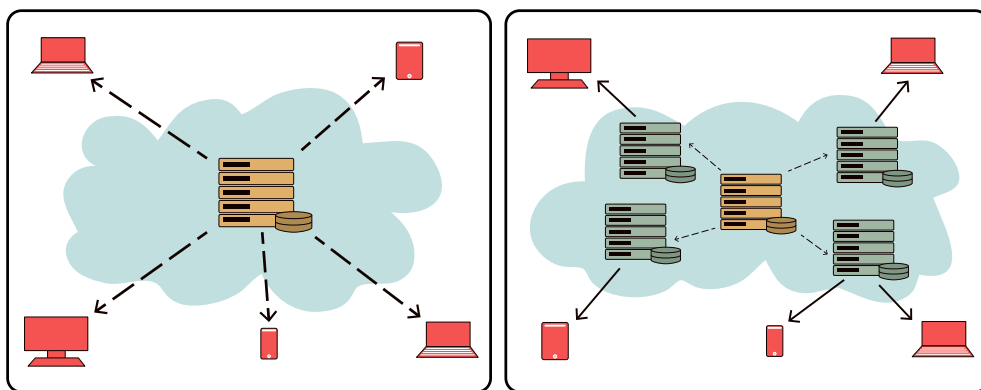




Les plateformes de vidéo en ligne comme Netflix n'utilisent pas une architecture traditionnelle client-serveur (à gauche), où un serveur central fournit les données à de multiples utilisateurs, mais une architecture de type CDN (à droite), où les données sont répliquées dans plusieurs serveurs dans le monde qui les rapprochent géographiquement des utilisateurs.

## EN CHIFFRES

### 4,4 MILLIARDS

En 2019, on estime qu'il y avait environ 4,4 milliards d'utilisateurs d'Internet dans le monde.

### 4 À 10 %

En 2019, le numérique (en prenant en compte le cycle de vie des équipements) aurait été responsable de 4 à 10 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre.

### 10 À 15 %

En 2019, le numérique aurait consommé 10 à 15 % de l'électricité mondiale.

### 15 À 34 MILLIARDS

En 2019, le numérique aurait compté entre 15 et 34 milliards d'équipements terminaux répartis entre 4,4 milliards d'utilisateurs dans le monde, soit entre 3 et 8 par personne en moyenne.

> émetteur vers un récepteur», où un flux de données est généré pour chaque utilisateur. Ce type d'échange accroît le trafic réseau proportionnellement au nombre d'utilisateurs, là où la diffusion hertzienne n'était pas dépendante du nombre d'utilisateurs, mais uniquement du nombre de contenus visibles simultanément à un instant donné.

À cause de ce trafic colossal et afin d'améliorer la diffusion de flux vidéo en ligne, les grandes plateformes ne peuvent pas utiliser des architectures centralisées traditionnelles de type client-serveur, comme pour les pages web. Au contraire, elles reposent sur des infrastructures de type CDN (pour *content delivery network*, «réseau de diffusion de contenu») où les données vidéo sont répliquées aux bons endroits dans les infrastructures mondiales, au cœur des réseaux et dans des centres de données, et géographiquement proches des utilisateurs (voir la figure ci-dessus).

Ces infrastructures redondantes, à hautes performances, permettent d'assurer un meilleur équilibre de la diffusion vidéo à l'échelle mondiale et de réduire l'usage des capacités du réseau de cœur (le réseau central sur lequel les autres reposent) sur de longues distances. Ce mode de distribution de contenu implique cependant qu'une vidéo donnée soit présente en de multiples exemplaires et formats, à de nombreux points du globe, à chaque instant, pour assurer une diffusion optimisée. Il mobilise ainsi un nombre colossal de serveurs dans des centres de données. Ainsi, en 2018, Timm Böttger et ses collègues, de l'université Queen Mary de Londres, ont estimé que Netflix utilisait au moins 8500 serveurs de distribution de contenu localisés dans plus de 600 centres de données, ces derniers n'appartenant pas à Netflix, mais à des opérateurs de réseaux.

