

Le fonctionnement d'Internet

Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions :
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/fr/>

Table des matières

I - Contexte	3
II - Les acteurs du réseau : FAI, FCA, hébergeur, transitaires	4
III - Exercice : Appliquer la notion	7
IV - Les interactions entre acteurs du réseau : peering et transit	8
V - Exercice : Appliquer la notion	11
VI - Les machines qui font fonctionner Internet	12
VII - Exercice : Appliquer la notion	17
VIII - Protocoles réseaux TCP/IP	18
IX - Exercice : Appliquer la notion	21
X - Le protocole IP (Internet Protocol)	22
XI - Exercice : Appliquer la notion	24
XII - Le protocole TCP (Transmission Control Protocol)	26
XIII - Exercice : Appliquer la notion	29
XIV - Adresses IP	30
XV - Exercice : Appliquer la notion	32
XVI - Noms de domaine	34
XVII - Exercice : Appliquer la notion	37
XVIII - Essentiel	38
XIX - Quiz	39
XX - UPLOAD	43
Solutions des exercices	44
Glossaire	53
Crédits des ressources	54
Contenus annexes	55

I Contexte

Durée : 2h

Environnement de travail : Aucun

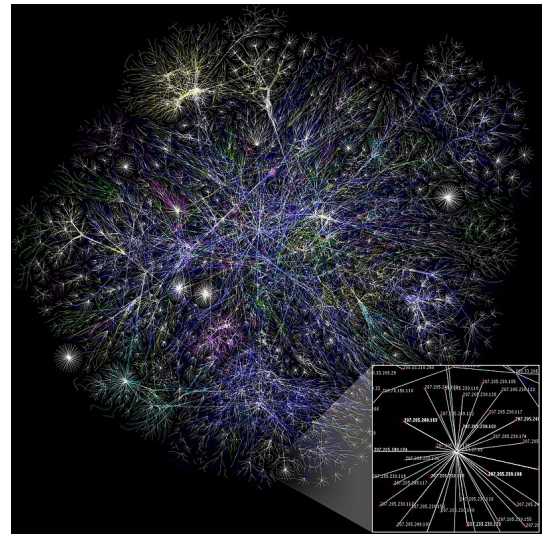
Pré-requis : Aucun

Nous utilisons Internet chaque jour pour naviguer sur le Web ou envoyer des mails. Nous allons voir dans ce module comment cela est rendu possible par un ensemble d'acteurs, de fondements théoriques et techniques.

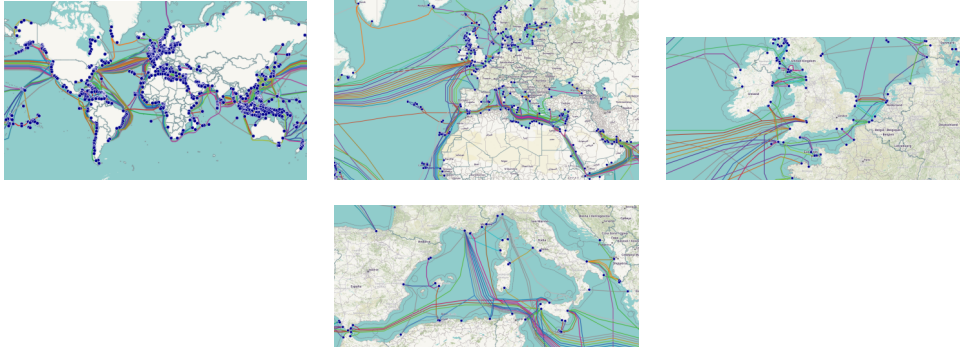
Internet fonctionne parce que les ordinateurs peuvent s'échanger des messages. Mais ces messages ne sont pas échangés directement entre l'ordinateur qui les émet et celui qui les reçoit. Il n'y pas de fil qui les relie directement (si chaque ordinateur devait être relié directement à tous les autres, cela ferait beaucoup de fils...).

À la place il y a un système d'échange standard à la base d'Internet : le protocole TCP/IP.

Ce système repose sur le découpage des messages en paquets et sur la transmission de ces paquets via des intermédiaires. On connaît par exemple les fournisseurs d'accès à Internet (ou FAI) qui connectent les foyers à Internet via les *box*. Autre exemple, les routeurs sont des machines qui reçoivent les paquets et les orientent vers d'autres routeurs plus proches de la destination.



II Les acteurs du réseau : FAI, FCA, hébergeur, transitaires



Carte des câbles sous-marins du réseau Internet

Les composants fondamentaux du réseau Internet sont les câbles très haut débit par lesquels transitent les données.

Cette carte montre les câbles sous-marins qui relient les différents continents. Si leur nombre est assez faible, la quantité de données échangées est très élevée.

FAI

Az Définition

Un FAI (pour Fournisseur d'Accès à Internet) est un acteur qui propose une connexion Internet à ses utilisateurs. En anglais, on parle d'*Internet Service Provider* (abrégé ISP). Les FAI sont le dernier intermédiaire entre les câbles composant le réseau et les utilisateurs finaux.

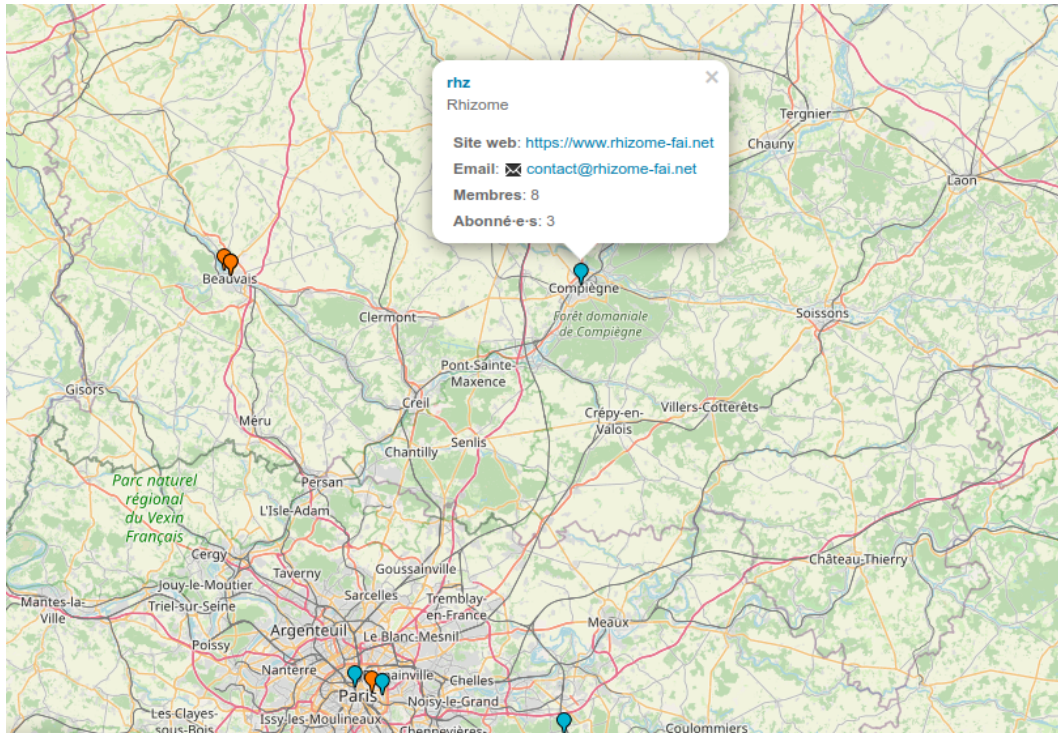
Plusieurs types de FAI

Remarque

- Les FAI existent sous forme d'entreprises ou d'association. Les entreprises en France représentent plus de 95% du marché. On y retrouve Orange, Bouygues, SFR, Free, etc.
- Moins connus mais plus nombreux, les FAI associatifs proposent une connexion Internet à leurs adhérents. En France, la FFDN¹ est une fédération qui regroupe plus de 30 FAI associatifs partageant des valeurs de « bénévolat, solidarité, fonctionnement démocratique et à but non lucratif ».

¹. <https://www.ffdn.org/>

Exemple



Rhizome, un FAI de la FFDN – rhizome-fai.net

FCA

Az Définition

Un FCA (pour Fournisseur de Contenu et d'Applications) est un acteur qui propose du contenu accessible via Internet et font appels aux autres acteurs pour acheminer ce contenu vers les utilisateurs. Tous les acteurs proposant un site web sont des FCA.

Synonyme : fournisseur de service

FCA

Exemple

- Wikipédia, qui propose le site éponyme,
- Framasoft, qui propose un service de visioconférence appelé Framatalk,
- ProtonMail, qui propose un service de mails,
- Les chaînes de télévision par Internet.

Serveur Internet

Az Définition

Un **serveur** Internet est un ordinateur accessible via Internet qui rend des **services** aux utilisateurs. Il **héberge** du contenu (pages web, mails, vidéo, etc.). On dit qu'il **sert** ces contenus aux utilisateurs en réponse à des demande d'accès, ou **requêtes**.

Hébergeur

Az Définition

Un hébergeur est le propriétaire de serveurs utilisés par un ou plusieurs FCA pour distribuer son contenu. Si le FCA est aussi le propriétaire de ses serveurs, il est à la fois FCA et hébergeur.

En France

👁 Exemple

Les entreprises françaises Gandi, OVH ou Scaleway sont des hébergeurs : elles permettent aux particuliers et entreprises de louer des serveurs et d'héberger du contenu.

Transitaire

Az Définition

Un transitaire est un acteur chargé d'acheminer les données entre différentes parties du globe via le réseau physique. Ils sont en charge du cœur de l'infrastructure nécessaire à la circulation des données. Les transitaires sont des intermédiaires entre les FCA et les FAI connus du grand public.

France

👁 Exemple

En France, on peut citer France-IX, Zayo France, Nerim, Metro Optic, Open Transit, etc. Ces noms sont inconnus du grand public, car les clients des transitaires sont les FAI ou d'autres acteurs, mais pas les citoyens. Certaines entreprises sont à la fois des transitaires et des FAI, comme Orange avec Open Transit.

À retenir

Le réseau physique d'Internet est composé d'une multitude d'acteurs qui travaillent en commun pour interconnecter leurs réseaux respectifs.

Les principaux acteurs sont :

- les Fournisseur d'Accès à Internet (FAI)
- les Fournisseur de Contenu et d'Applications (FCA)
- les hébergeurs (qui gère les serveurs de FCA)
- les transitaires (intermédiaires entre les FAI et les FCA)

III Exercice : Appliquer la notion

Je cherche un potentiel FAI associatif de la FFDN présent près de chez moi.

Question 1

[solution n°1 p. 44]

Quel est le site de la fédération des fournisseurs d'accès Internet associatifs (FFDN) ?

Question 2

[solution n°2 p. 44]

Quelle page web contient la liste des FAI de la FFDN ?

Question 3

[solution n°3 p. 44]

Quelle page web contient une carte OpenStreetMap des FAI de la FFDN ?

IV Les interactions entre acteurs du réseau : peering et transit

Mise en situation

Ce qui fait d'Internet un réseau mondial est l'**interconnexion** entre ses acteurs. Les clients d'un FAI à Paris peuvent communiquer des données à un hébergeur aux États-Unis, à travers une chaîne d'intermédiaires (transitaires, autres FAI, etc.).

Cette interconnexion se manifeste par deux méthodes : le **peering** et le **transit**.

Peering

Az Définition

Le *peering* (de l'anglais *peer*, pair) interconnecte deux acteurs.

Chaque acteur donne ainsi accès à son réseau à l'autre.

