

Applications réseau

Cours 1 : Introduction générale

Florian Sikora
florian.sikora@dauphine.fr
P627

LAMSADE

M1 apprentissage

Adapté des slides de Kurose & Ross

Plan du cours

- ▶ Cours 1 : Introduction générale.
- ▶ Cours 2 : Applications réseaux.
- ▶ Cours 3 : Couche transport.
- ▶ Cours 4 : Applications multimédias.
- ▶ Cours 5 : Un peu de sécurité.

Objectifs

- ▶ Pour vous ? A votre avis ?

Objectifs

- ▶ Pour vous ? A votre avis ?
- ▶ Comprendre l'architecture en couche.
- ▶ Comprendre la notion de protocole.
- ▶ Introduction à quelques applications classiques et multimédias.
- ▶ Être capable de proposer (et programmer) ses propres applications.
- ▶ Notion de sécurité sur le réseau.
- ▶ ...

Modalités

- ▶ 7 · 1h30 de cours.
- ▶ 13 · 1h30 de TD/TP.

- ▶ Un projet à faire en binômes.
- ▶ Un examen.

Bibliographie

- ▶ Analyse structurée des réseaux, Kurose et Ross (beaucoup de ces slides).
- ▶ Réseaux, A. Tanenbaum.
- ▶ Les réseaux, G. Pujolle.
- ▶ Cours d'Etienne Duris.

Quizz

```
http://www.quizzoodle.com/session/  
b76ce37ad32841299533e49f25a40102
```

Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

Protocoles et organisation

Sécurité

Petit historique

Cours 1 : Introduction générale

- ▶ Objectifs du Cours 1 :
 - ▶ Terminologie.
 - ▶ Vision générale, en utilisant Internet comme exemple.
 - ▶ Plus de détails dans les cours suivants.

Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

Protocoles et organisation

Sécurité

Petit historique

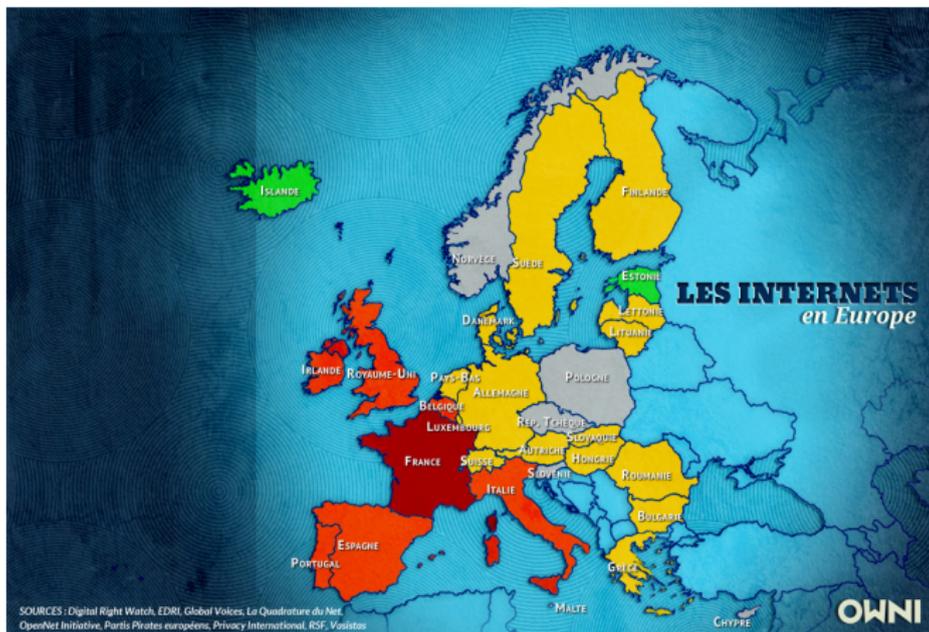
Intermède orthographique

- ▶ Qu'utiliser parmi *internet*, *Internet*, *l'internet*, *les internets* ?

Intermède orthographique

- ▶ Qu'utiliser parmi *internet*, *Internet*, *l'internet*, *les internets* ?
- ▶ À toutes les sauces dans la presse.
- ▶ Pour l'*Office québécois de la langue française*, la majuscule souligne le caractère unique d'Internet.
- ▶ Pour le sociologue Ph. Breton, la majuscule rend sacré ce qui est un outil. ("On ne met pas de majuscule à une bêche").
- ▶ Au *journal officiel* (1999), pas de majuscule (mais aussi smiley = frimousse, hacker = fouineur, chat = causettes...). Appliqué aux sites de l'État.
- ▶ L'internet : l'*unique* réseau d'interconnexion des réseaux internet. *Académie française*.
- ▶ Pluriel souligne un réseau à multiples facettes (de débit, de liberté...)

Intermède orthographique



Owni.

Internet / Web

- ▶ Q : Différence entre Internet et Web ?

