

Internet

SNT – Seconde

Comment des milliards de machines s'échangent des messages

Table des matières

Introduction	1
1 Internet, ce n'est pas le Web	1
1.1 Un réseau de réseaux	1
1.2 Internet et le Web sont deux choses différentes	2
1.3 Repères historiques	2
1.4 Internet est indépendant du réseau physique	3
2 Adresses IP, noms de domaine et DNS	3
2.1 L'adresse IP	3
2.2 Les noms de domaine	3
2.3 Le DNS : l'annuaire d'Internet	4
3 Le routage des paquets	4
3.1 Découper pour transporter	5
3.2 Les routeurs et le routage	5
4 Le protocole TCP	6
5 Réseaux physiques, débits et ordres de grandeur	7
5.1 Les principaux supports	7
5.2 Ordres de grandeur	7
6 Les réseaux pair-à-pair	8

Introduction

Vous utilisez Internet tous les jours, sans avoir jamais eu besoin de savoir comment il fonctionne. Ce chapitre ouvre la boîte.

Internet n'est ni un immense ordinateur central, ni un « nuage », ni une entreprise : c'est un ensemble de câbles, d'antennes et de machines qui se transmettent des messages en respectant des règles communes, appelées **protocoles**.

Tout le reste de l'année s'appuie sur ce chapitre : le Web, les réseaux sociaux, la localisation par satellite et les objets connectés sont des applications construites *par-dessus* Internet.

1 Internet, ce n'est pas le Web

1.1 Un réseau de réseaux

Un **réseau informatique** est un ensemble de machines reliées entre elles et capables de s'échanger des données : les ordinateurs d'une salle de classe, ou les appareils connectés à la box d'un logement, forment chacun un réseau. Internet n'est pas un réseau de plus : c'est ce qui relie tous ces réseaux entre eux.

Définition 1.1: Internet

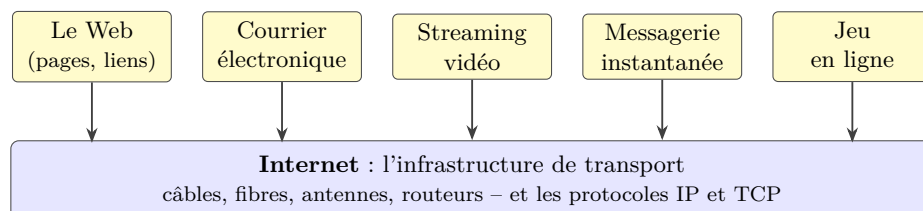
Internet est le réseau mondial obtenu en interconnectant des réseaux informatiques indépendants, qui communiquent entre eux en respectant des règles communes appelées **protocoles**. Le mot vient de l'anglais *inter-network*, « entre les réseaux ».

Remarque : Personne ne possède Internet

Aucune entreprise, aucun État ne possède Internet ni ne le pilote depuis un centre de contrôle. Chaque opérateur possède ses propres câbles et ses propres machines ; ce qui fait tenir l'ensemble, ce n'est pas un propriétaire commun, mais le fait que tout le monde applique les **mêmes protocoles**.

1.2 Internet et le Web sont deux choses différentes

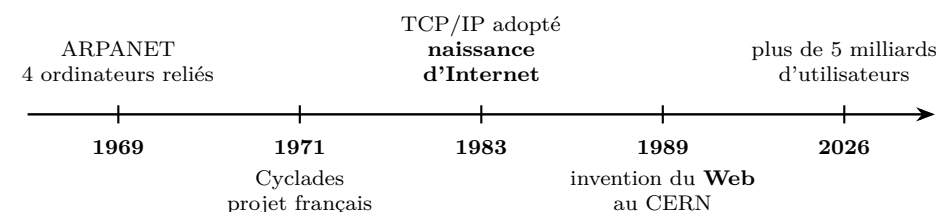
Dans le langage courant, « Internet » et « le Web » sont employés l'un pour l'autre. Ce sont pourtant deux choses différentes : Internet transporte les données, le Web n'est que l'un des services qui circulent dessus.

