

INFORMATIQUE ET ENVIRONNEMENT

THIERRY DUMONT

Quand on s'intéresse à l'impact environnemental de l'informatique il convient de rappeler que le mot « informatique » regroupe des aspects matériels et des aspects logiciels : les deux ont des conséquences écologiques qui ne sont pas indépendantes les unes des autres. Il faut définir ce qu'on nomme *impact environnemental* : il y a celui des matériaux qu'on utilise, rares, polluants parce que leur extraction produit des déchets polluants ou parce qu'ils sont toxiques, et l'impact de la consommation d'énergie électrique utilisée pour l'exploitation et la fabrication des ordinateurs.

1. LE MATÉRIEL, PRINCIPALEMENT ÉLECTRONIQUE

La croissance de l'usage de l'informatique s'est accompagnée d'une sophistication de plus en plus grande du matériel, principalement depuis l'apparition des microprocesseurs : augmentation de la fréquence d'horloge qui a été multipliée par 100 en 40 ans, et augmentation des capacités de stockage qui se comptent à présent en téraoctets pour un simple usage personnel, contre des mégaoctets il y a 30 ans. Cela s'est fait au prix d'une dépendance croissante envers des matériaux rares : en 1980, l'électronique utilisait 10 éléments du tableau de Mendeleïev contre 60 en 2010 ! Cela va de matériaux répandus (aluminium, cuivre, étain, argent,...) jusqu'à des matériaux coûteux et rares (béryllium, indium et gallium, germanium, palladium, etc.). L'extraction de ces matériaux est coûteuse, polluante, énergivore et ils proviennent de pays lointains. Qu'en est-il de leur recyclage ?

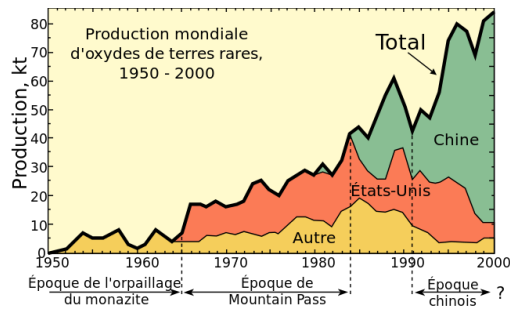
- Les matériaux les plus rares représentent le plus souvent une masse faible dans les composants, ce qui n'empêche pas que l'électronique en est la plus grosse consommatrice (exemples : indium, 50% de la production mondiale, gallium, 48%). Du coup, leur recyclage est coûteux en énergie et difficile : l'indium et le gallium ne sont récupérés qu'à 1% !
- À l'inverse, des matériaux comme le plomb ou le cuivre sont récupérés à 80 ou 90%.

Quelques autres raisons expliquent ce faible recyclage des matériaux précieux :

- Le cours actuel de ces matériaux « rares » n'est pas assez élevé pour rentabiliser les infrastructures nécessaires à la mise en place d'un recyclage industriel.
- Il n'est pas évident que ces métaux recyclés retrouvent un niveau de pureté suffisant pour pouvoir être réemployés dans les industries électroniques.

Ces matériaux rares ne sont produits qu'à quelques endroits dans le monde : le palladium est produit principalement en Russie à Norilsk et en Ontario ; l'indium, qui est en quasi pénurie, est produit en Chine, en Corée du Sud et au Japon. Certains matériaux sont toxiques comme le gallium, dont la Chine produit 80%.

Pour les terres rares, dont la production et l'utilisation ont doublé depuis 1990 et qui viennent principalement de Chine, notons que « *la Chine avait annoncé qu'elle réduirait ses exportations et sa production de terres rares de 10% pour 2011 pour des questions environnementales. Mais, après une plainte déposée par l'Union européenne, les États-Unis et le Mexique à la fin de 2009, l'OMC a condamné le 7 juillet 2011 la Chine à mettre un terme aux quotas imposés pour les terres rares* »[7].



Source : Wikipédia, Terre rare [7]

Sur ces sujets, on pourra avantageusement consulter le site Écoinfo[2].

2. CONSOMMATION ÉLECTRIQUE : LE MATÉRIEL, ET L'UTILISATION QU'ON EN FAIT

Qui utilise beaucoup de matériel informatique, qui consomme ainsi beaucoup d'électricité?¹

- (1) Les datacenters, dans le monde, consomment 60 Twh par an, soit 3% de la consommation électrique mondiale.
- (2) Les cryptomonnaies : le bitcoin consomme à lui seul, par an, **130 Twh**, soit la consommation d'un petit pays [1].
- (3) La Calcul Scientifique est loin derrière : la machine la plus puissante en Novembre 2023 consomme 0,19 Twh [3].
- (4) Pour l'IA (l'apprentissage profond), il est difficile de donner un chiffre global. Un exemple : Megatron est assez proche de GPT, mais plus simple ; dans son cas, on a utilisé 45 téraoctets de données pour l'entraînement, et calculé avec 512 GPU (voir plus bas) pendant 9 jours, ce qui a engendré une consommation de 28 000 KWh : une consommation qui ne tient donc pas compte du stockage des données.
- (5) Le réseau : indirectement, en permettant l'interconnexion de plus en plus de matériel (5G).

1. 1 Twh (Térawatts-heure) = un milliard de kwh.

(6) Les utilisateurs individuels, ne serait-ce que par leur nombre.