L'accès est

- direct (*peering privé*)
- ou réalisé par l'intermédiaire d'un IXP (*peering public*).

Le *peering* interconnecte en général des acteurs de taille comparable et il n'y a pas d'échange d'argent si les deux acteurs pensent qu'il est équitable.

Transit

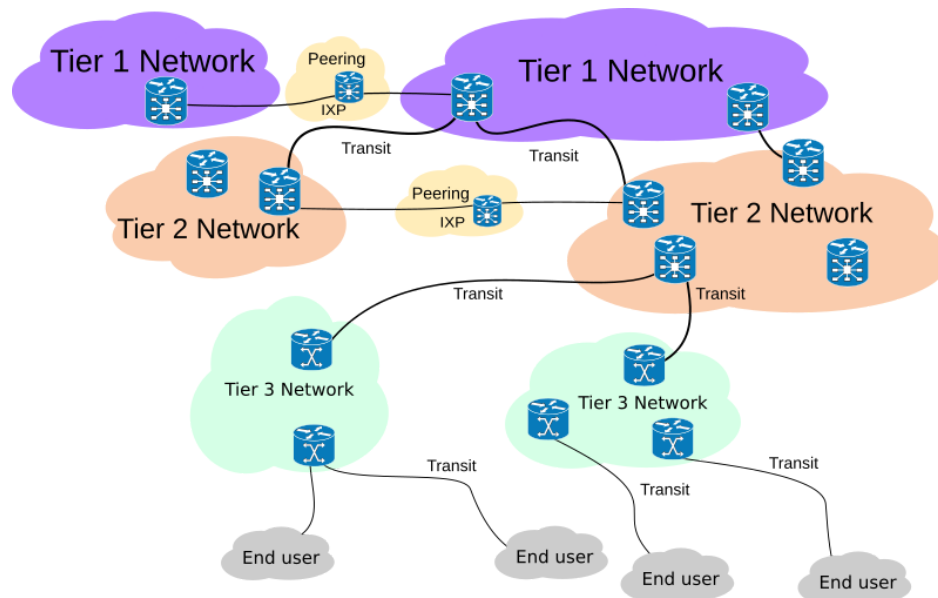
Az Définition

Le transit permet à un acteur plus modeste d'acheter du transit à un acteur plus important.

Cet achat de transit permet de connecter son réseau à l'ensemble d'Internet.

Classement des opérateurs d'Internet

Az Définition



Transit et peering entre opérateurs Internet de niveau 1 à 3

Les opérateurs d'Internet sont classés selon leur type d'interconnexion. Les premiers sont en général moins connus du grand public mais de taille très importante.

- *Tier 1* : ils n'achètent pas de transit et accèdent à la totalité d'Internet via des peering avec d'autres grands opérateurs également de *tier 1*.
- *Tier 2* : ils ont des accords de peering mais dépendent aussi d'une offre de transit.
- *Tier 3* : n'ont aucun accord de peering et dépendent totalement d'une offre de transit.

Chemin emprunté par une ressource

Exemple

La requête pour consulter un article sur Wikipédia depuis un ordinateur relié à une box Internet pourra par exemple :

- Partir du réseau local pour rejoindre le réseau du FAI (en général de *tier 3*),
- Être reçue par le FAI qui détermine la meilleure route à emprunter, en fonction de ses accords de peering et/ou de transit,
- Être transférée à d'autres FAI, de proche en proche, en changeant éventuellement de *tier*,
- Être finalement transmise au FAI utilisé par Wikipédia,
- Être reçue par Wikipédia.

Peering et transit

Remarque

Le peering et le transit sont des méthodes qui se complètent.

En général :

- Les petits acteurs, lorsqu'ils ne sont pas trop éloignés, se connectent via du peering.
- Autrement, ils achètent du transit pour se connecter l'ensemble d'Internet.
- Les transitaires s'interconnectent entre eux avec du peering, et la boucle est bouclée.

IXP

+ Complément

Un point d'échange Internet (IXP, pour *Internet Exchange Point*) est une des infrastructures physiques permettant aux différents acteurs d'Internet de se connecter.

Un IXP est une alternative aux transitaires : les acteurs souhaitant s'échanger des données (FAI, entreprises, états, etc.) s'interconnectent à un IXP plutôt que d'acheter du trafic à un transitaire.



Les IXP permettent d'interconnecter plusieurs réseaux.

Pour aller plus loin

+ Complément

www.nextinpact.com/news/108821-on-vous-explique-simplement-comment-fonctionnent-tuyaux-dinternet.htm.

À retenir

- Le peering permet à deux acteurs de partager leurs réseaux respectifs, généralement de manière équitable et gratuite.
- Le transit permet à un acteur d'avoir accès à l'ensemble d'Internet via un accord avec un autre acteur de taille plus importante.

② Exercice : Appliquer la notion

[solution n°4 p. 44]

Exercice

Quelles sont les caractéristiques d'un opérateur de *tier 1* ?

- ☐ **A** Ils ont accès à la totalité d'Internet
- ☐ **B** Ils achètent du transit à d'autres opérateurs de *tier 1*
- ☐ **C** Ils vendent du transit à d'autres opérateurs

Appliquer la notion

Parmi ces FAI français, lequel est un opérateur de *tier 1* ?

On pourra s'aider de la page Wikipédia sur les opérateurs de *tier 1*².

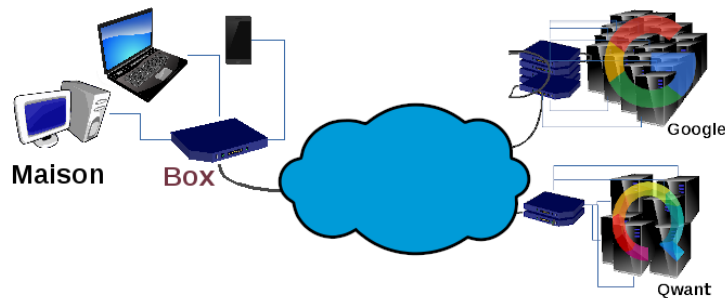
- ☐ **A** SFR
- ☐ **B** Orange
- ☐ **C** FDN
- ☐ **D** Free

² https://en.wikipedia.org/wiki/Tier_1_network

VI Les machines qui font fonctionner Internet

Aux extrémités du réseau : serveurs et clients

Az Définition



Clients, box et serveurs

Aux extrémités d'un chemin sur Internet il y a deux acteurs : l'utilisateur et le FCA (Fournisseur de Contenu et d'Applications).

- L'utilisateur a besoin d'un ordinateur et d'une box Internet. L'ordinateur doit disposer d'une carte réseau qui s'interface avec un câble Ethernet ou émet des ondes électromagnétiques (Wi-Fi, réseau cellulaire, etc.). Un tel ordinateur est appelé un **client**.
- Le FCA va quant à lui disposer d'une machine qui héberge son contenu capable de traiter les requêtes des clients. Pour recevoir ces requêtes, cette machine doit être reliée à Internet et son adresse doit être connue des clients. Une telle machine est appelée **serveur**.

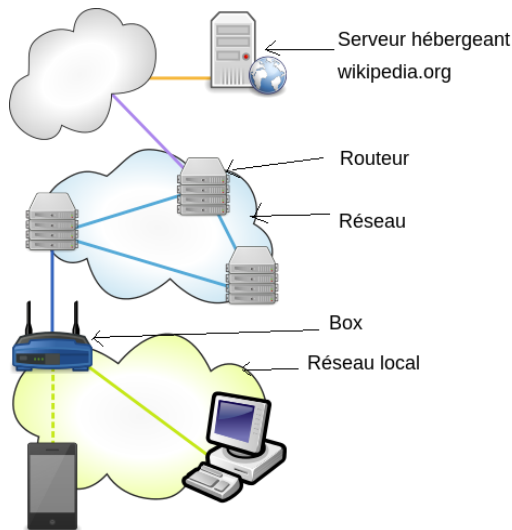
Au milieu du réseau : routeurs

Az Définition

Pour relier ces extrémités, Internet a besoin d'un autre type d'ordinateur : les **routeurs**.

- Un routeur est un ordinateur qui transmet les données qu'il reçoit (venant d'un réseau quelconque) à d'autres routeurs ou aux destinataires quand cela est possible.
- Pour savoir vers où transférer les données, le routeur maintient une **table de routage** qui contient les destinations possibles, appelées **routes**.

Exemple



Réseau avec deux clients et wikipedia.org comme extrémités

Comme une lettre à la poste

Remarque

Une analogie avec le courrier postal permet de mieux comprendre le routage :

- Les clients sont les personnes voulant envoyer une lettre,
- Les serveurs sont les destinataires de la lettre,
- Les facteurs sont les câbles par lesquels transitent les données,
- Les centres de tri sont les routeurs qui orientent les lettres vers d'autres centres de tri ou vers le bureau de poste final.

Comme une lettre à la poste

Exemple

Soit un envoi de courrier depuis Alice habitant à Compiègne vers Bob habitant à Soissons.

1. Le courrier part de chez Alice et est acheminé jusqu'au centre de tri de Compiègne.
2. Le courrier est acheminé depuis le centre de tri de Compiègne vers le centre de tri Aisne2.
3. Le courrier est acheminé depuis le centre de tri Aisne2 vers le centre de tri de Soissons.
4. Le courrier est acheminé depuis le centre de tri de Soissons jusque chez Bob.

Destination	Envoyer vers
Senlis	Centre de tri Senlis
Soissons	Centre de tri Aisne2
Paris	Centre de tri IDF1
Nîmes	Centre de tri Sud2
...	

Extrait de la table de routage du centre de tri de Compiègne

Destination	Envoyer vers
Senlis	Centre de tri Oise1
Compiègne	Centre de tri Oise2
Laon	Centre de tri Laon
Soissons	Centre de tri Soissons
Paris	Centre de tri IDF1
...	

Extrait de la table de routage du centre de tri Aisne2

💡 Fondamental

L'interconnexion de tous les réseaux d'Internet est réalisée par des routeurs qui ne connaissent que leur environnement proche.

Les box Internet sont des routeurs

💬 Remarque

Elles gèrent un **réseau local** composé des appareils de l'utilisateur (ordinateur, smartphone, etc.) et transmet les données en provenance de ces appareils à d'autres routeurs.

Depuis le réseau Internet, seules les box Internet sont visibles : les appareils du réseau local ne peuvent pas être contactés directement.

Réseau de Diffusion de Contenu (CDN)

💬 Remarque

Afin d'améliorer les chemins empruntés pour accéder à du contenu sur Internet, un FCA peut conserver des copies de ses contenus dans un **Réseau de Diffusion de Contenu**, plus communément appelé CDN (pour *Content Delivery Network*).

Un CDN est constitué de serveurs situés à des points stratégiques qui **répliquent** le contenu du serveur d'origine. Par exemple, un FCA mexicain pourrait utiliser un CDN présent en France pour accélérer l'accès aux données pour les utilisateurs français et libérer de l'espace sur les fibres optiques entre la France et les États-Unis.

Identifier les routes utilisées

🔧 Méthode

Il est possible d'identifier le parcours exact d'une requête avec les commandes **tracert** (disponible sous GNU/Linux et MacOS) et **tracert** (disponible sous Windows).

