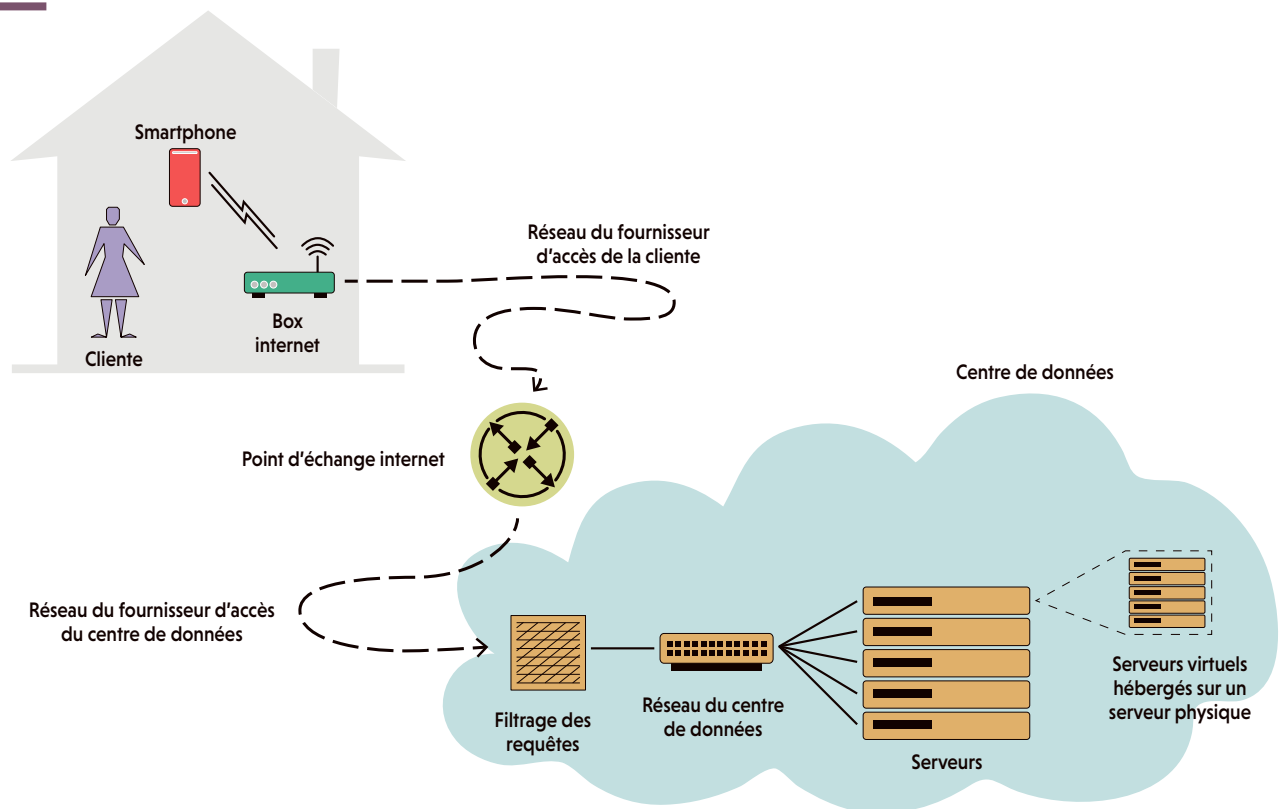




> déterminer si le télétravail est bénéfique pour l'environnement ou même simplement si une requête internet coûte autant que trois heures ou dix minutes de bouilloire...

Cependant, depuis quelques années, différentes équipes dans le monde, dont la nôtre, décortiquent les interdépendances d'Internet ou des systèmes qui constituent ce réseau. L'idée est de préciser leur consommation énergétique, de définir des indicateurs pertinents d'efficacité pour ces systèmes et, à partir de là, d'en déduire des solutions pour réduire leur consommation. De nombreux obstacles restent à franchir, mais des pistes commencent à se dessiner.

UNE ARCHITECTURE GIGANTESQUE

Pour saisir la complexité de la question de l'impact environnemental d'Internet, il est nécessaire de comprendre quels sont les systèmes matériels et logiciels impliqués dans son fonctionnement, comment ces systèmes sont utilisés et quelles sont les corrélations entre utilisation, consommation électrique et consommation de matières premières.

Lorsqu'un internaute génère une requête à destination d'un moteur de recherche, il mobilise différents équipements matériels, physiques et virtualisés, et des infrastructures logicielles. Le matériel mobilisé comporte un équipement terminal (PC, smartphone, tablette) pour générer la requête et recevoir les résultats de la recherche, un ensemble de réseaux pour transporter les paquets de données et plusieurs serveurs d'un centre de données pour traiter la requête.

