertech, Ademe, EDF, UE (2008)
- Ademe :
 - Étude sur conso. numérique dans 50 organisations (2012-2015)
 - Guide du numérique (2019)
- Total Énergies : article sur la consommation d'internet (2018)
- CNRS : article sur le manque d'optimisation du numérique (2018)
- EDF : présentation des chiffres de la consommation (2019)
- INSEE : article sur les impacts environnementaux du numérique
- France Culture : émission sur le numérique et l'environnement
- L'enfer numérique : livre sur l'impact environnemental du numérique

On constate :

- Une augmentation forte de la part du numérique :
 - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente 13,5% des consommations des résidences en France
- Autour de 10% de la consommation mondiale d'électricité
- Et ≈4% des émissions de CO2 (2,5% pour l'aviation civile mondiale)
- Conso Bitcoin 2021 > celle des habitants de l'Argentine (45 M)
- Les matériels consomment en continu (≈ 50%)
- En moyenne, 35 applis tournent sur un smartphone ! ⇒ autonomie ↘
- Matériels souvent surdimensionnés pour absorber les pics
 - Logiciels mal conçus (développements rapides)
- Habitudes de consommation :
 - 1 message de 1 Mo = 20 gr CO2 = ampoule 60 W pdt 25 min
 - Streaming audio/video, navigation, pubs, mails à distance,...
 - Optimisation implique souvent nouveaux usages et non économies

Phase d'utilisation - Energie

D'où vient notre électricité ?



Source : R.Ferret GN3+ CBP DC IaaS workshop, Helsinki, 12/9/2014

Bilan :

- La phase d'usage consomme aussi des ressources fossiles !
- En phase d'usage, il est important de consommer mieux

- Selon votre expérience, quels sont les motifs de fin de vie d'un ordinateur ?

- Les DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) sont signalés par le sigle



- Il en existe 7 catégories. Seuls 7% des DEEE d'origine professionnelle sont collectés (source : ECOINFO)
- De 17 à 23 kg produits de DEEE/an/habitant en France
- Ces DEEE contiennent des ressources difficilement valorisables. Pourquoi ?
- Selon vous, quels sont les éléments recherchés ?

- Les DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) sont signalés par le sigle



- Il en existe 7 catégories. Seuls 7% des DEEE d'origine professionnelle sont collectés (source : ECOINFO)
- De 17 à 23 kg produits de DEEE/an/habitant en France
- Ces DEEE contiennent des ressources difficilement valorisables. Pourquoi ?
- Selon vous, quels sont les éléments recherchés ?
 - Platine, l'étain, le fer, l'or, l'argent, le cuivre et l'aluminium.
 - 10 milliards de dollars de métaux précieux sont jetés chaque année avec les déchets électroniques (source : ONU).

Les bons côtés du recyclage



Stock dans une filière contrôlée, en France

Les mauvais côté du recyclage



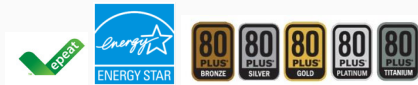
Filière illégale, Accra (Ghana)

Pour aller plus loin: Cosima Dannoritzer, La tragédie électronique, 2014 (film)

Du nouveau !

Par un décret d'application de la loi REEN (avril 2022), les services de l'Etat devront dès 2023 **orienter vers le réemploi ou la réutilisation 25% du matériel informatique réformé**. Puis 35 % en 2024 et 50 % en 2025.

- Réduire les impacts (au moins en relatif) de la phase de production
 - Augmenter la durée de vie, choisir les bons labels
- Réduire les impacts de la phase d'usage
 - Consommer moins et consommer mieux
- Réduire les impacts de la fin de vie
 - Utiliser des filières de recyclage maîtrisées



Utilisation raisonnée du numérique

L'utilisation des moyens informatiques en recherche :