Le Web n'est qu'un service parmi d'autres, transporté par Internet**Définition 1.2: Le Web**

Le **Web** (ou *World Wide Web*, « toile mondiale ») est l'ensemble des pages reliées entre elles par des liens hypertextes, consultables à l'aide d'un navigateur. C'est un **service** utilisant Internet, inventé en 1989, soit vingt ans après Internet.

Remarque : Comment ne plus les confondre

Internet est au Web ce que le réseau routier est au covoiturage : le réseau routier permet de nombreux usages (bus, camions, vélos, covoiturage) ; supprimer le covoiturage ne supprimerait pas les routes. De même, si le Web disparaissait demain, Internet continuerait de transporter les courriels, les appels vidéo et les mises à jour de vos applications.

1.3 Repères historiques**Quelques dates à retenir**

Deux idées nées de cette histoire gouvernent encore le fonctionnement d'Internet :

- les données sont découpées en petits morceaux indépendants, les **paquets**, plutôt que transmises d'un bloc ;

- le réseau ne comporte aucun centre : si une liaison est coupée, les paquets empruntent un autre chemin.

1.4 Internet est indépendant du réseau physique

Les données circulent forcément quelque part : dans un câble, une fibre, une onde radio. Mais Internet ne dépend d'aucun support en particulier.

Propriété 1.3: Indépendance vis-à-vis du support

Les protocoles d'Internet fonctionnent à l'identique quel que soit le support physique utilisé : fibre optique, câble de cuivre, WiFi, réseau mobile 4G/5G, ou même liaison par satellite. Un même message peut d'ailleurs emprunter successivement plusieurs supports différents entre son départ et son arrivée.

Exemple 1.4: Le trajet d'une photo envoyée depuis un téléphone

Une photo envoyée depuis un téléphone à un correspondant à l'étranger part en **4G** (onde radio) jusqu'à l'antenne, poursuit en **fibre optique** jusqu'au cœur du réseau, traverse un océan dans un **câble sous-marin**, puis arrive chez le destinataire par un câble **ADSL** avant de finir en **WiFi** jusqu'à son ordinateur. Quatre supports différents, un seul protocole.

2 Adresses IP, noms de domaine et DNS

Pour qu'un message parvienne à la bonne machine, il faut pouvoir la désigner sans ambiguïté parmi les milliards de machines connectées. C'est le rôle des adresses.

2.1 L'adresse IP

Définition 2.1: Adresse IP

Une **adresse IP** est un numéro qui identifie une machine sur un réseau. Toute machine connectée à Internet en possède une : sans adresse, elle ne peut ni être jointe, ni recevoir de réponse.

Elle s'écrit sous la forme de quatre nombres compris entre 0 et 255, séparés par des points. Par exemple : **193.51.196.138**.

Propriété 2.2: Un adressage hiérarchique

Les adresses IP ne sont pas attribuées au hasard : elles sont distribuées par blocs, chaque opérateur recevant une plage d'adresses voisines. Les machines proches dans le réseau ont donc des adresses qui se ressemblent.

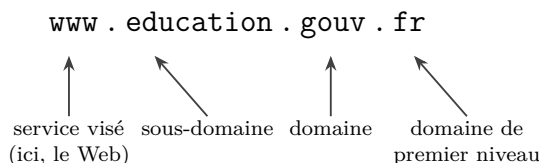
C'est ce qui rend le routage possible : un routeur n'a pas besoin de connaître les milliards d'adresses existantes, il lui suffit de savoir dans quelle direction envoyer chaque *famille* d'adresses.

2.2 Les noms de domaine

Personne ne retient une adresse IP. On désigne donc les machines par des noms, appelés **adresses symboliques** ou **noms de domaine**. Ces noms se lisent **de droite à gauche**, du plus général au plus précis.

Structure d'un nom de domaine

sens de lecture de la hiérarchie, du plus général au plus précis



Le domaine de premier niveau (*TLD*) peut désigner un pays (`.fr`, `.be`, `.jp`) ou un type d'activité (`.com`, `.org`, `.edu`). Le propriétaire d'un domaine est ensuite libre d'y créer autant de sous-domaines qu'il le souhaite.