Notons que l'efficacité des processeurs a considérablement augmenté (disons qu'une multiplication coûte bien moins d'électricité aujourd'hui qu'il y a 25 ans), mais que l'utilisation des ordinateurs a, bien sûr, crû énormément. Remarquons aussi que l'utilisation fréquente d'algorithmes sous-optimaux et de techniques de programmation peu optimisées (du moment que ça fonctionne...) sont aussi la cause d'une consommation électrique excessive.

3. L'OBSOLESCENCE PROGRAMMÉE

Elle est manifeste : nouveaux systèmes d'exploitation impossibles à installer sur des machines trop anciennes ou logiciels obèses[5] qui nécessitent toujours plus de ressources. À l'origine, il y a les ententes de fait entre fabricants de matériel et concepteurs de logiciels, particulièrement des systèmes d'exploitation : un système Windows récent ne fonctionne pas sur des machines en tant soit peu anciennes, idem chez Apple. Les téléphones sont particulièrement caricaturaux dans ce domaine.

4. UNE MESURE RAISONNABLE DE L'IMPACT ÉCOLOGIQUE : L'UTILITÉ SOCIALE

En ce qui concerne les datacenters, le CC-IN2P3 à Villeurbanne[4], par exemple, consomme environ 0,09 Twh, pour stocker et exploiter les données de la recherche : physique des particules (données du CERN), futur télescope à grand champ, expérience *Muse* mais aussi : archéologie, biologie, etc. Le stockage massif de données fait énormément progresser la recherche contemporaine.

En comparaison, Amazon, Google etc., outre les services qu'ils peuvent rendre éventuellement comme les moteurs de recherche, stockent principalement des données sur le comportement économique des individus : ce qu'ils achètent, leurs déplacements, bref ils les espionnent. Google consommerait 1,9 Twh

Pour le Calcul Scientifique, qui peut nier l'intérêt social des modèles en météorologie, en climatologie et pratiquement dans tous les processus industriels ? Mais quel est l'utilité sociale des cryptomonnaies, surtout mise en regard des 130 Twh du bitcoin ?

4.0.1. *Les utilisateurs individuels.* De nombreuses légendes urbaines circulent : sur le coût de l'envoi d'un e-mail, sur celui d'un clic sur un lien internet, etc... sans vérification sérieuse ni comparaison avec l'énergie économisée par ailleurs. Les ordinateurs individuels sont tous dotés d'un coprocesseur graphique (GPU) : pour les usages courants une carte graphique bas de gamme coûte environ 80 euros et consomme 25 watts, mais une carte graphique haut de gamme pour *gamer* coûte plus de 2000 euros et consomme 350 watts ; dans ce cas la consommation de la machine peut atteindre 500 watts... pour quelle utilité sociale ?

5. QUELQUES REMARQUES SUPPLÉMENTAIRES

(1) La fiabilité d'un ordinateur est remarquable (10 ans sans problème, surtout pour les ordinateurs fixes), mais l'obsolescence programmée, imposée par les marchands

de systèmes d'exploitation privatifs impose des changements de matériel plus fréquents.

- (2) Le duopole Intel-Microsoft impose de fait l'utilisation de processeurs gourmands en électricité (AMD, Intel). Des processeurs plus modernes (Apple M2 par exemple) consomment environ 3 fois moins d'électricité que leurs concurrents classiques de même puissance.

6. AGIR, MAIS COMMENT ?

Quelques pistes :

- Bien entendu, bannir les utilisations socialement nocives telles que les cryptomonnaies, le stockage de données individuelles a des fins d'espionnage, certains jeux : c'est un problème politique.
- N'utiliser que la puissance de calcul strictement nécessaire : on notera par exemple [6] l'utilisation de processeurs datant des années 80 dans des systèmes temps réel critiques comme l'avionique de l'Airbus A320².
- Passer à des systèmes d'exploitation libres (Linux) et à des logiciels libres (par exemple : LibreOffice) pour éviter l'obsolescence programmée, ce qui permettrait de garder les machines aussi longtemps qu'elles fonctionnent.
- Pour les nouvelles machines, utiliser des processeurs modernes : architecture ARM comme le M2 d'Apple, ou RiscV d'ici quelque temps.
- Optimiser au maximum les programmes.

RÉFÉRENCES

- [1] Collectif Écoinfo (CNRS). *Consommation énergétique des technologies blockchain*. URL : <https://ecoinfo.cnrs.fr/2021/11/05/consommation-energetique-des-technologies-blockchain/>.
- [2] Collectif Écoinfo (CNRS). *Pour une informatique éco-responsable*. URL : <https://ecoinfo.cnrs.fr/>.
- [3] Top 500. (*Liste des 500 calculateurs les plus puissants*). URL : <https://www.top500.org/lists/top500/2023/06/>.
- [4] CC-IN2P3. *Centre de Calcul*. URL : <https://cc.in2p3.fr/>.
- [5] WIKIPEDIA. *Bloatware*. URL : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bloatware>.
- [6] WIKIPEDIA. *Motorola 68000*. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Motorola_68000.
- [7] WIKIPEDIA. *Terres rares*. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_rare.

2. Probablement avec une fréquence d'horloge de 20 Mhz contre 800 Mhz pour certains processeurs de téléphones et 3 Ghz au moins pour les processeurs actuels les plus courants : même si certaines architectures de processeurs récentes sont nettement moins gourmandes que les anciennes, la consommation croît toujours comme le carré de la fréquence d'horloge !