

présume en rien de l'efficacité et de la pertinence des usages informatiques effectués dans les centres de données.

Les gros centres de données (notamment ceux des «Gafam», Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft) sont par ailleurs de plus en plus alimentés par des énergies renouvelables, produites localement ou achetées par contrat énergétique. Mais ils ne fonctionnent pas en autonomie pour autant. Apple, par exemple, annonce que le groupe produit autant d'énergie renouvelable (en grande partie photovoltaïque) qu'il ne consomme d'énergie, toutes sources confondues, mais en pratique il n'en consomme qu'une petite partie, car cette énergie n'est majoritairement disponible que le jour et par beau temps, alors que les centres de données fonctionnent en permanence. Apple revend le reste de sa production d'énergie et rachète ce dont il a besoin pour alimenter ses centres de données durant la nuit.

Or le nombre de ces centres ne cesse de croître. À l'échelle mondiale, on observe non seulement le déploiement continu de gros centres de données, mais aussi d'autres plus modestes pour accompagner l'arrivée de l'internet des objets et garantir ainsi de faibles latences entre les serveurs et les objets connectés. Le principal problème associé aux infrastructures numériques est leur faible proportionnalité énergétique, du fait de leur utilisation très variable. En 2015, l'institut Uptime considérait qu'aux États-Unis, 30% des serveurs dans les centres de données étaient comateux, c'est-à-dire allumés pour n'effectuer aucun travail. Or on observe que lorsque l'usage d'un serveur diminue, sa consommation électrique ne tend pas vers zéro, mais vers 50% de sa puissance électrique maximale. Ainsi, lorsqu'un serveur effectue peu de tâches, sa consommation électrique est néanmoins très importante. Cette faible proportionnalité énergétique est encore plus criante sur certains équipements réseaux (commutateurs, routeurs), où la consommation électrique est quasiment constante (100% du pic électrique) quel que soit l'usage.

Les recherches actuelles sur les centres de calcul visent à consolider la charge autant que possible pour la concentrer sur le plus petit nombre de serveurs possible et ainsi éteindre les serveurs complètement inutilisés à un instant donné. Avec notre collègue Issam Rais, nous avons en effet montré en 2018 qu'il suffit qu'un serveur ne soit pas utilisé pendant trois minutes pour qu'il soit intéressant de l'éteindre. Il s'agit donc de mettre au point des stratégies de consolidation qui comportent à la fois des techniques de prédiction des pics d'utilisation pour rallumer les serveurs à l'avance, des algorithmes pour optimiser le nombre de cycles d'allumage/extinction, gourmands en temps et

en énergie, et des mécanismes de migration de machines virtuelles d'un serveur physique à l'autre avec le moins d'impact possible sur les performances perçues par les utilisateurs. D'autres techniques encore visent à contrôler la fréquence et la tension d'alimentation des processeurs pour réduire leur consommation lorsqu'ils ne sont pas utilisés à 100% ou lorsqu'ils doivent attendre des résultats provenant d'autres processeurs.

UNE FOULE D'OBJETS CONNECTÉS

Les équipements terminaux des utilisateurs, enfin, n'ont rien à envier aux deux autres composantes du numérique en matière de consommation énergétique. En 2018, dans le monde, on comptait environ 9 milliards d'appareils connectés à Internet, dont 2 milliards de smartphones et 1 milliard d'ordinateurs. Le reste est constitué des très nombreux objets connectés qui ont fleuri ces dernières années : ampoules, microondes, brosses à dents, téléviseurs, caméras, enceintes, montres, robots...

La prolifération des objets connectés et leur impact considérable sur l'environnement interrogent les habitudes de consommation et les rapports aux nouvelles technologies : sont-ils des gadgets ou des outils pour mieux vivre ? De la cocotte-minute au capteur de glucose pour personnes diabétiques en passant par la brosse à dents et l'ampoule, difficile de définir des critères objectifs et universels pour quantifier l'utilité de ces objets. Leurs impacts sur l'environnement, cependant, sont quantifiables, comme dans le cas de la tablette (voir l'encadré page 53). Cela permet aux consommateurs de comparer les objets de différents >

UNE PISTE POUR OPTIMISER UN RÉSEAU INTELLIGENT

Les réseaux électriques intelligents fonctionnent en général selon une approche centralisée : un équipement maître reçoit les informations de chaque compteur connecté dont il a la supervision. Si l'on souhaite mettre en place une politique d'effacement de charge intelligente et réactive, en cas de surconsommation électrique, l'équipement maître décide des foyers où réduire la consommation afin de repasser en dessous du seuil cible. Dans une approche décentralisée cascado-cyclique, les foyers sont virtuellement connectés ensemble par un « anneau à jeton » : ils sont placés dans un ordre arbitraire et se transmettent un jeton. Quand la sonde de courant détecte un dépassement du seuil, elle envoie une information au foyer qui a le jeton, celui-ci décide ou non de baisser un moment sa consommation et transmet le jeton au foyer suivant, etc. L'approche cascado-cyclique permet de lisser l'effacement sur l'ensemble des foyers et évite d'avoir recours à un équipement central de décision et de gestion des données des utilisateurs.

> vendeurs... à condition d'avoir des indicateurs pertinents et compréhensibles, comme l'empreinte carbone ou des écolabels tels ceux présents sur les machines à laver.

Une étude d'Apple de 2019 fournit les émissions moyennes de gaz à effet de serre dues à un ordinateur portable: un MacBook Pro possédant un écran de 16 pouces (environ 40 centimètres), un stockage de 512 gigaoctets et un processeur à 2,6 gigahertz. La phase d'utilisation considérée est de quatre ans en première main. Cette étude indique que l'empreinte de l'ordinateur est de 394 kilogrammes d'équivalent CO₂ (kg CO₂eq). Dans ce cas précis, la fabrication concentre à elle seule 75% de l'empreinte de l'ordinateur portable, le transport 5%, l'utilisation 19% et la fin de vie moins de 1%. Selon ces résultats, il faudrait utiliser cet ordinateur quatre fois plus longtemps (en supposant une utilisation constante dans le temps), soit environ seize ans, pour que son empreinte pendant sa phase d'utilisation soit équivalente à celle de sa phase de fabrication.

Les objets connectés n'échappent pas à ce constat. Par exemple, le thermostat Google Nest, qui ajuste automatiquement le système de chauffage d'une habitation, a une empreinte de 30 kg CO₂eq selon Google. Cette empreinte est calculée pour une utilisation de dix ans. La phase de production représente alors 82% de cet impact, contre 15% pour l'utilisation. Il faudrait garder cet équipement environ cinquante-cinq ans pour que son empreinte pendant son utilisation soit équivalente à celle de sa fabrication et donc limiter l'impact de cette dernière. Il est cependant peu probable que la batterie de l'objet tienne aussi longtemps, même si l'étude fait l'hypothèse qu'elle fonctionnera au moins dix ans.

De plus, le principal argument de vente d'un tel objet consiste à réduire la facture électrique de l'acheteur. Il serait donc intéressant que son bilan énergétique soit comparé aux gains énergétiques effectifs qu'il induit. Cependant, pour que cette comparaison soit pertinente, elle doit comprendre non

SUR LE WEB

Projet international GreenTouch :
www.greentouch.org

Projet national EcoInfo :
ecoinfo.cnrs.fr

Rapport Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne, The Shift Project, 2019 :
theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/

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



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



MAILS Allégez

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

PAUSE

Déconnectez vraiment

- Limitez les films et vidéos en streaming : privilégiez une résolution moindre ou 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



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



BOÎTE MAIL Nettoyez

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

MUSIQUE

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