Le premier élément, tout à gauche, indique **par convention** le service auquel on s'adresse : `www` pour le Web, `mail` pour la messagerie. Ce n'est qu'un usage, et non une règle : beaucoup de sites sont accessibles sans le `www`.

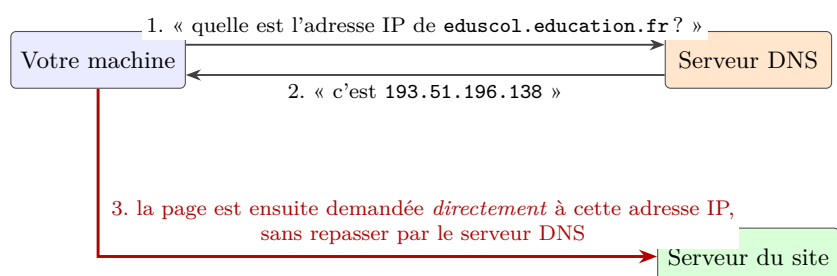
2.3 Le DNS : l'annuaire d'Internet

Définition 2.3: DNS

Le **DNS** (*Domain Name System*, « système de noms de domaine ») est le service qui fait la correspondance entre une adresse symbolique et l'adresse IP correspondante. Les machines qui rendent ce service sont les **serveurs DNS**.

Traduire un nom en adresse IP s'appelle **résoudre** le nom.

Ce qui se passe quand on saisit une adresse dans un navigateur



Cette traduction est invisible pour l'utilisateur, mais elle a lieu à chaque nouvelle adresse saisie. Une panne de DNS donne l'impression que « tout Internet est en panne », alors que le réseau fonctionne : seul l'annuaire est devenu muet.

Méthode 2.4: Retrouver une adresse IP à partir d'un nom (et inversement)

Dans un terminal (invite de commandes), on dispose de trois commandes utiles :

- `ipconfig` (Windows) ou `ip a` (Linux) affiche l'adresse IP de *sa propre* machine sur le réseau local ;
- `nslookup eduscol.education.fr` interroge un serveur DNS et affiche l'adresse IP correspondant à ce nom ;
- `nslookup 193.51.196.138` effectue la traduction *inverse*, de l'adresse IP vers le nom.

3 Le routage des paquets

Nous savons désigner la machine destinataire. Reste à savoir par quel chemin le message va l'atteindre, alors qu'aucune machine ne connaît la carte complète du réseau.

3.1 Découper pour transporter

Définition 3.1: Paquet

Avant d'être envoyée, une donnée est découpée en morceaux de petite taille appelés **paquets**. Chaque paquet voyage **indépendamment** des autres et contient, en plus du morceau de données transporté :

- l'adresse IP de la machine **expéditrice** ;
- l'adresse IP de la machine **destinataire** ;
- son **numéro d'ordre** dans le message complet.

Remarque : Pourquoi découper ?

Envoyer un fichier d'un seul bloc mobiliserait une liaison entière pendant tout le transfert, et la moindre erreur obligerait à tout recommencer. Avec des paquets, plusieurs communications se partagent les mêmes câbles, et une perte ne coûte que la réémission d'un petit morceau.

3.2 Les routeurs et le routage

Définition 3.2: Routeur, routage

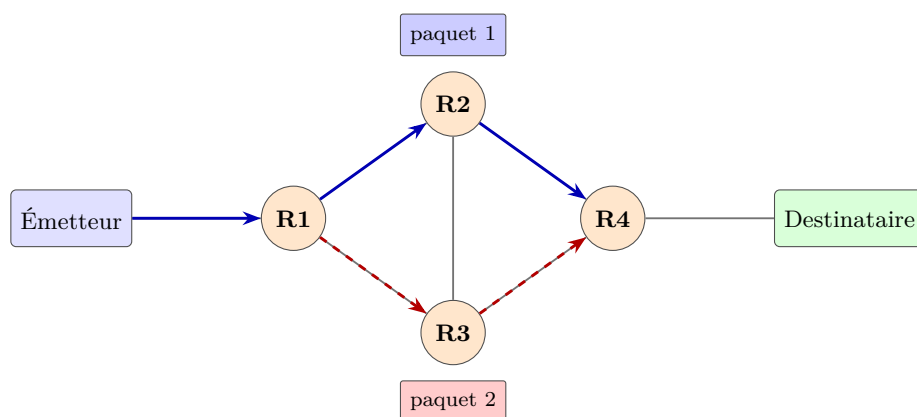
Un **routeur** est une machine spécialisée, placée à la jonction de plusieurs réseaux, dont le rôle est de faire suivre les paquets qu'elle reçoit vers leur destination.

