

seulement l'énergie consommée par le thermostat tout au long de son cycle de vie, mais aussi celle de l'infrastructure indispensable à son fonctionnement: le réseau d'accès à Internet qu'il utilise pour communiquer et les serveurs du fournisseur de service qui exécutent des algorithmes d'apprentissage et d'optimisation, et stockent les données produites et les historiques. Or ce coût n'est pas pris en compte dans l'empreinte citée plus haut.

En 2019, avec notre collègue Loïc Guegan, nous avons proposé un modèle pour calculer la consommation électrique totale d'un objet connecté. En l'appliquant à une simulation de thermostat de type Google Nest, nous avons ainsi montré que si le cloud gère un petit nombre de thermostats, sa consommation est supérieure à celle de ces derniers. En revanche, dès que le nombre de thermostats dépasse la vingtaine, l'impact des objets devient prépondérant sur celui du cloud (*voir la figure en bas de la page 56*). Or de tels objets sont destinés à être déployés sur des ensembles de plusieurs centaines de maisons. Reste à comparer cette consommation totale aux gains énergétiques que ces objets entraînent.

À l'inverse, la consommation d'autres objets repose beaucoup plus sur le cloud. En 2018, avec d'autres collègues, nous avons ainsi montré que, dans le cas d'une webcam qui transfère ses données par wifi à un serveur du cloud effectuant de la reconnaissance d'images, la partie cloud consomme en moyenne deux fois plus d'électricité que l'objet lui-même. Voire trois fois plus si au lieu d'être constitué de grandes fermes de calcul, comme actuellement Google (qui compte une vingtaine de grands centres de données répartis dans le monde), le cloud est déployé en une multitude de petits centres de données plus proches des utilisateurs, comme cela se développe de plus en plus, notamment en lien avec la 5G.

Nous nous intéressons par ailleurs à d'autres systèmes numériques apparus ces dernières années et faisant intervenir des objets connectés: les «réseaux électriques intelligents». Ces réseaux de distribution d'électricité utilisent les informations reçues de chaque consommateur à l'aide d'un boîtier (le compteur Linky d'Enedis, en France, par exemple) pour ajuster le flux d'électricité et permettre à terme de mieux gérer les fluctuations de consommation et de production, plus particulièrement la production de sources d'énergie renouvelable. Les fournisseurs d'électricité défendent l'idée que ces réseaux vont permettre de réduire la consommation énergétique, mais sans se préoccuper de la consommation même de ces réseaux. Quel coût énergétique cette intelligence rajoute-t-elle? Peut-on l'optimiser?

Très peu d'informations sont disponibles concernant la consommation de ces

Chacun peut s'engager dès maintenant sur la voie de la sobriété numérique

équipements intelligents. En revanche, il est possible de modéliser la façon dont les données circulent et comment cela impacte les services du réseau électrique. C'est ce que nous avons fait tout récemment avec des collègues sur un boîtier fictif afin d'optimiser l'infrastructure matérielle et logicielle nécessaire pour obtenir des approches d'effacement de charge réactives et efficaces (*voir l'encadré page 57*). Ces approches pourraient finalement permettre de limiter le surdimensionnement des réseaux de distribution d'électricité en atténuant les pics de consommation, liés notamment aux véhicules électriques.

VERS UNE SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE

Ainsi, de nombreuses pistes se dessinent pour réduire les impacts environnementaux d'Internet et sont explorées par les académiques et les industriels. Certaines, comme l'amélioration de la proportionnalité énergétique, le ciblage des gaspillages et l'écoconception matérielle et logicielle, visent à améliorer l'efficacité énergétique. D'autres, comme l'allongement de la durée de vie et de l'usage des équipements ou la conception de métriques rendant compte de l'impact environnemental réel des équipements afin de les rendre comparables, tant pour sensibiliser le grand public que pour informer les pouvoirs publics, tendent vers une sobriété numérique.

Toutes doivent nous aider à nous interroger sur les pratiques de construction d'Internet et sur nos usages. Les accords de Paris sur le climat nous demandent de réduire notre empreinte carbone, et on pense souvent qu'Internet va être la solution. Mais le numérique n'échappe pas à ces accords. Il est indispensable de prendre en compte ses impacts environnementaux, de les maîtriser et les réduire. Et chacun de nous peut s'engager dès maintenant sur cette voie en conjuguant chez soi efficacité énergétique, sobriété numérique et usage raisonné. ■

BIBLIOGRAPHIE

B. Camus et al., **Co-simulation of an electrical distribution network and its supervision communication network, 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)**, pp. 1-6, 2020.

L. Guegan et A.-C. Orgerie, **Estimating the end-to-end energy consumption of low-bandwidth IoT applications for WiFi devices, 2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)**, pp. 287-294, 2019.

I. Raïs et al., **Quantifying the impact of shutdown techniques for energy-efficient data centers, *Concurr. Comp. Pract. Exp.*, vol. 30(17), pp. 1-13, 2018.**

Y. Li et al., **End-to-end energy models for edge cloud-based IoT platforms: Application to data stream analysis in IoT, *Future Generation Computer Systems*, vol. 87, pp. 667-678, 2018.**