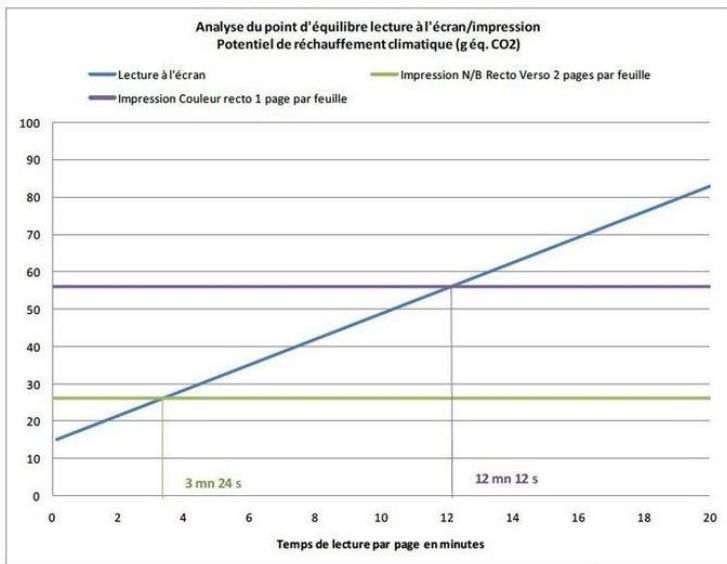
- Accès rapide à l'information
- Collaborer, communiquer (email, visio-conférence, ...)
- Dématérialiser (bureautique, écriture, lecture de papiers)
- Faire des calculs ou de la science
 - Modélisation, simulation, calcul scientifique
 - Traitement de l'information, IA, ...
- Stocker des résultats

Simplees habitudes, en tant qu'utilisateur :

- Eteindre mon ordinateur ou le laisser en veille ?
- Mon écran est-il à la bonne luminosité ?
- Ai-je débranché mon chargeur une fois mon appareil chargé ?
- Les fonctions GPS, Wifi, bluetooth sur mon téléphone / tablette doivent-elles être constamment activées ?
- Ai-je déjà nettoyé mon ordinateur cette année ?
- Mon appareil est-il bien protégé contre les virus et malware ?
- Ai-je réellement besoin d'un nouvel objet connecté ? Le modèle souhaité est-il disponible en vente d'occasion ?

- Les imprimantes consomment du papier et du toner, soit 2 éléments sur lesquels on peut agir !
 - Mode brouillon par défaut, noir & blanc, recto-verso, ...
 - Il existe des polices économes en encre : Garamond, Courier, Times New Roman, Helvetica, Century Gothic, EcoFont Vera Sans

Bien utiliser - Imprimer ou lire à l'écran ?



- Mutualisation des ressources : déménagement vers le Datacenter Mutualisé Lorrain (UL, CHRU et Métropole du Grand Nancy)
 - Rationalisation des infrastructures (en réduire le nombre et fermer les petites salles d'hébergement)
 - Conserver maîtrise de l'hébergement des données (vs. Cloud)
 - Outils pour la formation (cours en ligne, travail collaboratif, webinaires, etc.) et de la gestion
 - Sécuriser le patrimoine scientifique, données d'expérimentation et de calculs haute performance
- Démarche d'efficacité énergétique :
 - Gain d'au moins 20 % sur l'efficacité énergétique en comparaison aux datacenters actuels.
 - Free cooling, urbanisation des salles avec confinement en allées chaudes/froides, etc pour réduire l'empreinte énergétique
 - Labellisation, certification HDS (Hébergeur de Données de Santé), Tier 3 ...

<https://factuel.univ-lorraine.fr/node/20554>

L'ENVOI D'UN MAIL : COMMENT ÇA MARCHE ?