Identifier les route utilisés

 Exemple

Pour connaître la route empruntée par une requête en direction du site de l'ICANN (<https://www.icann.org>), on peut exécuter la commande suivante :

```
1 traceroute www.icann.org.
1 traceroute to www.icann.org. (192.0.32.7), 30 hops max, 60 byte packets
2 1 * * *
3 2 10.24.0.1 (10.24.0.1) 72.344 ms 72.283 ms 72.305 ms
4 3 192.168.253.30 (192.168.253.30) 72.306 ms 72.302 ms 77.540 ms
5 4 192.168.255.6 (192.168.255.6) 77.569 ms 77.566 ms 78.655 ms
6 5 ppp18-metz.isdnet.net (194.149.166.145) 78.681 ms 80.408 ms 80.434 ms
7 6 ppp6-metz.isdnet.net (194.149.166.133) 78.654 ms 38.479 ms 38.291 ms
8 7 * * *
9 8 be4204.ccr32.par04.atlas.cogentco.com (149.11.115.13) 42.493 ms 42.424 ms
42.369 ms
10 9 be2067.ccr31.par04.atlas.cogentco.com (130.117.3.33) 41.388 ms 41.284 ms
41.180 ms
11 10 ae-29.r04.parsfr01.fr.bb.gin.ntt.net (129.250.8.125) 39.545 ms 39.478 ms
39.708 ms
12 11 ae-23.r24.amstnl02.nl.bb.gin.ntt.net (129.250.4.137) 49.371 ms 40.029 ms
42.071 ms
13 12 ae-3.r25.amstnl02.nl.bb.gin.ntt.net (129.250.4.69) 39.909 ms 46.701 ms
49.333 ms
14 13 ae-5.r23.asbnva02.us.bb.gin.ntt.net (129.250.6.162) 139.280 ms 145.858 ms
140.580 ms
15 14 ae-0.r22.asbnva02.us.bb.gin.ntt.net (129.250.3.84) 126.531 ms 123.791 ms
115.589 ms
16 15 ae-5.r23.lsanca07.us.bb.gin.ntt.net (129.250.3.189) 185.790 ms 177.418 ms
183.428 ms
17 16 ae-5.r01.lsanca20.us.bb.gin.ntt.net (129.250.6.49) 180.727 ms 204.185 ms
201.918 ms
18 17 ge-100-0-0-16.r01.lsanca20.us.ce.gin.ntt.net (204.1.254.150) 199.037 ms
186.855 ms 185.762 ms
19 18 www.icann.org (192.0.32.7) 187.313 ms 239.217 ms 232.851 ms
20
```

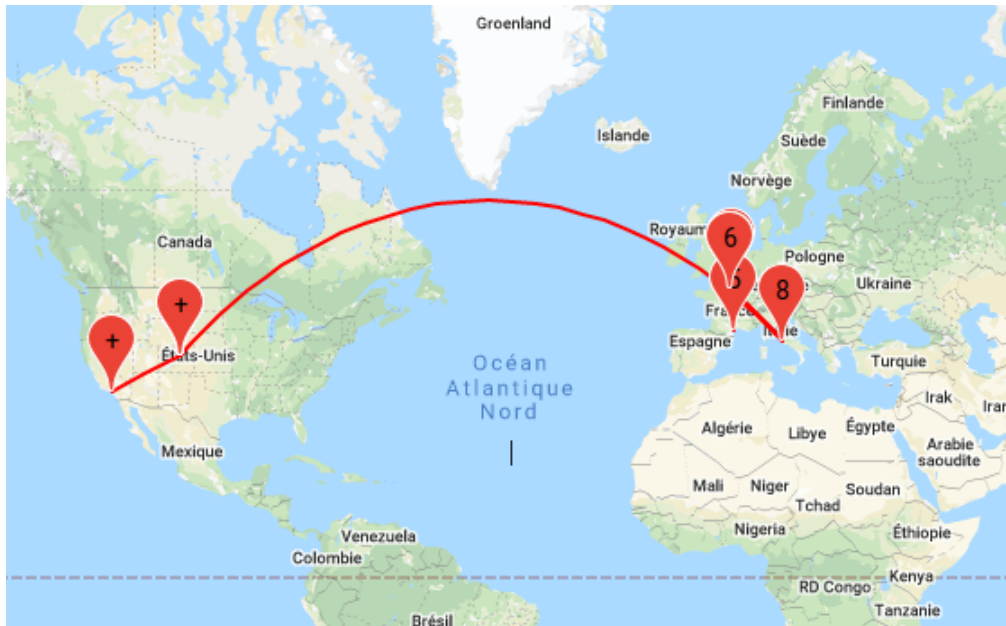
La dernière ligne correspond au serveur de l'ICANN ; les autres lignes correspondent aux routeurs intermédiaires (adresse IP et nom de domaine si disponible).

Pour fonctionner, le programme **traceroute** suppose que tous les routeurs intermédiaires enverront un message au client pour leur indiquer que leur requête a été traitée par eux. Les symboles * * * correspondent aux routeurs ne souhaitant pas décliner leur identité pour des raisons de sécurité. En effet, la sortie de traceroute permet de deviner la table de routage des routeurs, ce que certains préfèrent éviter.

Visualisez les routes sur le globe !

+ Complément

Vous pouvez visualiser les routes prises par vos requêtes à l'aide du site *Traceroute mapper* : stefansundin.github.io/traceroute-mapper/



traceroute www.icann.org. depuis la France

À retenir

- Un client est un ordinateur voulant accéder à des contenus et applications via Internet.
- Un serveur est un ordinateur qui héberge le contenu et les applications disponibles via Internet.
- Un routeur s'occupe de transférer la requête à un autre routeur voisin.
- L'ensemble des réseaux de routeurs forme le réseau Internet.

VII Exercice : Appliquer la notion

Voici le résultat de l'exécution de traceroute depuis un poste GNU/Linux dans un réseau local équipé d'une box.

```
1 traceroute to www.wikipedia.org. (208.80.154.224), 30 hops max, 60 byte packets
2 1 _gateway (192.168.0.254) 2.283 ms 2.331 ms 2.334 ms
3 2 cac94-2_migr-82-66-125-254.fbx.proxad.net (82.66.125.254) 3.448 ms * *
4 3 78.255.93.126 (78.255.93.126) 6.988 ms 6.995 ms 6.992 ms
5 4 p13-9k-3-be2006.intf.nro.proxad.net (78.254.243.65) 8.133 ms 9.504 ms 9.506 ms
6 5 194.149.165.209 (194.149.165.209) 9.502 ms 9.500 ms 9.497 ms
7 6 * th2-6k-3-gi9-6.routers.proxad.net (212.27.40.61) 3.977 ms 3.975 ms
8 7 ae2.mpr1.cdg11.fr.zip.zayo.com (64.125.14.37) 6.896 ms 7.573 ms 10.763 ms
9 8 ae27.cs1.cdg11.fr.eth.zayo.com (64.125.29.4) 82.299 ms 85.440 ms 86.031 ms
10 9 ae0.cs1.cdg12.fr.eth.zayo.com (64.125.29.84) 86.055 ms 86.059 ms 86.062 ms
11 10 * * *
12 11 ae5.cs3.lga5.us.eth.zayo.com (64.125.29.126) 83.096 ms 90.177 ms 90.132 ms
13 12 * * *
14 13 ae6.er1.iad10.us.zip.zayo.com (64.125.31.233) 90.043 ms 90.035 ms 94.632 ms
15 14 64.125.192.142.IPYX-125449-001-ZY0.zip.zayo.com (64.125.192.142) 94.603 ms
    94.590 ms 94.582 ms
16 15 www.wikipedia.org. (208.80.154.224) 94.571 ms 89.307 ms 91.334 ms
```

Question 1

[solution n°5 p. 45]

À quoi correspond la deuxième ligne (qui commence par _gateway) ?

Indice :

La machine associée se trouve dans le réseau local de l'utilisateur.

Question 2

[solution n°6 p. 45]

Quel est le FCA ici ?

Question 3

[solution n°7 p. 46]

Utilisez le site <https://stefansundin.github.io/traceroute-mapper>³ pour trouver dans quelle ville se trouve le serveur du FCA ?

Indice :

Copier-coller le résultat de la commande dans le site.

3. <https://stefansundin.github.io/traceroute-mapper/>

VIII Protocoles réseaux TCP/IP

Afin de pouvoir communiquer entre elles toutes les machines d'Internet respectent des règles communes. Ces règles sont standardisées au sein de *protocoles* ^{p.53}.

Le fonctionnement d'Internet repose fondamentalement sur les protocoles réseaux IP et TCP.

Protocole IP

Az Définition

Le protocole (ou couche) IP gère les communications entre plusieurs machines d'un réseau.

Elle est basée sur l'**adressage**, le **routage** et la **fragmentation**.

- Pour s'adresser à une machine à laquelle on n'est pas directement connecté, il faut un moyen de l'identifier : c'est son **adresse**.
- Pour arriver jusqu'à cette machine, il faut trouver le chemin qui nous sépare d'elle : c'est le **routage**.
- Si le message à transmettre est trop gros pour les couches inférieures, il faut le découper : c'est la **fragmentation**.

Paquet IP

Az Définition

Les entités transmises par le protocole IP sont des **paquets** (ou datagramme).

Un message sur Internet est généralement découpé en plusieurs paquets qui sont transmis indépendants par le protocole IP.

Le protocole TCP est en charge de s'assurer que tous les paquets sont transmis et remis dans le bon ordre.

👁 Exemple

Exemple

	1	2	3	4	
1	Version	IHL	Type of service	Total length	4
5	Identification		Flag	Fragment offset	8
9	Time to live	Protocole	Header checksum		12
13	Source IP adresse				16
17	Destination IP adresse				20
21	Options			Padding	24
25	DATA				28
29					32
33					36
37					40
41					44
45					48
49					52
53					56
57					60
61					64
65					68
69					72
73					76
77					80
81					84
85					88
89					92
93					96
97					100
101					104
105					108
109					112
113					116
117					120
121					124
125					128

Codage d'un paquet IP

Protocole TCP

Az Définition

Le protocole (ou couche) TCP gère les communications **de bout en bout**.

Elle est basée sur la **correction des erreurs**, le **ré-ordonnancement** et le **contrôle de flux**.

- Plutôt que de raisonner en terme de paquets, elle raisonne en terme de messages complets.
- Elle est capable de **corriger des erreurs** dans la transmission des messages (congestion du réseau...) et de **ré-ordonner** des paquets qui auraient pris une route différente et seraient arrivés dans le mauvais ordre.
- Ses mécanismes de **contrôle de flux** permettent d'adapter la vitesse d'envoi des données à la capacité de réception du destinataire.

Message

Az Définition

Les entités transmises par la couche TCP sont des **messages**.

 Remarque

Sur la base du protocole de communication TCP/IP on peut bâtir des applications, tels que HTTP pour consulter des fichiers sur le Web ou FTP pour transférer des fichiers.

 Complément

Les couches réseaux du modèle OSI (cf. p.55)

② Exercice : Appliquer la notion

[solution n°8 p. 46]

Trier les concepts et les services en fonction de leur couche correspondante selon le modèle OSI.

- A** Paquet
- B** Transférer un fichier
- C** Découper le message en morceaux de taille adaptée
- D** Assurer le transport d'une donnée au complet
- E** Reconstruire une donnée dans le bon ordre
- F** Le protocole HTTP
- G** Message
- H** Choisir la route empruntée par les données

Application	TCP	IP

X Le protocole IP (Internet Protocol)

IP

Az Définition

IP, pour *Internet Protocol*, est le protocole qui assure la distribution des paquets de données au destinataire sur Internet. Pour ce faire, il assure **le routage** des données entre deux machines identifiées par leurs **adresses IP** respectives.

Remarque

IP est réputé non-fiable, c'est-à-dire qu'il n'intègre pas de mécanisme permettant de vérifier que les paquets sont bien arrivés à destination.

IPv4 et IPv6

Attention

Il existe deux versions du protocole IP : IPv4 et IPv6.