Le **routage** est l'opération par laquelle chaque routeur choisit, pour un paquet donné, à quel voisin le transmettre.

Propriété 3.3: Le principe du routage

- Chaque routeur ne dispose que d'une **table de routage locale**, construite par échange d'informations avec ses seuls voisins. **Aucune machine ne possède la carte complète d'Internet.**
- À la réception d'un paquet, le routeur lit l'adresse IP de destination et le transmet au voisin qui, d'après sa table, le rapproche du but. Puis il l'oublie.
- Le chemin complet n'est donc décidé par personne à l'avance : il se construit routeur après routeur.

Deux paquets d'un même message peuvent suivre deux chemins différents



Si la liaison R1-R2 est coupée, les paquets suivants passeront tous par R3 :
le réseau se réorganise tout seul, sans intervention de l'émetteur.

Propriété 3.4: Intérêts et limites du routage

Intérêts : le réseau résiste aux pannes, s'adapte à la charge, et peut grandir sans limite puisqu'aucune machine n'a besoin de tout connaître.

Limites :

- le chemin n'est pas connu à l'avance et peut changer d'un paquet à l'autre ;
- la durée du trajet est donc imprévisible ;
- un paquet peut se perdre, par saturation d'un routeur ou par erreur.

Méthode 3.5: Observer le chemin suivi par les paquets

La commande `tracert` (Windows) ou `traceroute` (Linux, macOS), suivie d'un nom de domaine, affiche la liste des routeurs successivement traversés, avec le temps de réponse de chacun. Deux exécutions à quelques minutes d'intervalle peuvent donner des listes différentes.

4 Le protocole TCP

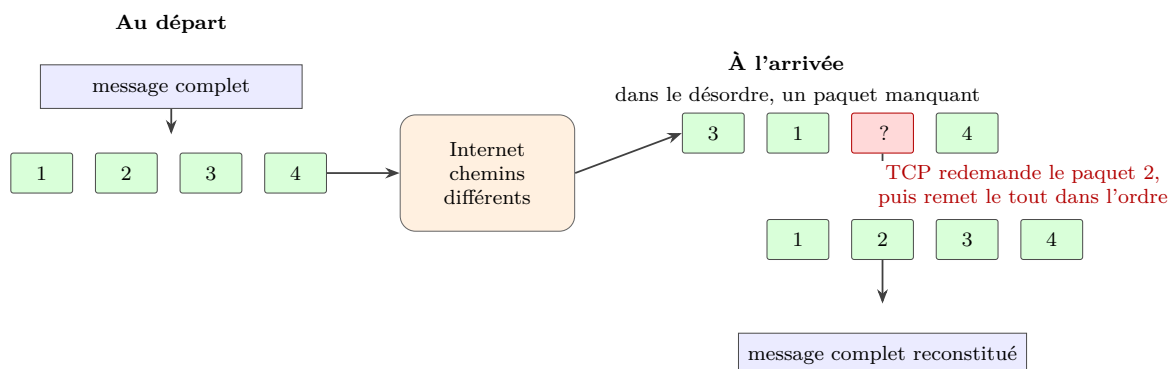
Le protocole IP achemine les paquets *au mieux* : il ne garantit ni leur arrivée, ni leur ordre. Or un fichier auquel il manque un morceau est inutilisable. C'est le rôle de TCP de rattraper cela.