Vous **envoyez** un mail
avec une pièce jointe



DATA CENTER de votre
fournisseur d'accès

Il réceptionne, traite,
stocke votre message et
le retransmet au réseau



Votre message transite par
des points éloignés du globe



DATA CENTER du fournisseur
d'accès de votre correspondant

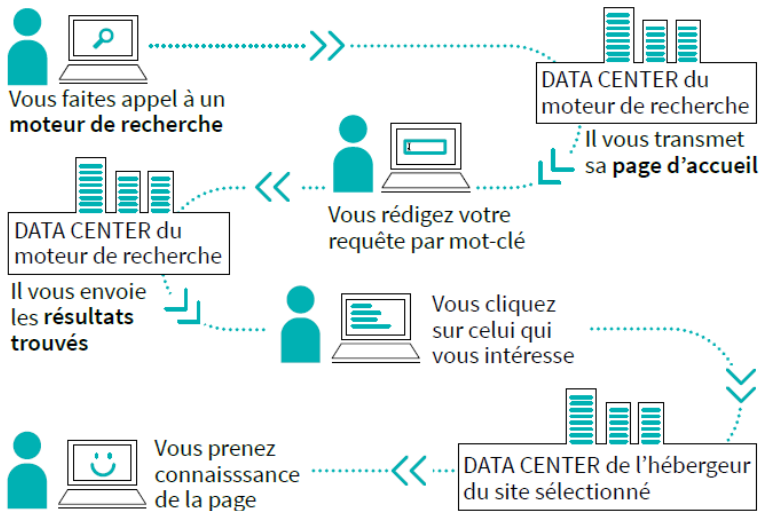
Il réceptionne, traite,
stocke votre message et
le retransmet au réseau



Votre correspondant
reçoit votre message



LA REQUÊTE WEB : COMMENT ÇA MARCHE ?




- L'empreinte carbone de l'envoi d'un e-mail est insignifiante...
Mais nous aide à nous interroger sur nos pratiques !
 - Ce mail est-il encore utile ?
 - La fonction « Répondre à tous » est-elle toujours nécessaire ?
 - Un lien pourrait-il remplacer ma pièce-jointe ?
- Suis-je obligé de faire une requête sur un moteur de recherche ?
- Impacte aussi la qualité de vie au travail

- Visioconférence (Rapport EcoInfo - RENATER) :
 - Utiliser le service de visioconférence entre deux utilisateurs situés entre Paris et Grenoble avec une caméra active durant 1h génère 226 g d'équivalent CO₂e
 - Cela correspond à un trajet de 9 km en trottinette électrique ou 20 km en vélo électrique ou 52h d'éclairage par une ampoule de 40W.
- Chiffres similaires pour Zoom, Google Meet ou Teams : de 150 et 1000 g de CO₂ pour une heure
- Retransmission des images responsable à 96 %

Réunion en présentielle ? Réunion audio ?

COMMENT LIMITER SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL EN TÉLÉTRAVAIL



REQUÊTES WEB
Faire court et simple

- Tapez directement le nom du site, utilisez les favoris et l'historique
- Employez des mots précis dans les moteurs de recherche
- Videz régulièrement le cache de votre navigateur

MAILS
Allégez

- Ciblez les destinataires
- Comprimez les pièces jointes, ou utilisez un site de dépôt temporaire ou un dossier partagé
- Allégez votre signature

CLOUD
Avec modération

- Désactivez les transferts automatiques de données
- Stockez uniquement le nécessaire et de préférence sur disque dur externe ou ordinateur

RÉUNIONS
Audio plutôt que visio

PAGES ET ONGLETS INUTILISÉS
Fermez-les

ÉQUIPEMENTS
Faites-les durer

- Désactivez les téléchargements et mises à jour automatiques
- Réglez vos équipements en mode « économie d'énergie »
- Recyclez-les en fin de vie

CONNEXION
Wifi ou filaire plutôt que 4G

MUSIQUE

- Évitez le streaming : privilégiez la radio ou téléchargez vos morceaux préférés
- Ne lancez pas de clip vidéo pour écouter un son

BOÎTE MAIL
Nettoyez

- Supprimez les mails inutiles, les spams et vidiez la poubelle
- Désabonnez-vous des newsletters que vous ne lisez pas

PAUSE
Déconnectez vraiment

- Limitez les films et vidéos en streaming : privilégiez une résolution moindre et téléchargez en cas de visionnage multiple
- Mettez votre ordinateur en veille pour une pause brève, éteignez-le si elle dure plus d'une heure
- Déconnectez tous vos appareils en fin de journée

C'est l'usage historique de l'outil informatique !

ENIAC: Electronic Numerical Integrator and Computer, 1945 :

- Premier ordinateur électronique qui pouvait être reprogrammé.
- 70,000 résistances, 17 000 tubes à vide, 10 000 condensateurs, 1 500 relais, et 6 000 interrupteurs.