Chacun de ces protocoles propose un système d'adressage de l'ensemble des appareils connectés à Internet qui identifie chaque appareil de manière unique.

Les paquets IP

Az Définition

Les entités transmises par IP sont appelés **paquets IP**. Ils encapsulent les données à transmettre et des informations nécessaires à leur acheminement en en-tête.

	1	2	3	4	
1	Version	IHL	Type of service	Total length	4
5	Identification		Flag	Fragment offset	8
9	Time to live	Protocole	Header checksum		12
13	Source IP adresse				16
17	Destination IP adresse				20
21	Options			Padding	24

Codage de l'en-tête d'un paquet IP

On retrouve dans l'en-tête d'un paquet IP des informations telles que :

- ligne 1 : la **version du protocole** (IPv4 ou IPv6) ou la **taille en octet du paquet** (en-tête et données),
- ligne 2 : des **indicateurs** pour préciser si le paquet doit être fragmenté (car trop volumineux),
- ligne 3 : le **type de données** du protocole qu'il escorte (TCP par exemple),
- ligne 4 : l'**adresse IP source**
- ligne 5 : l'**adresse IP destination**.

Représentation d'un paquet IP

 Exemple

Un paquet IP peut être représenté ainsi en hexadécimal (chaque ligne est codée sur 8 chiffres hexadécimaux) :

```
1 45 40 00 1C
2 32 4D 00 00
3 38 01 7F D5
4 76 62 E3 65
5 D5 E1 A0 D5
```

Il s'agit d'un paquet IP (sans options ni padding) ainsi les huit derniers octets correspondent aux adresses IP sources et destination de valeurs : 76 62 E3 65 et D5 E1 A0 D5.

On effectuant les conversions en décimal de ces adresses on trouve :

- 118.98.227.101 (source)
- et 213.225.160.213 (destination).

À retenir

- Le protocole IP permet d'interconnecter les machines et de créer Internet.
- Il utilise un système d'adressage pour identifier les appareils de manière unique sur le réseau Internet.
- La translation d'adresses permet d'utiliser une seule adresse IP pour identifier plusieurs appareils qui seront alors dotés d'IP locales.

XI Exercice : Appliquer la notion

Décoder un paquet IP

Voici un extrait d'un paquet IP en hexadécimal, extrait d'une trame Ethernet.

```
1 45 00 00 35
2 43 08 40 00
3 80 06 36 51
4 C0 A8 00 0C
5 C0 A8 00 0D
6 06 B1 00 19
7 F7 8A E9 14
8 2D 7A 23 6F
9 50 18 FA 84
10 02 95 00 00
11 45 48 4C 4F
12 20 6E 61 70
13 69 65 72 0D
14 ...
```

Question 1

[solution n°9 p. 46]

Ce paquet est-il un paquet IPv4 ou IPv6 ?

Indice :

	1	2	3	4	
1	Version	IHL	Type of service	Total length	4
5	Identification		Flag	Fragment offset	8
9	Time to live	Protocole	Header checksum		12
13	Source IP adresse				16
17	Destination IP adresse				20
21	Options			Padding	24

La version se trouve sur le premier chiffre hexadécimal du paquet.

Question 2

[solution n°10 p. 46]

Ce paquet encapsule le protocole TCP. Quelle est la valeur correspondant à ce protocole ?

Indice :

	1	2	3	4	
1	Version	IHL	Type of service	Total length	4
5	Identification		Flag	Fragment offset	8
9	Time to live	Protocole	Header checksum		12
13	Source IP adresse				16
17	Destination IP adresse				20
21	Options			Padding	24

Cette information se trouve à la troisième ligne, codé sur les chiffres 3 et 4.

Question 3

[solution n°11 p. 46]

Quelles sont les adresses IP source et de destination en hexadécimal ?

Indice :

	1	2	3	4	
1	Version	IHL	Type of service	Total length	4
5	Identification		Flag	Fragment offset	8
9	Time to live	Protocole	Header checksum		12
13	Source IP adresse				16
17	Destination IP adresse				20
21	Options			Padding	24

Les adresses IP sont respectivement renseignées au 4ème et 5ème champ.

Question 4

[solution n°12 p. 47]

Convertissez les adresses en décimal.

Indice :

Pour convertir un nombre hexadécimal en décimal on peut :

- le faire à la main : $C0 = 12 \times 16 + 0 = 192$
- utiliser dans un terminal la commande `echo $( (0x____) )` en remplaçant les ____ par le nombre hexadécimal. Par exemple `echo $( (0xC0) )` retourne 192

XII Le protocole TCP (Transmission Control Protocol)

Le protocole TCP

Az Définition

TCP (pour *Transmission Control Protocol* ou Protocole de Contrôle de Transmissions) est un protocole de transport de données qui assure la fiabilité de la connexion : toutes les données arrivent et sont intègres.

Une **session** TCP permet d'acheminer des messages (ou **segment** dans la terminologie TCP) en suivant une procédure de trois étapes :

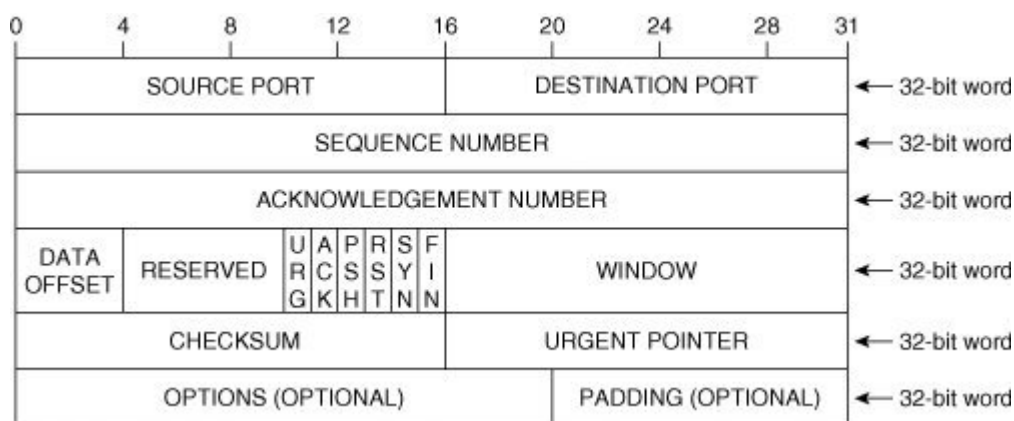
- Établissement de la connexion
- Transferts des données
- Fermeture de la connexion

Segments TCP

Az Définition

Les messages échangés via TCP sont appelés des **segments TCP**. Ils contiennent les données que les processus veulent échanger mais aussi diverses informations propres au fonctionnement de TCP.

Ces informations propres à TCP sont contenues une partie spéciale du segment, appelée **en-tête**.



Segment TCP

Parmi ces informations, les éléments notables décrits par la suite sont :

- les **numéros de ports** des processus du client et du serveur
- le **numéro de séquence** du paquet.
- le **numéro acquittement** du paquet.

Comment assurer le transfert sûr et intégrè de données ?

 Méthode

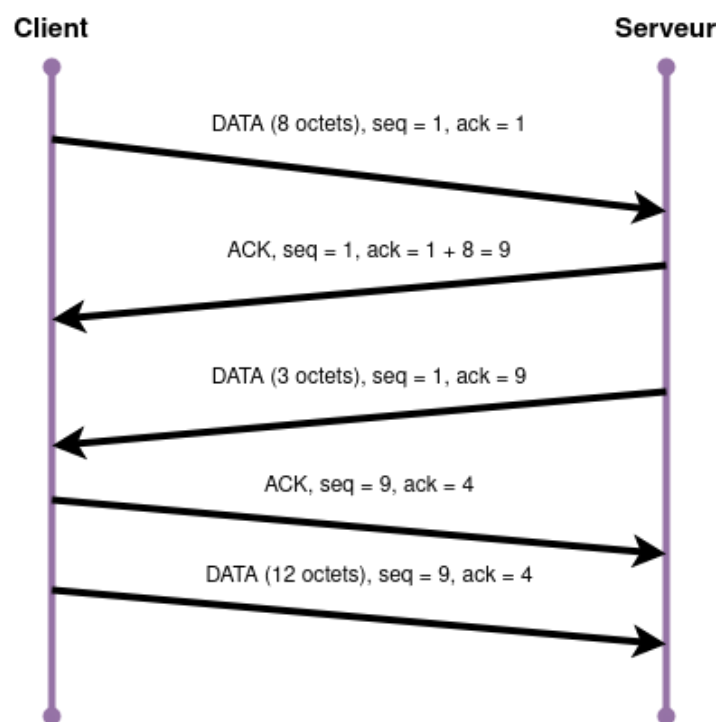
Afin de garantir que les segments arrivent dans le bon ordre, les deux participants utilisent des **numéros de séquence** et des **numéros d'acquittement**.

Le numéro de séquence contient le numéro du dernier segment envoyé et le numéro d'acquittement contient le numéro du prochain segment attendu.

Les numéros sont calculés à partir de la taille des segments, en nombre d'octets.

Lorsque l'une partie reçoit un segment, il ajoute au numéro de séquence le nombre d'octets reçus et obtient ainsi le numéro du prochain octet attendu, c'est à dire le numéro d'acquittement.

Pour chaque segment à envoyer, l'émetteur calcule et transmet une **somme de contrôle** (*checksum*) à partir du segment. Le destinataire calcule à son tour la somme de contrôle et vérifie que les deux correspondent, garantissant ainsi que les données n'ont pas été altérées par erreur sur la route.



Échange de données avec TCP

Sur cet exemple :

- Le client commence par envoyer 8 octets de données : son numéro de séquence est laissé à 1, puisqu'il s'agit du numéro du **dernier** message envoyé.
- Le serveur reçoit les données et renvoie un acquittement après avoir mis à jour son numéro d'acquittement en additionnant la taille des données reçues.
- Le serveur envoie à son tour 3 octets de données.
- Le client répond par un acquittement et met à jour son numéro d'acquittement. Noter qu'il a mis à jour son numéro de séquence à ce stade.
- Le client envoie enfin 12 octets de données.

Port

Az Définition

Les ordinateurs peuvent avoir de multiples sessions TCP simultanées. Pour ne pas les mélanger, une session TCP est associée à des **ports** sur les deux machines.

On parle de **port source** pour le port du processus émetteur et de **port de destination** pour le port du processus destinataire. Le nombre maximum de ports est 65535.

Les ports numérotés de 0 à 1023 sont réservés pour des protocoles communs comme HTTP (80), SSH (22), HTTPS (443), FTP (20 et 21), etc. Une même machine peut donc recevoir un fichier avec FTP en même temps qu'elle transmet une page web via HTTPS.