Définition 4.1: Les rôles de IP et de TCP

- Le protocole **IP** (*Internet Protocol*) s'occupe de l'**adressage et de l'acheminement** : il fait parvenir chaque paquet, isolément, d'une machine à une autre.
- Le protocole **TCP** (*Transmission Control Protocol*) s'occupe de la **fiabilité** : il découpe le message au départ, numérote les paquets, vérifie leur arrivée, redemande ceux qui manquent et remet le tout dans l'ordre à l'arrivée.

Les deux fonctionnent ensemble, ce qu'on note **TCP/IP**.

Découpage, transport et reconstitution d'un message



Propriété 4.2: Fiable, mais sans garantie de temps

TCP garantit que le message arrivera **complet et dans le bon ordre**, ou qu'il signalera un échec. En revanche, il ne garantit **rien sur la durée** du transfert : ni sa valeur, ni sa régularité. Personne, sur Internet, ne peut promettre qu'un message arrivera avant telle date.

Exemple 4.3: Où l'on voit la différence dans la vie courante

Une vidéo en streaming se **fige** quelques secondes : les images finiront par arriver, complètes (fiabilité), mais trop tard pour être affichées à l'heure (absence de garantie temporelle). Dans un jeu en ligne, le « lag » est ce même retard variable : aucun réglage ne peut le supprimer.

complètement.

5 Réseaux physiques, débits et ordres de grandeur

5.1 Les principaux supports

Définition 5.1: Débit

Le **débit** d'une liaison est la quantité de données qu'elle peut transmettre par unité de temps. Il se mesure en **bits par seconde** (b/s), et en pratique en Mb/s (mégabits, un million de bits par seconde) ou Gb/s (gigabits, un milliard).

Remarque : Attention au piège du bit et de l'octet

Les débits s'expriment en **bits** par seconde, alors que la taille des fichiers s'exprime en **octets**. Or un octet vaut 8 bits : une connexion annoncée à 100 Mb/s ne télécharge donc pas 100 Mo par seconde, mais environ $100 \div 8 = 12,5$ Mo par seconde.

Support	Nature	Débit typique	Portée
Fibre optique	lumière dans du verre	1 à 10 Gb/s	très grande
Câble Ethernet	électricité dans du cuivre	100 Mb/s à 10 Gb/s	100 m
ADSL	ligne téléphonique en cuivre	1 à 20 Mb/s	quelques km
WiFi	ondes radio	50 à 1000 Mb/s	quelques dizaines de m
4G / 5G	ondes radio (réseau mobile)	10 Mb/s à 1 Gb/s	plusieurs km
Bluetooth	ondes radio	1 à 3 Mb/s	environ 10 m

Propriété 5.2: Un compromis permanent

Aucun support n'est meilleur que les autres sur tous les critères. Les liaisons filaires (fibre, Ethernet) offrent les meilleurs débits, mais imposent de tirer un câble ; les liaisons radio (WiFi, 4G/5G, Bluetooth) offrent la mobilité, mais sont plus lentes et sensibles aux obstacles.

5.2 Ordres de grandeur

Méthode 5.3: Estimer une durée de transfert

1. Convertir la taille du fichier en **bits** (multiplier par 8 le nombre d'octets).
2. Diviser par le débit exprimé en bits par seconde.
3. Vérifier la vraisemblance du résultat : on cherche un *ordre de grandeur*, pas une valeur exacte – le débit réel est toujours inférieur au débit annoncé.

Exemple 5.4: Télécharger un film de 4 Go

Un film de 4 Go représente $4 \times 8 = 32$ gigabits, soit 32 000 mégabits.

- En ADSL à 8 Mb/s : $32\,000 \div 8 = 4000$ s, soit environ **1 heure**.
- En fibre à 1 Gb/s : $32 \div 1 = 32$ s, soit environ **une demi-minute**.

Le rapport entre les deux supports est d'un facteur 100 environ.

Propriété 5.5: Quelques ordres de grandeur à connaître

- Environ **5,5 milliards** d'utilisateurs d'Internet, soit à peu près deux tiers de l'humanité.
- De l'ordre de **20 à 30 milliards** d'appareils connectés, en comptant les objets connectés : bien plus que d'êtres humains.