Usage:

- Calculs des valeurs des tableaux de portée d'artillerie pendant la 2^{ième} guerre mondiale
- Calculs pour aider à la construction de bombes à hydrogène.

Puissance de calcul :

- x 400 en temps par rapport à la génération précédente (15 min -> 3s)
- 385 multiplications par secondes (iPhone 4 de 2010: 2,000 MIPS)

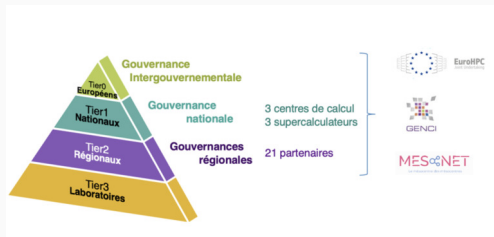
Dans le monde (TOP500, Nov 2023) :

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,699,904	1,194.00	1,679.82	22,703
2	Aurora - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	4,742,808	585.34	1,059.33	24,687
3	Eagle - Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz, NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR, Microsoft Microsoft Azure United States	1,123,200	561.20	846.84	
4	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899
5	LUMI - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE EuroHPC/CSC Finland	2,752,704	379.70	531.51	7,107

Dans le monde (Green500, Nov 2023) :

Rank	TOP500 Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Power (kW)	Energy Efficiency (GFlops/watts)
1	293	Henri - ThinkSystem SR670 V2, Intel Xeon Platinum 8362 32C 2.8GHz, NVIDIA H100 80GB PCIe, Infiniband HDR, Lenovo Flatiron Institute United States	8,288	2.88	44	65.396
2	44	Frontier TDS - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	120,832	19.20	309	62.684
3	17	Adastra - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE Grand Equipement National de Calcul Intensif - Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur (GENCI-CINES) France	319,072	46.10	921	58.021
4	25	Setonix - GPU - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE Pawsey Supercomputing Centre, Kensington, Western Australia Australia	181,248	27.16	477	56.983
5	92	Dardel GPU - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE KTH - Royal Institute of Technology Sweden	52,864	8.26	146	56.491

Mutualisation et regroupement des ressources :



- Mésocentre en Lorraine : Explor (explor.univ-lorraine.fr)
- En France : TGCC, IDRIS, CINES (appels à projets GENCI edari.fr)
- En Europe : PRACE (prace-ri.eu).

Accès **gratuit** aux ressources, pour la recherche académique et les entreprises².

²si publications des résultats dans une logique de recherche ouverte



Principe de fonctionnement :

- Appel à projets, allocations d'heures
- Compte d'accès, connexion sur des noeuds frontaux (ssh) ou VM
- Logiciels scientifiques préinstallés de manière optimisés (commande module)
- Système de *batch* pour l'accès aux ressources (soumission de *jobs* sur des *partitions*)
- Espaces disques avec quotas (ex: IDRIS : HOME, WORK et SCRATCH/JOBSCRATCH, STORED, SDIR)

Accès gratuit à des ressources coûteuses !

Exemple à l'IDRIS, machine Jean Zay :

- Valorisation de l'heure en centimes d'euro HT :
 - partition CLS : 0.7 centimes d'€ par coeur (40 cœurs par nœud, 1528 noeuds)
 - partition V100 : 36 centimes d'€ par GPU
(noeuds de 4 ou 8 GPU Nvidia Tesla V100 SXM2 16 ou 32 Go)
 - partition A100 : 72 centimes d'€ par GPU
(noeuds de 8 GPU Nvidia A100 SXM4 80 Go)
- Valorisation du To sur 1 an en € HT
 - 55€ HT sur WORK, 19€ HT sur STORE

Ordre de grandeur des coûts :

- Coût annuel de la partition CLS ?
- Coût d'un accès dynamique de 500 kh cœur CSL ou 50 kh GPU V100 ?
- Coût d'une allocation de 5 To WORK et 50 To STORE par projet ?