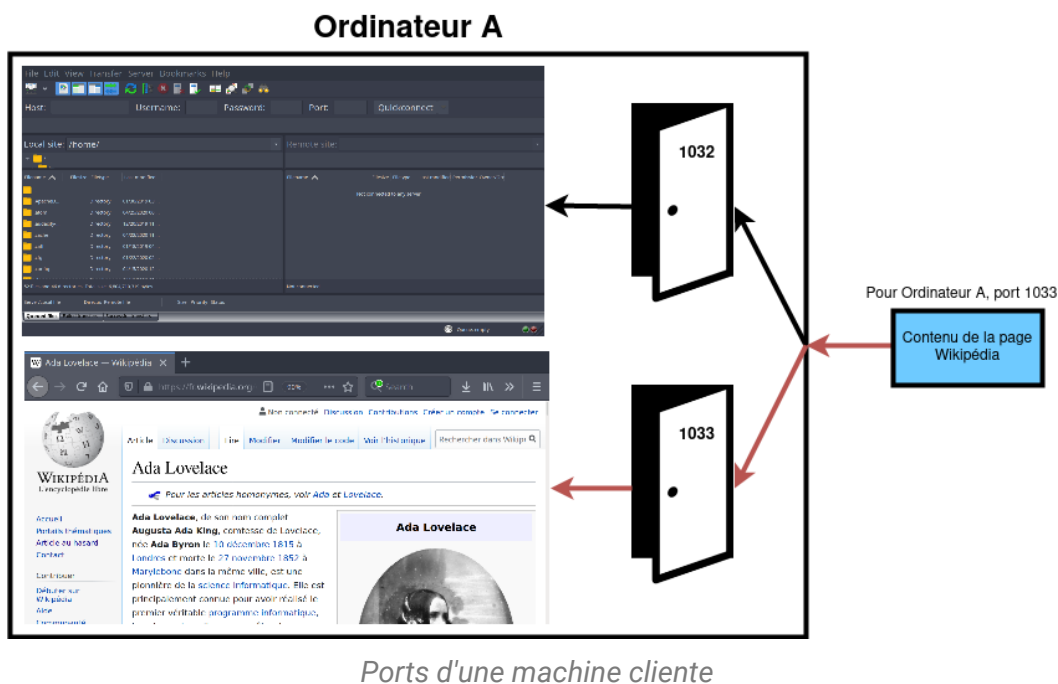
De port à porte, il n'y qu'un pas...

Exemple

On peut faire l'allégorie suivante pour comprendre le concept et l'intérêt d'un port.

Si on identifie une machine à un immeuble, et un processus de cette machine à un appartement de cette immeuble, le port du processus peut-être vu comme le numéro de cet appartement.

Un courrier adressé à l'appartement (au processus) est d'abord adressé à l'immeuble (la machine). Ce n'est qu'ensuite qu'il est distribué dans la boîte aux lettres de l'appartement grâce à son numéro d'appartement (son port).



À retenir

- TCP permet à deux processus d'ouvrir un canal de communication fiable en 3 étapes.
- Un segment TCP contient les données à envoyer dans un paquet et des informations utiles à son acheminement dans son en-tête.
- Les processus communiquant sont identifiés par les machines grâce à leur port.

XIII Exercice : Appliquer la notion

Décoder un segment TCP

Voici un extrait de segment TCP en hexadécimal.

```
1 06 B1 00 19 F7 8A E9 14 2D 7A 23 6F 50 18
2 FA 84 02 95 00 00 45 48 4C 4F 20 6E 61 70
3 69 65 72 0D 0A ...
```

Un chiffre hexadécimal représente un nombre de valeur 0 à 15 en utilisant les symboles suivants :
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F.

Question 1

[solution n°13 p. 47]

Sachant que :

- un port est codé sur 2 octets,
- un octet est codé par un chiffre hexadécimal,
- les deux premiers octets du segment codent le port source et les deux suivant le port cible.

Quels sont les ports source et de destination en hexadécimal ?

Question 2

[solution n°14 p. 47]

Pour convertir une valeur hexadécimale sur deux chiffres en valeur décimale, on utilise la formule suivante : premier chiffre x 16 + second chiffre.

Quelle est la valeur décimale du port de destination ?

Indice :

Par exemple pour calculer la valeur décimale de B1 : $11 * 16 + 1 = 177$

Question 3

[solution n°15 p. 47]

Consulter la liste des ports sur Wikipédia⁴ pour déterminer à quelle application le port de destination fait référence ?

4. https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_ports_logiciels

XIV Adresses IP

IPv4 et IPv6

 Rappel

Il existe deux versions du protocole IP : IPv4 et IPv6.

Adresses IP

Az Définition

Une adresse IP est un **numéro d'identification d'une machine**.

Il est attribué de façon à chaque appareil relié à Internet.

Les adresses ont un format différent selon la version d'IP utilisée :

- pour IPv4, les adresses sont sur 4 octets (exemple : 192 . 168 . 3 . 200),
- pour IPv6, les adresses sont sur 16 octets (exemple : 2001:0db8:0000:85a3:0000:0000:ac1f:8001).

 Remarque

On dit souvent une IP pour parler d'une adresse IP

IP statique ou dynamique

 Attention

L'adresse IP attribuée à un appareil peut être statique (fixe) ou dynamique (temporaire).

- Seuls les appareils avec des IP statiques peuvent correctement fonctionner en temps que serveur (il est difficile de savoir comment les contacter sinon).
- Les appareils avec IP dynamiques sont donc essentiellement des consommateurs de contenus (c'est typiquement le cas des smartphones).

Pour un Internet plus équilibré il serait intéressant que la majorité des utilisateurs disposent d'IP fixes pour pouvoir proposer du contenu, mais la pénurie d'IPv4 rend cet objectif difficile à atteindre.

IP locales

Az Définition

Les adresses IP sont des ressources (devenue rares) qui ont une valeur. Pour limiter les coûts, à l'intérieur d'un réseau local, les ordinateurs ont des adresses IP spéciales réservées aux réseaux locaux appelées adresses **IP locales**.

Ces adresses sont libres d'utilisation et ne nécessitent pas de demander d'autorisation à qui que ce soit.

Synonyme : IP privée

Translation d'adresse

 Méthode

Comme les adresses privées ne sont pas utilisées de manière unique, une technique appelée **translation d'adresse** associe une adresse IP publique unique à un ensemble d'adresse IP privées d'un réseau local donné.

Ainsi, les appareils à l'intérieur du réseau local peuvent tout de même être contactés depuis Internet à travers l'IP publique.

IPv4 et pénurie

 Complément

Aujourd'hui, la quasi-totalité des 4 milliards d'adresses IPv4 sont attribuées. Cet état de fait pousse le monde à se tourner vers IPv6 qui dispose d'un espace d'adressage bien plus vaste.

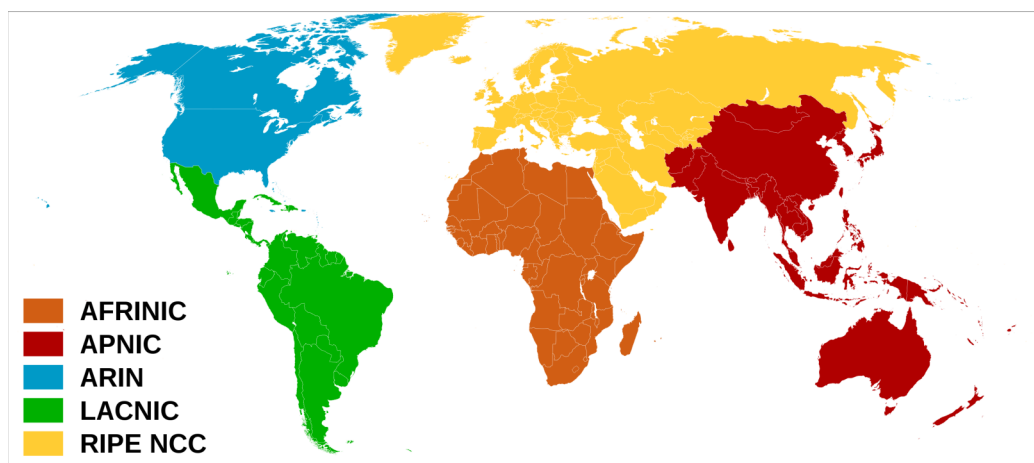
La translation d'adresses est un palliatif temporaire mais très utilisé pour le manque d'adresses IPv4.

Attribution des adresses IP

 Complément

L'attribution des adresses IP est gérée par l'IANA (pour *Internet Assigned Numbers Authority*), un département de l'ICANN, qui administre les ressources numériques d'Internet.

L'IANA a segmenté les adresses IP disponibles en 256 blocs distribués aux RIR (Registres Internet Régionaux). Les RIR gèrent les blocs d'adresses au niveau local en définissant des politiques d'attributions d'adresses IPv4 à ceux qui le demandent.



Répartition géographique des différents RIR

❓ Exercice : Appliquer la notion

[solution n°16 p. 47]

Il existe de nombreux sites web qui permettent de trouver son adresse IP, tels que :

- mon-ip.io⁵
- ipcost.com/fr

Je me connecte depuis mon ordinateur personnel à mon domicile et le site que je consulte affiche les informations suivantes :

- Mon IP V4 : 77.192.222.181
- Mon IP V6 : Not detected
- Type de connexion : Residential
- Fournisseur internet : SFR SA

À chaque fois que je consulte ce site mon IP est toujours 77.192.222.181. J'ai répété cette opération chaque mois depuis 2 ans.

Exercice

Quelles sont les assertions vraies ?

A 77.192.222.181 est l'adresse locale (privée) de mon ordinateur personnel.

B 77.192.222.181 est l'adresse publique de mon ordinateur personnel.

C 77.192.222.181 est l'adresse publique de ma box Internet SFR

Exercice

Quelles sont les assertions vraies ?

A 77.192.222.181 est une adresse IPv4

B 77.192.222.181 est une adresse IPv6

C SFR n'implémente pas le protocole IPv6

Exercice

Quelles sont les assertions vraies ?

A Je peux en déduire que je dispose d'une IP fixe.

B Je peux en déduire que je dispose d'une IP dynamique.

⁵ <https://mon-ip.io/>

C



Je peux installer un serveur à mon domicile, il sera possible de le contacter depuis n'importe quel endroit du monde connecté à Internet.

XVI Noms de domaine

Nom de domaine

Az Définition

Un nom de domaine est une **adresse symbolique** permettant d'éviter de devoir retenir des adresses IP.

Ainsi, à un nom de domaine tel que `wikipedia.org` on peut associer une adresse telle que `91.198.174.192`.

Les noms de domaines ont une structure bien particulière : ils forment une arborescence dont la racine est un point, et dont les niveaux sont séparés par des points. Cette arborescence permet de connaître l'endroit où chercher pour trouver l'adresse IP correspondante au nom de domaine concerné.

Utilité d'un nom de domaine

Remarque

- Un nom de domaine est destiné à être utilisé par des utilisateurs humains. Il n'est fondamentalement pas nécessaire mais permet de donner du sens et est aussi plus facile à retenir.
- De plus un nom de domaine peut être changé là où une adresse IP ne peut généralement pas l'être.

Pour autant, cela ajoute un niveau de complexité : l'appareil qui veut communiquer avec le serveur de Wikipédia a besoin de transformer `www.wikipedia.org` en une adresse IP.

Pour cela, il fait appel à un **serveur de noms de domaine**.

DNS

Az Définition

Un **serveur DNS** (pour *Domain Name System*) est un serveur qui a connaissance de la **correspondance entre noms de domaines et adresses IP**. Il est capable de répondre à des requêtes qui lui demandent de **résoudre** un nom de domaine en une adresse IP.

DNS, un système hiérarchique

Les serveurs DNS sont organisés hiérarchiquement et sont habilités à établir la correspondance entre IP et nom de domaines pour seulement certains noms de domaines et un certain niveau de l'arborescence. Quand un DNS est autorisé à établir cette correspondance, il est **fait autorité** pour un ensemble de noms de domaines donnés.

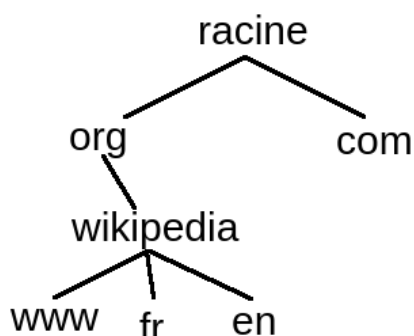
Si un serveur DNS n'a pas l'adresse IP correspondante pour un nom de domaine, il va faire appel à un autre serveur DNS.