On le voit, une donnée numérique, quelle qu'elle soit, traverse donc de nombreux équipements informatiques. On divise le monde matériel d'Internet en trois parties: les réseaux

(filaire et sans fil), les centres de calcul et de données (qui hébergent les serveurs), et les terminaux des utilisateurs (smartphones, tablettes, ordinateurs, objets connectés, etc.). Chacun de ces équipements génère des impacts sur l'environnement tout au long de sa vie (voir l'encadré pages 52-53).

## UN RÉSEAU DE COMMUNICATION MONDIAL

L'impact des seuls réseaux de communication sur lesquels repose Internet est loin d'être négligeable. Ils sont hétérogènes, se partageant entre fils de cuivre, fibres optiques et réseaux sans fil. Toutes ces infrastructures s'appuient sur des équipements embarquant une fraction variée d'intelligence (routeurs, commutateurs, antennes, box...), chacun ayant son propre impact environnemental et sa propre durée de vie.

Par ailleurs, les opérateurs assurent une couverture nationale de plus en plus importante. Les technologies sans fil, notamment, >

## 5G : LA GRANDE INCONNUE

**A** lors que la 5G s'apprête à être déployée en France, son impact environnemental reste difficile à évaluer, car encore peu d'infrastructures réelles existent. Quelques estimations provenant de Chine, où la technologie vient d'être massivement déployée (fin juin 2020, l'opérateur China Mobile avait déjà mis en service 188 000 stations 5G dans 50 villes de Chine), suggèrent que la puissance consommée par une station 5G serait deux à trois fois plus élevée que celle consommée par une station 4G. À cela s'ajoutent le coût énergétique de fabrication des antennes 5G, de plus faible portée et donc plus nombreuses, la construction de smartphones compatibles et l'explosion d'objets connectés que la 5G va entraîner. À partir de quel seuil les avantages énergétiques qu'elle pourra fournir compenseront-ils ces effets néfastes ? C'est toute la question qu'il reste à explorer.

# COMBIEN CONSOMME UNE BOX INTERNET?

**L**a consommation d'une box internet (le boîtier internet qui permet de connecter un foyer à Internet par la technologie ADSL ou fibre optique) illustre la non-proportionnalité énergétique des équipements numériques : lorsque le trafic réseau, et donc l'activité de l'équipement, est très faible, sa consommation est loin d'être négligeable, comme le montre la figure ci-dessous. Par exemple, aux alentours de 4 heures du matin, le trafic est quasiment nul, mais la box consomme environ 15 watts. On nomme cette valeur « consommation statique » : il s'agit de la puissance consommée lorsque l'équipement est allumé, mais n'est pas utilisé et n'a donc pas de charge de travail. La partie restante est nommée « partie dynamique » et dépend de l'utilisation de l'équipement.

Cette non-proportionnalité, combinée à la variabilité de l'utilisation, complexifie le calcul d'un coût énergétique pour cet équipement. Par exemple, si l'on souhaite calculer un coût de consommation énergétique par bit traité, plusieurs options sont envisageables.

**Coût dynamique instantané :** cette méthode fait l'hypothèse que la box est toujours allumée et ne considère que la partie de la consommation qui dépend de l'utilisation, c'est-à-dire, dans notre exemple, la partie au-dessus de 15 watts. Ainsi, pour calculer le coût à 8 heures du matin, on considère qu'il faut 0,15 watt (uniquement la partie dynamique)

pour un débit de 0,65 mégabit par seconde (Mbps). Ces valeurs donnent un coût énergétique de 0,23 microjoule par bit : chaque bit induit une consommation supplémentaire de 0,23 microjoule.

**Coût instantané total :** cette méthode considère la consommation instantanée totale de la box incluant la partie statique, soit 15,15 watts pour 0,65 Mbps à 8 heures du matin, par exemple. Ces valeurs correspondent à un coût de 23,3 microjoules par bit. Si l'on calcule ce coût à un autre moment, par exemple à 20 heures, où on a une consommation de 16,05 watts pour 4,75 Mbps, le coût est alors de 3,38 microjoules par bit. Le coût instantané total varie donc fortement suivant le trafic : un bit n'induit pas la même consommation suivant le moment de la journée où il est traité.