Le traitement d'une requête sur un moteur de recherche mobilise des ressources matérielles sur un smartphone, une box internet, des réseaux, des routeurs, un pare-feu, les équipements réseaux d'un centre de données et un serveur. Ces équipements matériels seront utilisés dans le sens retour pour rapatrier le résultat de la recherche. De plus, des applications, services et protocoles logiciels sont déployés dans chacun des équipements traversés. Plusieurs serveurs peuvent être mobilisés en parallèle pour calculer et agréger les résultats afin d'augmenter la rapidité de la réponse. De même, d'autres serveurs peuvent contribuer à la génération de la requête en récupérant chaque lettre tapée dans la barre de recherche pour afficher des suggestions de recherche. Enfin, une page web donnée peut faire appel à plusieurs services : publicité ciblée, authentification des utilisateurs, affichage d'informations en temps réel provenant de divers fournisseurs de contenus, etc.

Les services logiciels mis en œuvre sur les serveurs sont placés dans des machines virtuelles ou des conteneurs logiciels – émulation d'un environnement complet associé à l'utilisateur, où celui-ci peut lancer ses applications et qui lui garantit certaines protections de sécurité et des performances. À l'heure où les services internet se trouvent dans des clouds – des ensembles de serveurs, de réseaux et de logiciels répartis dans le monde –, les serveurs et réseaux utilisés ne sont pas connus des utilisateurs, mais choisis par les fournisseurs de services en fonction de métriques de performance, d'équilibrage de charge entre serveurs et de qualité de service. Le chemin réseau parcouru par la requête de l'utilisateur est donc très variable et son impact environnemental dépend du lieu d'hébergement des serveurs utilisés (voir la figure ci-dessus et l'encadré page 51).

Les vidéos poussent cette logique de fonctionnement à l'extrême. Selon le rapport *Climat: l'insoutenable usage de la vidéo en ligne*, publié en 2019 par The Shift Project, un *think tank* français qui réfléchit à des pistes pour parvenir à « une économie libérée de la contrainte carbone », les flux de données vidéo représentent 80% du trafic mondial qui circule sur Internet. Ces flux sont majoritairement composés de vidéos en ligne (vidéos à la demande, pornographie, etc.) et en direct (télésurveillance, vidéoconférences).

Alors que les techniques de diffusion hertziennes reposent sur du *broadcast*, c'est-à-dire une diffusion d'un unique émetteur vers beaucoup de récepteurs, la vidéo sur Internet exploite fortement des échanges de type « un »

UN EXEMPLE DE RÉSEAU D'INTERNET

Internet est un réseau de réseaux qui interconnecte des millions d'entités indépendantes (fournisseurs d'accès à Internet, réseaux d'entreprises, réseaux universitaires, réseaux gouvernementaux, etc.) pour échanger de l'information. Il permet ainsi à chaque utilisateur d'accéder librement à l'information suivant un

de ses principes fondateurs : la neutralité du réseau. Ce principe, qui n'est pas suivi dans tous les pays, garantit l'égalité de traitement de tous les flux de données sur Internet, sans discrimination sur l'émetteur, le récepteur ou le contenu de l'information transmise. Une donnée transite ainsi entre les différents réseaux d'Internet pour atteindre sa destination.