Les serveurs DNS responsables du premier niveau d'arborescence (`.fr`, `.com`, `.org`, etc.) sont appelés TLD, pour *Top-Level Domain*.

Résolution d'une requête DNS

👁 Exemple

Les navigateurs web ont besoin de résoudre des noms de domaine. Lorsque `www.wikipedia.org` est consulté, un **résolveur** DNS entre en jeu.



Chaque nœud de cet arbre correspond à un serveur DNS, responsable d'une partie de l'arborescence.

Pour résoudre `www.wikipedia.org`, le résolveur commence donc le haut de l'arborescence : le **serveur racine**. Ce dernier n'est pas responsable de l'adresse IP de Wikipédia mais connaît les serveurs DNS TLD pour `.org`.

Les serveurs DNS autoritaires pour `.org` ne sont pas non plus responsables de l'adresse IP de Wikipédia. À leur tour, ils connaissent les adresses IP des serveurs DNS faisant autorité pour Wikipédia.

Ces serveurs fourniront finalement l'adresse du sous-domaine `www` de `wikipedia.org`.

Résoudre une IP

🔧 Méthode

Il existe des résolveurs DNS en ligne de commande, comme `host`.

```

1 $ host www.wikipedia.org
2 www.wikipedia.org is an alias for dyna.wikimedia.org.
3 dyna.wikimedia.org has address 91.198.174.192
4 dyna.wikimedia.org has IPv6 address 2620:0:862:ed1a::1
  
```

`host` retourne les enregistrements DNS, ici on voit l'adresse IPv4 actuelle de Wikipédia, qui est `91.198.174.192`

Réponse ne faisant pas autorité

⊕ Complément

L'exemple ci-dessus mentionne que la réponse ne fait pas autorité, ce qui signifie qu'elle émane d'un serveur n'ayant pas autorité sur le nom de domaine.

Ceci s'explique par un système de **cache** : pour éviter que les serveurs DNS de Wikipédia soient surchargés, d'autres serveurs hébergent une copie des correspondances entre IP et nom de domaine. Ces serveurs ne sont en revanche pas autorisés à modifier ces correspondances.

Comment est-ce que les noms de domaines sont enregistrés ?

💡 Fondamental

Un nom de domaine peut être acheté auprès d'organismes en charge de l'administration des noms de domaines, appelés **registrar**. Le registrar va s'occuper d'ajouter le nom de domaine à un de ses DNS faisant autorité puis va aller indiquer aux DNS TLD correspondants qu'un nouvel enregistrant a eu lieu.

Résolution locale de nom de domaine via le fichier hosts

⊕ Complément

Les systèmes d'exploitation maintiennent un fichier `hosts` contenant les informations de résolution de certains noms de domaines. Ce fichier a généralement cette forme :

```
1 127.0.0.1      localhost
2 127.0.0.1      monPC
3 208.80.154.224 www.wikipedia.org.
```

Ce fichier est interrogé en premier : il est ainsi possible de forcer la résolution d'un nom de domaine en n'importe quelle adresse, au niveau de l'ordinateur.

À retenir

- Un nom de domaine est un alias pour une adresse IP.
- Les noms de domaines décrivent une arborescence.
- Le système permettant d'associer adresse IP et nom de domaine s'appelle DNS.
- Les serveurs DNS sont organisés de manière hiérarchique et s'occupent d'un ensemble donné de noms de domaines.

XVII Exercice : Appliquer la notion

Question 1

[solution n°17 p. 48]

Quelle est l'adresse IP de `framasoftware.org` ?

Indice :

On pourra utiliser `host` (ou encore `ping` ou pourquoi pas `dig`).

Question 2

[solution n°18 p. 48]

Sachant que le système d'exploitation commence par une résolution de nom de domaine en parcourant le fichier local `hosts`.

Comment est-ce que quelqu'un pourrait usurper un nom de domaine ?

XVIII Essentiel

Internet est un réseau de réseaux informatiques. Un grand nombre d'acteurs travaillent donc ensemble pour faire fonctionner Internet dans le monde entier.

Les machines clientes veulent communiquer entre elles ou avec des machines serveurs pour s'échanger du contenu ou des services. Mais pour cela toutes ces machines doivent passer par des routeurs. Ce sont des ordinateurs dont le rôle est de distribuer les messages.

Pour harmoniser tout cela, le modèle OSI propose une architecture en couches qui permet d'organiser le transfert d'information. Ce modèle a donné naissance au protocole fondateur de la communication sur Internet : TCP/IP.

C'est TCP/IP qui définit comment découper et transmettre les paquets d'information sur les réseaux. La notion de nom de domaine vient en complément, elle permet de donner un peu d'humanité aux machines.

XIX Quiz

Exercice 1 : Quiz - Architecture

[solution n°19 p. 48]

Exercice

Une même organisation peut avoir en même temps le rôle d'hébergeur et Fournisseur de Contenu et d'Application ?

☒ A oui

☐ B non

Exercice

Qu'est-ce qu'un Point d'Échange Internet (IXP) ?

☒ A Un établissement réunissant des grands acteurs d'Internet pour discuter de son évolution

☐ B Une infrastructure physique dédiée à l'interconnexion de différents acteurs d'Internet

☐ C Un établissement chargé d'acheminer les données d'une partie du globe à une autre

☐ D Un synonyme de DNS

Exercice

Que signifie opérateur Tier 1 ?

☒ A Un opérateur disposant d'un accès mondial à Internet grâce à une offre de transit

☐ B Un opérateur disposant d'un accès mondial à Internet grâce à une offre de transit et d'accords de peering

☐ C Un opérateur disposant d'un accès mondial à Internet uniquement via des accords de peering

☐ D Il s'agit de l'opérateur avec le plus gros réseau

Exercice

À quoi servent les routeurs ?

- ☐ A Transmettre les données reçues d'un réseau à un autre réseau
- ☐ B Recevoir des requêtes et répondre par du contenu
- ☐ C Émettre des requêtes pour recevoir du contenu
- ☐ D Aucune des réponses précédentes

Exercice 6 : Quiz - OSI

[solution n°20 p. 50]

Exercice

Quel est l'objectif du modèle OSI ?

- ☐ A Donner une liste stricte de protocole à implémenter pour faire fonctionner Internet
- ☐ B Diminuer le temps de latence d'Internet
- ☐ C Définir le fonctionnement du routage
- ☐ D Normaliser le fonctionnement d'Internet en établissant des normes de communications

Exercice

À quoi sert la couche réseau ?

- ☐ A Elle gère les communications entre les machines d'un réseau
- ☐ B Elle gère les communications de bout en bout entre deux applications
- ☐ C C'est la couche d'accès aux services réseaux
- ☐ D Aucune de ces réponses

Exercice

Pour transporter un paquet IP d'un ordinateur A à un ordinateur B, il est nécessaire de passer par les routeurs C et D.

Quelle couche assure le transport entre A et C ?

- ☐ A La couche réseau
- ☐ B La couche transport

C La couche liaison de données

Exercice 10 : Quiz - TCP/IP

[solution n°21 p. 51]

Exercice

Dans le cadre du modèle OSI, à quelle(s) couche(s) correspondrait TCP ?

A Couche session

B Couche liaison de données

C Couche réseau

D Couche transport

Exercice

Quelles sont les caractéristiques de TCP ?

A Routage rapide

B Fiable

C Mode connecté

D Différencie les applications grâce au port

Exercice

À quelle couche correspond IP ?

A Couche session

B Couche transport

C Couche réseau

D Couche liaison de données

Exercice

Quelles sont les adresses IP valides ?

A 192.168.0.4

B c4:d9:87:63:b4:ec

C 74.938.24.198

D 0.0.0.0

E 2001:0db8:0000:85a3:0000:0000:ac1f:8001

XX UPLOAD

⊕ Complément

Solutions des exercices

Solution n°1

[exercice p. 7]

ffdn.org⁶

Solution n°2

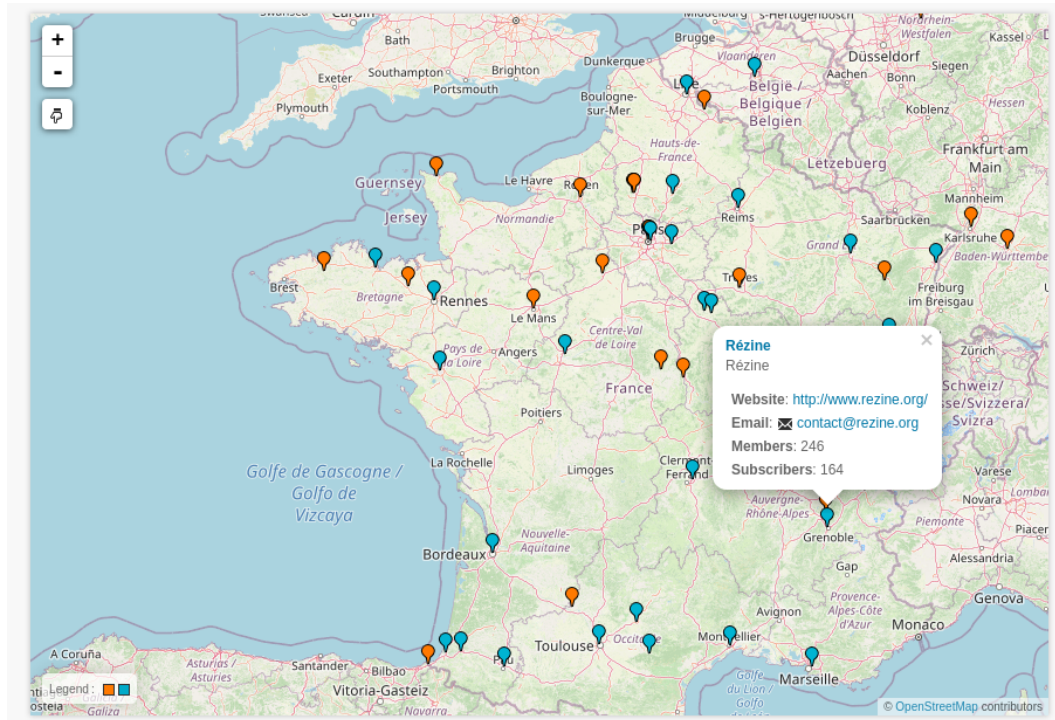
[exercice p. 7]

ffdn.org/fr/membres⁷

Solution n°3

[exercice p. 7]

<https://db.ffdn.org>⁸



Solution n°4

[exercice p. 11]

Exercice

Quelles sont les caractéristiques d'un opérateur de *tier 1* ?

A Ils ont accès à la totalité d'Internet

B Ils achètent du transit à d'autres opérateurs de *tier 1*

⁶ <https://www.ffdn.org/fr>

⁷ <https://www.ffdn.org/fr/membres>

⁸ <https://db.ffdn.org/>

C Ils vendent du transit à d'autres opérateurs

🔍 Les opérateurs de *tier 1* ont par définition accès à l'ensemble d'Internet, sans avoir à acheter de transit. Les opérateurs de *tier* achètent du transit pour se connecter à Internet, par l'intermédiaire des réseaux des opérateurs de *tier 1*.

Appliquer la notion

Parmi ces FAI français, lequel est un opérateur de *tier 1* ?

On pourra s'aider de la page Wikipédia sur les opérateurs de *tier 1*⁹.

A SFR

B Orange

C FDN

D Free

🔍 Orange est le seul FAI français à être un opérateur de *tier 1* à travers son transitaire Open Transit.

Solution n°5

[exercice p. 17]

Il s'agit de la box de l'utilisateur, c'est-à-dire le premier routeur que les données de l'utilisateur doivent emprunter.