Ordre de grandeur de consommation électriques sur Jean Zay :

- 1 h.cœur consomme 10 Wh (5,3 Wh³)
- 1 h.GPU consomme 482 Wh (259 Wh)

Evolution des consommations avec les générations de machines :

- 2008 : IBM BlueGene/P : 2,15 kWh / Tflop/s
- 2019 : HPE SGI 8600 (Jean Zay) : 0,073 kWh / Tflop/s

Source : Rafael Medeiros – Forum ORAP 2021, Ecoinfo 2021

³si on prend en compte la récupération de chaleur



Crédits: Cyril FRESILLON / IDRIS / CNRS Images



Comment faire une utilisation raisonnée des moyens mis à disposition ?

- Gérer l'utilisation de son allocation :
 - Ai-je besoin de ce calcul ?
 - Dimensionner ses expérimentations
 - Evaluer le coût environnemental d'un run
(ex: pour les projets d'IA: <https://hal.science/hal-03853135>)
 - Lisser sa consommation sur l'année
- Préparer ses runs :
 - Compiler vos applications avec les bon paramètres : options d'optimisations, instructions de vectorisation (AVX, AVX2)
 - Spécifier une estimation correcte du temps de calcul de votre job
 - Utiliser si possible du checkpointing

- Eviter un gâchis de ressources :
 - Se déconnecter
 - Pas de calculs sur les noeuds frontaux
 - Ne pas laisser tourner des jobs interactifs inutiles
 - Lancer les calculs sur une partition adaptée
 - Vérifier qu'un calcul fonctionne
- Stockage des résultats :
 - Planifier la gestion des données
 - Organiser vos fichiers, nettoyer votre espace, archiver l'essentiel...

Est-il possible de réduire l'empreinte écologique des logiciels ? => Green Coding

Rendre les logiciels plus efficaces :

- Maitriser la complexification des logiciels
- Optimisation des algorithmes, des structures de données, de la mémoire et du trafic réseau

Ex : hashtables, liste en compréhension: `newl = [x for x in l if len(x) < 4]`

- Respecter de bonnes pratiques (au même titre que d'autres bonnes pratiques logiciels)

Ex : Guide best practices pour dev. mobile : github.com/cnumr/best-practices-mobile
Outils d'analyse de code (ex: [ecoCode-android](#))

Etude sur The Computer Language Benchmarks Game par Pereira et al., SLE'17, 2017

	Energy		Time		Mb
(c) C	1.00	(c) C	1.00	(c) Pascal	1.00
(c) Rust	1.03	(c) Rust	1.04	(c) Go	1.05
(c) C++	1.34	(c) C++	1.56	(c) C	1.17
(c) Ada	1.70	(c) Ada	1.85	(c) Fortran	1.24
(v) Java	1.98	(v) Java	1.89	(c) C++	1.34
(c) Pascal	2.14	(c) Chapel	2.14	(c) Ada	1.47
(c) Chapel	2.18	(c) Go	2.83	(c) Rust	1.54
(v) Lisp	2.27	(c) Pascal	3.02	(v) Lisp	1.92
(c) Ocaml	2.40	(c) Ocaml	3.09	(c) Haskell	2.45
(c) Fortran	2.52	(v) C#	3.14	(i) PHP	2.57
(c) Swift	2.79	(v) Lisp	3.40	(c) Swift	2.71
(c) Haskell	3.10	(c) Haskell	3.55	(i) Python	2.80
(v) C#	3.14	(c) Swift	4.20	(c) Ocaml	2.82
(c) Go	3.23	(c) Fortran	4.20	(v) C#	2.85
(i) Dart	3.83	(v) F#	6.30	(i) Hack	3.34
(v) F#	4.13	(i) JavaScript	6.52	(v) Racket	3.52
(i) JavaScript	4.45	(i) Dart	6.67	(i) Ruby	3.97
(v) Racket	7.91	(v) Racket	11.27	(c) Chapel	4.00
(i) TypeScript	21.50	(i) Hack	26.99	(v) F#	4.25
(i) Hack	24.02	(i) PHP	27.64	(i) JavaScript	4.59
(i) PHP	29.30	(v) Erlang	36.71	(i) TypeScript	4.69
(v) Erlang	42.23	(i) Jruby	43.44	(v) Java	6.01
(i) Lua	45.98	(i) TypeScript	46.20	(i) Perl	6.62
(i) Jruby	46.54	(i) Ruby	59.34	(i) Lua	6.72
(i) Ruby	69.91	(i) Perl	65.79	(v) Erlang	7.20
(i) Python	75.88	(i) Python	71.90	(i) Dart	8.64
(i) Perl	79.58	(i) Lua	82.91	(i) Jruby	19.84