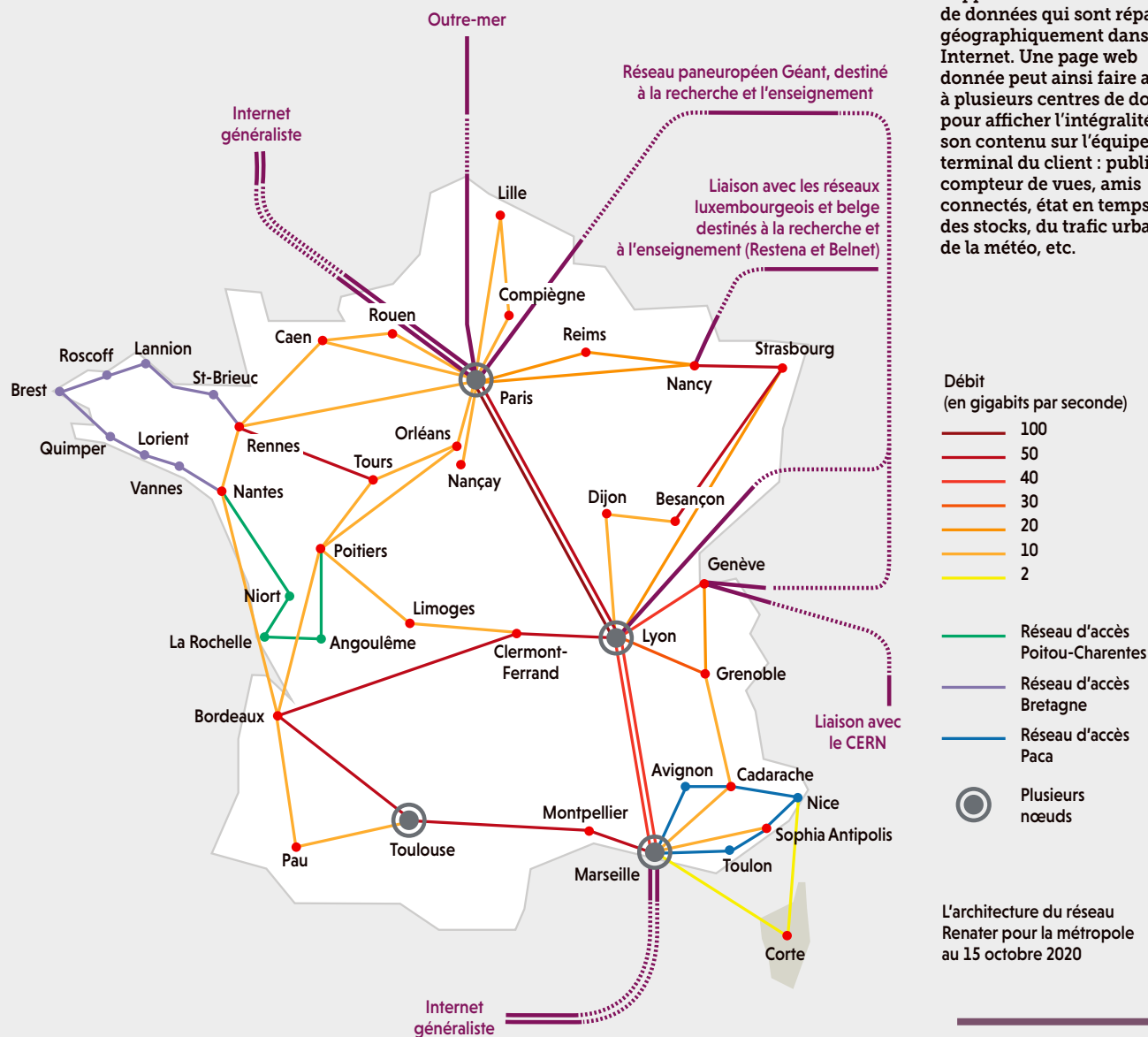
Le réseau Renater, par exemple, fournit un accès internet aux établissements d'enseignement et de recherche en France (voir la figure). Une donnée transitant de Nantes à Marseille peut passer par Bordeaux, Clermont et Lyon ou par Rennes, Paris et Lyon. Comme pour le réseau routier, suivant l'état du trafic, une même donnée, renvoyée à un autre moment,

peut emprunter un chemin différent du chemin initial. Ces redondances assurent la qualité et la robustesse du réseau : elles permettent de transporter plus de données sur certaines parties du réseau, d'utiliser un autre chemin en cas de panne d'un lien et d'équilibrer la charge entre les liens très demandés.

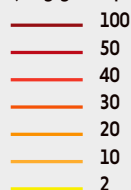
Les autres réseaux généralistes d'Internet sont accessibles via deux accès, l'un au nord, l'autre au sud. Ainsi, si un ordinateur situé à Rennes et connecté au réseau Renater envoie une donnée à un autre ordinateur situé à Rennes, mais connecté à un autre réseau (Orange, Free, SFR, Bouygues...), la donnée transite d'abord jusqu'à l'accès nord du réseau Renater (via Paris) pour rejoindre le réseau de l'ordinateur de destination,

avant de revenir à Rennes en empruntant les routes de cet autre réseau. Et si le réseau de l'ordinateur destinataire n'est pas connecté à l'accès nord du réseau Renater, la donnée passe soit par l'accès sud si le réseau destinataire y est raccordé, soit via un autre réseau connecté à la fois à l'accès nord de Renater et au réseau de l'ordinateur destinataire. Les données font ainsi souvent des trajets plus longs que ce que l'on imagine.

Les réseaux d'Internet permettent l'acheminement des données depuis leurs émetteurs jusqu'à leurs destinataires. Ces données peuvent avoir des formes multiples : page web, e-mail, vidéo, image... Le traitement et le stockage de ces données, nécessaires au fonctionnement des services internet, s'appuient sur des centres de données qui sont répartis géographiquement dans Internet. Une page web donnée peut ainsi faire appel à plusieurs centres de données pour afficher l'intégralité de son contenu sur l'équipement terminal du client : publicité, compteur de vues, amis connectés, état en temps réel des stocks, du trafic urbain, de la météo, etc.



Débit
(en gigabits par seconde)



- Réseau d'accès Poitou-Charentes
- Réseau d'accès Bretagne
- Réseau d'accès Paca

Plusieurs nœuds

L'architecture du réseau Renater pour la métropole au 15 octobre 2020