Solution n°6

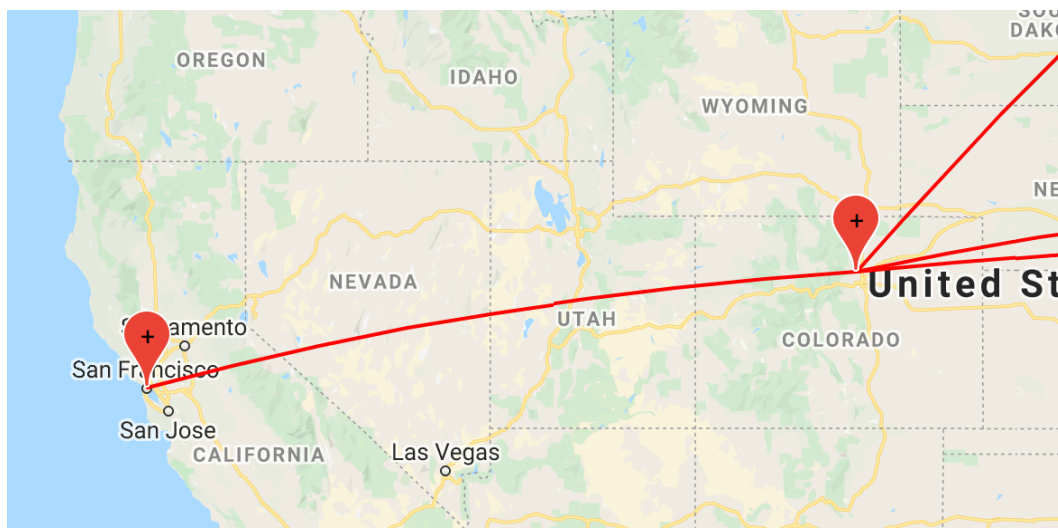
[exercice p. 17]

C'est le dernier serveur atteint, indiqué sur la dernière ligne, soit : `www.wikipedia.org`.

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Tier_1_network

Solution n°7

[exercice p. 17]



Le serveur se trouve à San Francisco.

Solution n°8

[exercice p. 21]

Trier les concepts et les services en fonction de leur couche correspondante selon le modèle OSI.

Application	TCP	IP
Le protocole HTTP	Assurer le transport d'une donnée au complet	Découper le message en morceaux de taille adaptée
Transférer un fichier	Reconstruire une donnée dans le bon ordre	Choisir la route empruntée par les données
	Message	Paquet

Solution n°9

[exercice p. 24]

Le 4 en hexadécimal indique bien qu'il s'agit d'un paquet IPv4.

Solution n°10

[exercice p. 24]

Il s'agit de la valeur 06 qui correspond donc au protocole TCP.

On peut le vérifier en consultant l'article Wikipédia¹⁰ qui donne la liste des codes utilisés par IP pour référencer les protocoles.

Solution n°11

[exercice p. 25]

- On a pour l'adresse IP source C0 A8 00 0C en hexadécimal.
- On a pour l'adresse IP destination C0 A8 00 0D en hexadécimal.

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_IP_protocol_numbers

Solution n°12

[exercice p. 25]

- On a pour l'adresse IP source C0 A8 00 0C en hexadécimal soit 192.168.0.12 en décimal.
- On a pour l'adresse IP destination C0 A8 00 0D en hexadécimal soit 192.168.0.13 en décimal.

Solution n°13

[exercice p. 29]

- Le port source est 6B1 en hexadécimal
- Le port de destination est 19 en hexadécimal.

Solution n°14

[exercice p. 29]

Le port de destination est codé par 00 19 en hexadécimal soit $1 \times 16 + 9 = 25$ en décimal.

Solution n°15

[exercice p. 29]

Il s'agit de SMTP qui est un protocole de communication utilisé pour transférer du courrier électronique (e-mail).

Solution n°16

[exercice p. 32]

Exercice

Quelles sont les assertions vraies ?

A 77.192.222.181 est l'adresse locale (privée) de mon ordinateur personnel.

B 77.192.222.181 est l'adresse publique de mon ordinateur personnel.

C 77.192.222.181 est l'adresse publique de ma box Internet SFR



C'est l'adresse IP de ma box Internet, mon ordinateur dispose d'une adresse IP locale qui n'est pas visible depuis l'extérieur de mon réseau domestique. Toutes les adresses visibles depuis l'extérieur sont publiques.

Exercice

Quelles sont les assertions vraies ?

A 77.192.222.181 est une adresse IPv4

B 77.192.222.181 est une adresse IPv6

C SFR n'implémente pas le protocole IPv6

 Ma box ne dispose pas d'une adresse IPv6 car SFR n'implémente pas ce protocole.

Exercice

Quelles sont les assertions vraies ?

A Je peux en déduire que je dispose d'une IP fixe.

B Je peux en déduire que je dispose d'une IP dynamique.

C ☐ Je peux installer un serveur à mon domicile, il sera possible de le contacter depuis n'importe quel endroit du monde connecté à Internet.

Solution n°17

[exercice p. 37]

Ce nom de domaine a pour adresse 144.76.131.212.

Solution n°18

[exercice p. 37]

Si quelqu'un a un accès physique à un appareil qui fait des résolutions DNS régulièrement, il pourrait modifier le fichier `hosts` pour faire pointer un nom de domaine vers une autre adresse IP.

Solution n°19

[exercice p. 39]

Exercice

Une même organisation peut avoir en même temps le rôle d'hébergeur et Fournisseur de Contenu et d'Application ?

A oui

B non

 Par exemple Gandi ou OVH sont des hébergeurs et des FCA car ils proposent aussi des services de gestion d'email.

Exercice

Qu'est-ce qu'un Point d'Échange Internet (IXP) ?

A

Un établissement réunissant des grands acteurs d'Internet pour discuter de son évolution

B
☒ Une infrastructure physique dédiée à C'est dans un IXP que les acteurs se l'interconnexion de différents acteurs connectent pour partager leurs réseaux d'Internet
C

Un établissement chargé d'acheminer les données d'une partie du globe à une autre

D

Un synonyme de DNS

Exercice

Que signifie opérateur Tier 1 ?

A

Un opérateur disposant d'un accès mondial à Internet grâce à une offre de transit

B

Un opérateur disposant d'un accès mondial à Internet grâce à une offre de transit et d'accords de peering

C
☒ Un opérateur disposant d'un accès Plus précisément, un opérateur Tier 1 a des mondial à Internet uniquement via des accords de peering avec tous les autres accords de peering opérateurs Tier 1
D

Il s'agit de l'opérateur avec le plus gros réseau

Exercice

À quoi servent les routeurs ?

A
☒ Transmettre les données Le routeur va en effet **router** les données qu'il reçoit pour reçues d'un réseau à un autre les acheminer/rapprocher de leur réseau de destination. réseau
B

Recevoir des requêtes et répondre par du contenu

C

Émettre des requêtes pour recevoir du contenu

D

Aucune des réponses précédentes

Solution n°20

Exercice

Quel est l'objectif du modèle OSI ?

- A** Donner une liste stricte de protocole à implémenter pour faire fonctionner Internet
- B** Diminuer le temps de latence d'Internet
- C** Définir le fonctionnement du routage
- D** Normaliser le fonctionnement d'Internet en établissant des normes de communications



Le modèle OSI ne définit pas techniquement de protocoles, mais indique toutes les caractéristiques auxquels doivent répondre les protocoles pour créer un réseau global interopérable.

Exercice

À quoi sert la couche réseau ?



- A** Elle gère les communications entre les machines d'un réseau

B

Elle gère les communications de bout en bout C'est la couche transport qui est responsable de la communication de bout en bout.

C

C'est la couche d'accès aux services réseaux

D

Aucune de ces réponses



La couche réseau permet en effet de gérer l'acheminement des données entre deux machines, notamment en choisissant les intermédiaires.

Exercice

Pour transporter un paquet IP d'un ordinateur A à un ordinateur B, il est nécessaire de passer par les routeurs C et D.

Quelle couche assure le transport entre A et C ?

A

La couche réseau

B

La couche transport

C La couche liaison de données



La couche liaison de données assure la communication entre deux machines directement connectées entre elles.

Si IP permet de trouver le chemin pour aller de A à B, c'est bien les couches plus basses qui assurent le transport de point en point.

Solution n°21

[exercice p. 41]

Exercice

Dans le cadre du modèle OSI, à quelle(s) couche(s) correspondrait TCP ?

A

Couche session

B

Couche liaison de données

C

Couche réseau

D

Couche transport



Dans le modèle OSI, TCP correspond à la fois à la couche transport, car il gère la communication de bout en bout, mais aussi à la couche session, car il gère les sessions entre les deux applications.

Exercice

Quelles sont les caractéristiques de TCP ?

A

Routage rapide

B

Fiable

C

Mode connecté

D

Différencie les applications grâce au port



Le routage ne fait pas partie du travail de TCP : il est réalisé par IP.

Exercice

À quelle couche correspond IP ?

A Couche session

B Couche transport

C Couche réseau

D Couche liaison de données

Exercice

Quelles sont les adresses IP valides ?

A 192.168.0.4 Il s'agit d'une adresse IPv4 valide.

B c4:d9:87:63:b4:ec Ce type d'adresse s'appelle une adresse MAC, et est utilisé par la couche transport au niveau des réseaux locaux.

C 74.938.24.198 Chaque nombre correspond à un octet, qui ne peut représenter que des nombres entre 0 et 255

D 0.0.0.0 C'est une adresse valide non-utilisable par une machine et qui a la particularité d'avoir des significations différentes en fonction du contexte

E 2001:0db8:0000:85a3:0000:0000:ac1f:8001 Il s'agit d'une adresse IPv6

Glossaire

Protocole

Un **protocole informatique** est un ensemble de règles techniques permettant à des ordinateurs d'échanger des informations via un langage commun.

Crédits des ressources

p. 3

*Attribution - The Opte Project, commons.wikimedia.org*¹¹

Rhizome, un FAI de la FFDN — rhizome-fai.net p. 5

db.ffdn.org

Clients, box et serveurs p. 12

Attribution - Picasoft

Réseau avec deux clients et wikipedia.org comme extrémités p. 13

Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions - Ferran91 — Article Wikipédia en anglais (Internet access diagram)

traceroute www.icann.org. depuis la France p. 16

https://stefansundin.github.io/traceroute-mapper

Codage d'un paquet IP p. 19

Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions - Stéphane Crozat

Modèle OSI p. 55

Licence : Domaine Public

Codage de l'entête d'un paquet IP p. 22

Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions - Stéphane Crozat

Segment TCP p. 26

Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions

Échange de données avec TCP p. 27

Attribution - Quentin Duchemin

Ports d'une machine cliente p. 28

Attribution - Quentin Duchemin

Répartition géographique des différents RIR p. 31

Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions - Dork, Canuckguy et al., Sémhur

¹¹. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internet_map_1024.jpg

Contenus annexes

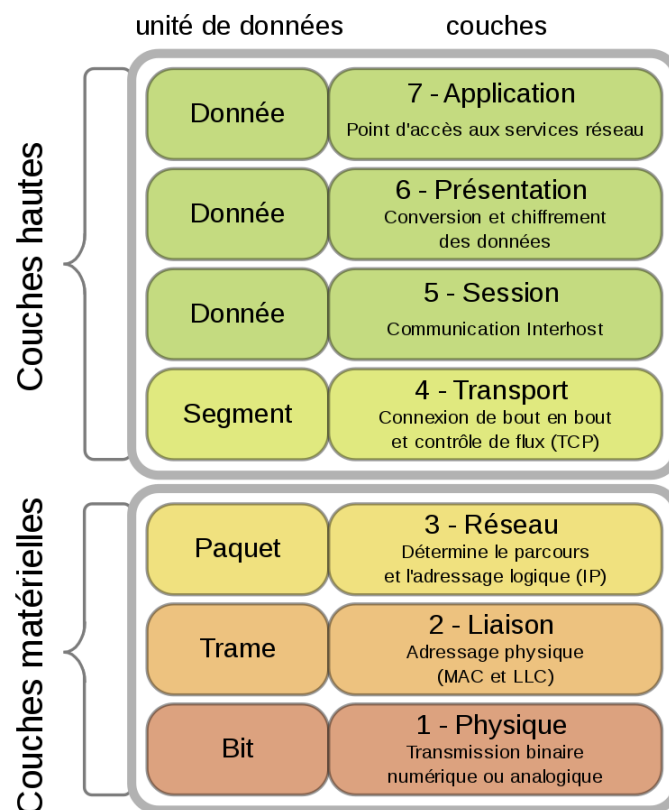
1. Les couches réseaux du modèle OSI

Modèle OSI

Az Définition

Le **modèle OSI** (pour *Open Systems Interconnection*) est une norme de communication en réseau de tous les systèmes informatiques.