Mesurer l'impact :

- API des plateformes (ex: Grid5000 Kwollect, AWS Billing Console ...)
 - Estimation en ligne : [Machine Learning Emissions Calculator](#)
 - Compteurs logiciels et Dashboard
- Ex : [PowerAPI](#), [CodeCarbon](#), [experiment-impact-tracker](#)

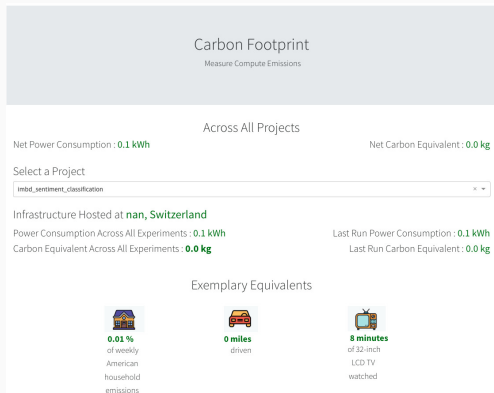
```
from codecarbon import EmissionsTracker
tracker = EmissionsTracker(project_name="ml_sentiment_classification")
tracker.start()
train_model(make_model())
tracker.stop()
```

Exemple de [V. Ilievski](#) ([Notebook Jupyter](#))

Mesurer l'impact :

- API des plateformes (ex: Grid5000 Kwollect, AWS Billing Console ...)
- Estimation en ligne : [Machine Learning Emissions Calculator](#)
- Compteurs logiciels et Dashboard

Ex : [PowerAPI](#), [CodeCarbon](#), [experiment-impact-tracker](#)



Stockage

Centres de stockage

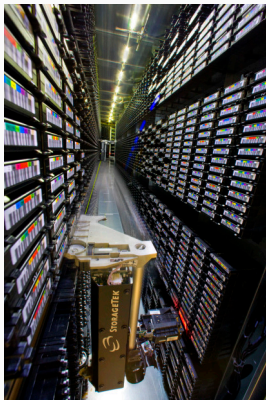
Exemples du NERSC et du projet Natick de Microsoft :

- <https://www.nersc.gov/news-publications/nersc-news/science-news/2022/hpss-30-years-of-long-term-storage-for-scientific-research>
- <https://news.microsoft.com/innovation-stories/project-natick-underwater-datacenter>



Exemples du NERSC et du projet Natick de Microsoft :

- <https://www.nersc.gov/news-publications/nersc-news/science-news/2022/hps-30-years-of-long-term-storage-for-scientific-research>
- <https://news.microsoft.com/innovation-stories/project-natick-underwater-datacenter>



Centres de stockage

Exemples du NERSC et du projet Natick de Microsoft :

- <https://www.nersc.gov/news-publications/nersc-news/science-news/2022/hpss-30-years-of-long-term-storage-for-scientific-research>
- <https://news.microsoft.com/innovation-stories/project-natick-underwater-datacenter>



Centres de stockage

Exemples du NERSC et du projet Natick de Microsoft :

- <https://www.nersc.gov/news-publications/nersc-news/science-news/2022/hpss-30-years-of-long-term-storage-for-scientific-research>
- <https://news.microsoft.com/innovation-stories/project-natick-underwater-datacenter>



Évolution des données numériques

Unités de mesure des données

Principalement *deux unités* :

- **bit** : unité élémentaire (0/1)
- **octet** : groupe de 8 bits
 - Initialement regroupement en *byte* (pas 8 bits au départ)
 - Puis standardisation à 8 bits

Dénomination des quantités :