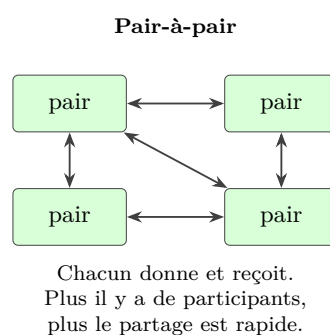
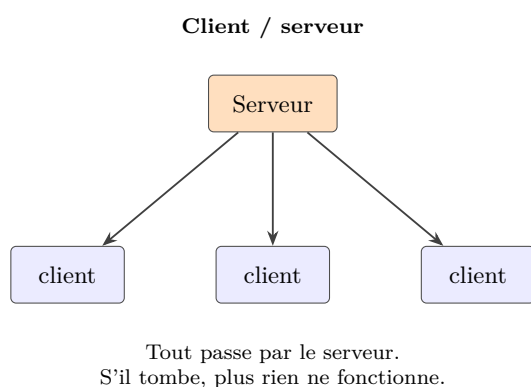
- Entre le support le plus lent et le plus rapide de la page précédente, le rapport des débits est d'environ **1 à 1000**.

6 Les réseaux pair-à-pair

Définition 6.1: Client/serveur et pair-à-pair

- Dans le modèle **client/serveur**, une machine centrale (le **serveur**) détient les données et les fournit à la demande aux machines des utilisateurs (les **clients**), qui ne communiquent pas entre elles.
- Dans le modèle **pair-à-pair** (*peer-to-peer*, P2P), toutes les machines jouent le même rôle : chacune est à la fois cliente et serveuse, et fournit aux autres les morceaux de fichier qu'elle a déjà reçus.

Client/serveur et pair-à-pair



Propriété 6.2: Intérêts du pair-à-pair

- **Robustesse** : il n'y a pas de point unique de défaillance ; la disparition d'une machine ne bloque pas l'échange.
- **Passage à l'échelle** : contrairement au modèle client/serveur, où le serveur sature quand les demandes affluent, le pair-à-pair devient plus efficace à mesure que le nombre de participants augmente.
- **Coût** : la charge est répartie entre les participants, sans avoir à financer une grosse infrastructure centrale.

Exemple 6.3: Usages légitimes et usages illicites

Usages légitimes : distribution de systèmes d'exploitation libres (les distributions Linux se téléchargent souvent ainsi), diffusion de mises à jour de jeux vidéo, sauvegarde répartie, technologies de chaîne de blocs, certains systèmes de communication.

Usages illicites : le pair-à-pair est aussi massivement utilisé pour partager des films, des séries, de la musique ou des logiciels protégés par le **droit d'auteur**, sans autorisation. La technique elle-même est parfaitement légale ; c'est l'usage qui peut ne pas l'être, et il est sanctionné par la loi.

Bilan

Dans ce chapitre, nous avons vu que :

- **Internet** est un réseau de réseaux sans centre, qui fonctionne à l'identique quel que soit le support physique employé ; le **Web** n'est que l'un des services qu'il transporte ;

- chaque machine est identifiée par une **adresse IP**, que le **DNS** met en correspondance avec un **nom de domaine** plus facile à retenir ;
- les données sont découpées en **paquets** acheminés par le protocole **IP** de routeur en routeur, chacun ne connaissant que ses voisins : le chemin n'est décidé à l'avance par personne, et le réseau contourne les pannes ;
- le protocole **TCP** numérote les paquets, redemande ceux qui manquent et les remet dans l'ordre : il garantit la **fiabilité**, mais **aucun délai** ;
- les supports physiques (fibre, ADSL, Ethernet, WiFi, 4G/5G, Bluetooth) se distinguent par leur **débit** et leur portée ;
- dans un réseau **pair-à-pair**, chaque machine est à la fois cliente et serveuse ; la technique est légale, certains de ses usages ne le sont pas.

Vocabulaire à maîtriser

réseau	protocole	Internet / Web
adresse IP	nom de domaine	DNS
paquet	routeur, routage	table de routage
IP	TCP	fiabilité
débit	bit, octet	fibre, ADSL, WiFi, 4G/5G
client/serveur	pair-à-pair	