C'est un modèle conceptuel qui décrit le fonctionnement théorique de n'importe quel réseau en 7 couches.



Modèle OSI

Une norme... pour créer des normes

Remarque

Le modèle complet est décrit par la norme ISO7498 et porte le nom de "Modèle basique de référence pour l'interconnexion des systèmes ouverts". Cette norme spécifie un cadre général propice à la création de **normes futures**.

En d'autres termes, le modèle OSI n'impose aucune technologie physique ou logicielle, mais définit une architecture que les technologies doivent respecter afin qu'un réseau global puisse émerger.

Le découpage en couche permet de "séparer les préoccupations", c'est-à-dire de traiter un aspect particulier de la problématique générale (identifier une machine, envoyer des données, formater les données, etc.)

Service, protocole et interface

Az Définition

Dans la terminologie OSI, chaque couche est délimitée par un **service**, un **protocole** et une **interface**.

- Un service correspond aux fonctions réalisables par une couche : c'est un ensemble de commandes, ou **primitives**.
- Un protocole correspond aux règles d'échange entre les couches, dans le but de réaliser un service.
- L'interface est le point d'accès concret au service. Elle spécifie comment utiliser le protocole permettant d'accéder au service.

Les couches basses **rendent des services** aux couches plus hautes.

Une cuisine et des étagères

👁 Exemple

Le modèle OSI peut être difficile à conceptualiser. On peut se le représenter grossièrement comme le placard d'une cuisine :

- Chaque étagère (couche) contient des objets ayant des buts communs (protocoles) : de haut en bas, l'étagère des aliments, l'étagère des ustensiles, l'étagère des plats, l'étagère des condiments, etc.
- Il y a un ordre : on commence par sélectionner les aliments, les découper, puis les faire cuire et enfin assaisonner le plat.
- On peut dire que chaque étagère plus basse **rend service** aux étagères les plus hautes : la casserole va faire cuire les aliments, les condiments vont assaisonner le plat, etc.
- L'interface dans ce cas est l'être humain qui cuisine : il interface les objets des différentes étagères.

Niveau 1 : couche physique

💡 Fondamental

La couche physique est chargée d'émettre et de recevoir des données brutes entre deux machines.

Plus compliqué qu'il n'y paraît...

👁 Exemple

Si envoyer un 0 ou un 1 à une machine peut paraître trivial, il existe une grande diversité de techniques pour ce faire : fibre optique, câble Ethernet, ondes électromagnétiques, ondes radio, etc., et pourquoi pas des écrans tenus par un humain ?

Niveau 2 : couche liaison de données

💡 Fondamental

Cette couche gère la communication entre deux machines directement connectées entre elles. Elle répond à plusieurs questions problématiques de la couche physique : où commence un message donné et où s'arrête-t-il ? Un support physique n'est jamais parfait, comment détecter les erreurs ? Peut-on réparer les erreurs ?

Pour ce faire, elle structure les données transmises à l'aide de marqueurs (début, fin, etc.), de champs (ici se trouvent les données, ici se trouve l'identifiant du destinataire, etc.) et elle met en place des mécanismes de contrôle.

Les entités transmises par la couche 2 sont des **trames**.

Détection d'erreur

👁 Exemple

En supposant que la couche 2 transmette une suite de nombres, elle pourra rajouter la somme de ces nombres à la fin du message. Le destinataire pourra refaire cette somme et vérifier qu'il n'y a pas eu d'erreur de transmission si le résultat est exact.

Niveau 3 : couche réseau

💡 Fondamental

La couche réseau gère les communications entre plusieurs machines d'un même réseau.

Elle exploite les notions d'**adressage**, de **routage**, de **fragmentation**.

- Pour s'adresser à une machine à laquelle on n'est pas directement connecté, il faut un moyen de l'identifier : c'est son adresse.
- Pour arriver jusqu'à cette machine, il faut trouver le chemin qui nous sépare d'elle : c'est le routage.
- Si le message à transmettre est trop gros pour les couches inférieures, il faut le découper : c'est la fragmentation.

Les entités transmises par la couche 3 sont des **paquets**, ou **datagrammes**.

Les adresses postales d'Internet

👁 Exemple

L'équivalent des adresses postales sur Internet sont les **adresses IP** (pour *Internet Protocol*). Le protocole IP permet l'adressage unique de toutes les machines du réseau et prend en charge la fragmentation.

Niveau 4 : couche transport

💡 Fondamental

La couche transport gère les communications **de bout en bout**, sans se soucier du mode de transport.

Plutôt que de raisonner en terme de paquets, elle raisonne en terme de messages complets.

Elle est capable de **corriger des erreurs** dans la transmission des messages (congestion du réseau...) et de **ré-ordonnancer** des paquets qui auraient pris une route différente et seraient arrivés dans le mauvais ordre.

Ses mécanismes de **contrôle de flux** permettent d'adapter la vitesse d'envoi des données à la capacité de réception du destinataire.

Les entités transmises par la couche 4 sont des **messages**.

Niveau 5 : couche session

💡 Fondamental

La couche session a un rôle de chef d'orchestre des discussions entre les différents acteurs. Elle gère par exemple les tours de parole.

Elle synchronise les communications émanant de différentes sources en organisant les connexions de niveau 4.

Aussi, si une communication est interrompue et que la couche 4 ne peut pas corriger les erreurs (exemple : coupure longue d'électricité), la couche 5 permet de reprendre la communication à l'endroit où elle s'est arrêtée.

Diffusion vidéo

👁 Exemple

Dans une application de diffusion vidéo, la voix et l'image proviennent de deux sources différentes. Il faut organiser leur transmission de telle sorte que les données de la voix soient synchronisés avec les données de l'image. En respectant le modèle OSI, la couche session combinerait ces deux flux en veillant à leur synchronisation.

Niveau 6 : couche présentation

💡 Fondamental

La couche présentation chargée du **codage** des données à communiquer. Les couches 1 à 5 transportent une donnée brute sans se préoccuper de leur signification. La couche présentation a pour rôle de transformer les données (image, texte, vidéo, etc.) en format transportable par les couches inférieures.

Elle négocie également avec le destinataire pour élire un format commun et assurer que les deux systèmes se comprennent.

Optionnellement, cette couche assure chiffrement des données, les rendant inintelligibles pour tous sauf le destinataire.

Une analogie avec les langages

👁 Exemple

Si l'ordinateur A parle français et anglais et que l'ordinateur B parle anglais et espagnol, alors la couche présentation négociera une communication en anglais.

Niveau 7 : couche application

💡 Fondamental

La couche application ne contient pas les véritables applications mais leur rend des services. Elle offre un ensemble de fonctionnalités standard, comme du transfert de fichier.

Des protocoles bien connus

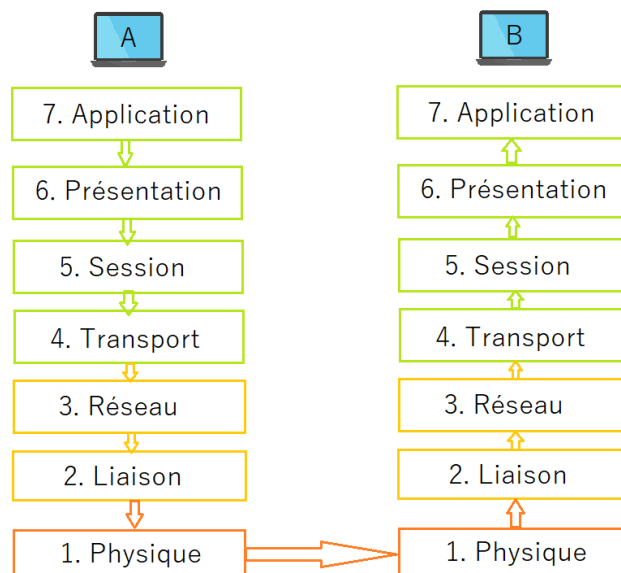
👁 Exemple

On peut rattacher à la couche 7 les protocoles de communication tels que HTTP pour consulter des fichiers sur le Web ou FTP pour transférer des fichiers.

Chemin d'une donnée dans le modèle OSI

🔗 Fondamental

Une application sur un ordinateur A voulant communiquer avec une application sur un ordinateur B fera passer les données par toutes les couches de haut en bas. La série de bits sortant de la couche 1 va circuler sur Internet via les routeurs pour arriver à destination, où le chemin inverse sera fait.



Communication selon le modèle OSI

Le parcours d'une requête web

👁 Exemple

Suivons le parcours d'une requête web d'un client à un client. On descend d'abord en couche :

- la requête est émise par l'utilisateur via son client, via un navigateur Web par exemple (application),
- la requête est chiffrée par HTTPS (présentation),
- s'en suit la mise en place de la connexion (session) et son transport de données (transport),
- ces paquets sont passés de proche en proche sur le réseau via IP (couche réseau),
- au niveau du réseau local ces données sont acheminées vers la machine en question grâce à son adresse MAC (couche liaison),
- ces données sont transférées via un médium, ondes ou signaux électriques par exemple (couche physique).

Puis on remonte dans les couches :

- ce médium est écouté par l'interface réseau de la machine du serveur (couche physique),
- les données sont reçues par la machine du serveur (couche liaison),
- la machine récupère les paquets (couche réseau) et les ordonne selon leur ordre de départ (couche transport),
- la connexion avec le client est fermée ou maintenue (couche session),
- les données sont déchiffrées pour obtenir la requête (couche présentation),

- la requête est lue puis traitée par le serveur,

Modèle OSI et TCP/IP

⊕ Complément

L'architecture du modèle OSI est très stricte et s'efforce de séparer les fonctionnalités qui sont séparables.

Si ce modèle forme une excellente base théorique pour créer de nouveaux protocoles et de nouveaux réseaux, l'architecture n'est pas intégralement utilisée en pratique.

Internet repose essentiellement sur les protocoles IP et TCP, que l'on peut associer aux couches 3 et 4. Par contre, les couches 5, 6 et 7 n'ont pas vraiment d'équivalent dans le monde Internet : leurs services sont intégrés soit dans les couches plus basses, soit dans la couche 8.

À retenir

- Le modèle OSI est une base théorique pour former des réseaux dont les machines sont capables de communiquer entre elles.
- Il définit 7 couches indépendantes qui remplissent plusieurs services.
- Le modèle OSI décrit tous les aspects des communications mais ne spécifie pas de protocole concret.