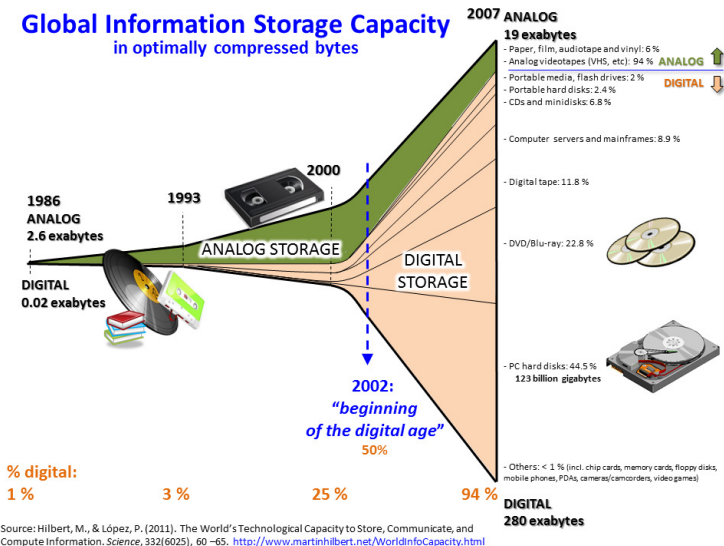
- Préfixe de pondération : **K, M, G, T,...**
- Distinction entre base 2 (ajout de **i**) et base 10 (par défaut)
- Distinction entre bit (**b**) et octet (**o** ou **B**)

Exemples :

- 1 Kb = 1000 bits = 103 bits
- 1 Kib = 1024 bits = 210 bits
- 1 Ko = 1KB = 1000 octets = 103 octets
- 1 Kio = 1 KiB = 1024 octets = 210 octets
- M = 103 K, G = 103 M, T = 103 G,...
- Mi = 210 Ki, Gi = 210 Mi, Ti = 210 Gi,...

Évolution des volumes de données

Global Information Storage Capacity in optimally compressed bytes



1 Eo = 10¹⁸ octets = 1 000 000 000 000 000 000 octets

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_d%27information

Une limite physique pas si éloignée...

Constats et prévisions :

- Production *journalière* de données : $2,5 \times 10^9$ Go en 2020
- Quelques valeurs *journalières* indicatives : stats de Twitch

WhatsApp	Facebook	Twitter	Emails	Youtube
(Millions Twt)	(Millions Go)	(Milliards msgs)	(Milliards msgs)	(Heures)
500	4	65	294	720000

- Étude The information catastrophe – AIP Advances \Rightarrow Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
- Rapport 2022 sur le numérique de l'UNESCO
- Estimation *données mondiales* créées (\neq stockées) :
 - ≈ 60 Zo en 2020 et ≈ 80 Zo en 2021 ... 175 (2025), 612 (2030),...
 - 1 Zo = 1000 Eo = 1 000 000 000 000 000 000 octets
- Actuellement : 1 bit stocké sur 25×10^{-9} m
 - Environ 2% des données sont stockées
 - \Rightarrow Ligne de ≈ 1600 ua (Pluton 40 ua, Voyager1 160 ua)
- Capacité de stockage en 2020 estimée à 6,7 Zo
 - Croissance annuelle autour de 19%
 - \Rightarrow Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans

Conclusion

Quelles conclusions ?

L'outil numérique est devenu *incontournable* dans notre société :

- Utilisation professionnelle dans quasiment tous les secteurs
- Utilisation intensive dans les loisirs
 - Intérêt global indiscutable !

Mais comme souvent, la difficulté vient de *l'utilisation de l'outil* :

- Idée trop répandue que le numérique est **virtuel** (pas de coût)
- Possibilité individuelle de générer de grandes quantités de données
- Modèle économique de nombreux services numériques :
 - Illusion de la gratuité ⇒ usage sans limite !
- Effet de masse sur les images et vidéos :
 - Diffusion et visionnage
 - Utilisation intensive des réseaux (filaire, wifi, 4G, 5G)

Difficultés également sur le recyclage :

- Très difficile de récupérer les matériaux dans les anciens appareils

L'évolution actuelle n'est pas tenable sur le long terme...

- Nécessité de modification individuelle des usages

Sinon...

- Risque de limitations imposées sans discernement par les acteurs privés et/ou publics
 - Filtre économique → impact fort sur les faibles revenus

⇒ Réfléchir aux usages prioritaires pour la société ?