À 4 heures du matin, le trafic est quasi nul, mais la box consomme environ 15 watts

**Coût journalier total :** cette méthode considère la consommation moyennée sur la journée, soit 15,35 watts pour 1,55 Mbps en moyenne. Le coût est alors de 9,9 microjoules par bit. Le trafic variant d'un jour à l'autre, cette méthode indiquera un coût différent en fonction de l'utilisation moyenne pour chaque jour.

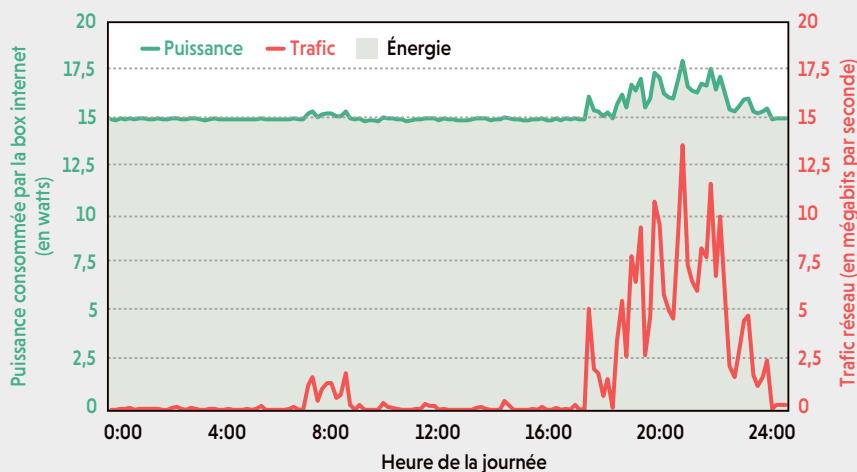
**Coût minimal total :** cette méthode considère les valeurs maximales jamais observées sur la box, en l'occurrence 25 watts pour 60 Mbps. Le coût est alors de 0,42 microjoule par bit.

Cette valeur est théorique puisque la box ne fonctionne pas à pleine capacité à chaque instant. Elle constitue donc une borne inférieure théorique de la consommation totale induite par le traitement d'un bit sur la box.

Comme on peut le voir à travers cet exemple, la méthode de calcul influe considérablement sur la valeur finale : on observe jusqu'à deux ordres de grandeur de différence suivant la méthode choisie. Ce choix dépend de l'utilisation que l'on souhaite en faire : calculer le surcoût lié au traitement de données, comparer l'efficacité de deux équipements, calculer la consommation de l'émission d'un e-mail, etc. Ce type d'indicateur de coût est indispensable pour estimer l'efficacité énergétique d'un équipement.

La non-proportionnalité énergétique observée ici pour une box touche en fait tous les équipements numériques dans une proportion plus ou moins forte. Dans le cas de notre box, le poids de la partie dynamique atteint au maximum 40 % de la puissance consommée, puisque la box consomme au maximum 25 watts pour une partie statique de 15 watts. Mais cette proportion dynamique maximale peut descendre jusqu'à moins de 10 % pour certains équipements comme les routeurs du cœur d'Internet, dont la consommation varie très peu en fonction de l'utilisation.

Pour ces équipements déjà en service, une façon efficace d'économiser de l'énergie consiste à les éteindre lorsqu'ils ne sont pas utiles. Dans le cas de la box, l'éteindre pendant la nuit, lorsqu'elle n'est pas utilisée, permettrait d'économiser 15 watts pendant toute la durée de la nuit, soit environ 38 kilowattheures d'électricité par an (l'équivalent de la consommation annuelle d'un microondes selon l'Ademe), si l'on considère des nuits de 7 heures. C'est une petite économie en termes de coût financier pour un foyer, mais ramené aux millions de box allumées en France, cela représente une réduction énergétique et environnementale non négligeable.



La consommation sur une journée d'une box internet connectée par fibre optique (en vert, représentée par la puissance instantanée consommée moyennée sur 10 minutes) n'est jamais nulle, même lorsque la box n'est pas utilisée (en rouge, la variation du trafic sur la même journée).