Internet / Web

- ▶ Q : Différence entre Internet et Web ?
- ▶ Web fonctionne sur Internet, permet de consulter des pages avec un navigateur. Une des **applications** d'Internet. Inventé après Internet.

Internet / Web

- ▶ Q : Différence entre Internet et Web ?
- ▶ Web fonctionne sur Internet, permet de consulter des pages avec un navigateur. Une des **applications** d'Internet. Inventé après Internet.
- ▶ Q : Autres applications d'Internet ?

Internet / Web

- ▶ Q : Différence entre Internet et Web ?
- ▶ Web fonctionne sur Internet, permet de consulter des pages avec un navigateur. Une des **applications** d'Internet. Inventé après Internet.
- ▶ Q : Autres applications d'Internet ?
- ▶ Courrier électronique, messagerie instantanée, Usenet...

Internet / Web

- ▶ Q : Différence entre Internet et Web ?
- ▶ Web fonctionne sur Internet, permet de consulter des pages avec un navigateur. Une des **applications** d'Internet. Inventé après Internet.
- ▶ Q : Autres applications d'Internet ?
- ▶ Courrier électronique, messagerie instantanée, Usenet...
- ▶ IP Picture Frame (<http://www.ceiva.com/>), téléphones Internet, toaster météo (<http://legrandours.com/>), SETI@home...



Internet : b.a.-ba

- ▶ Des millions d'appareils connectés

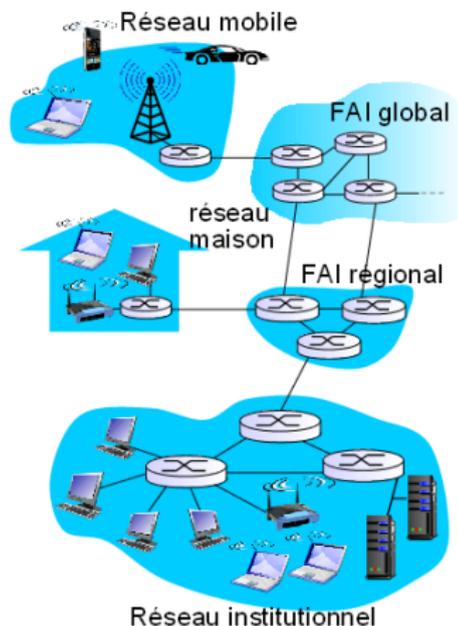


- ▶ Hôtes, systèmes terminaux.
- ▶ Font tourner des applications réseaux

- ▶ Liens (sans ou avec fils) :

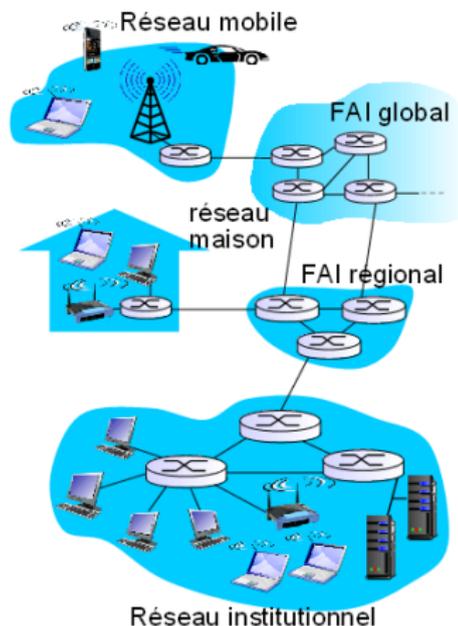
- ▶ Fibre, cuivre, radio, satellite...
- ▶ Taux de transmission : bande passante

- ▶ Aiguilleur de paquets (routeurs ).



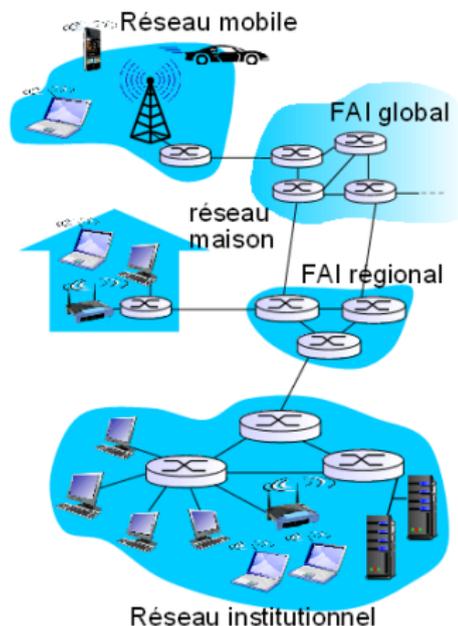
Internet : b.a.-ba

- ▶ Internet : “réseau de réseaux”
 - ▶ Interconnexions de FAIs
- ▶ Des **protocoles** contrôlent l'envoi et la réception de messages
 - ▶ Par ex. : TCP, IP, HTTP, Skype, 802.11...
- ▶ Des **standards** d'Internet
 - ▶ RFC : Request for comments (ietf.org/rfc.html), pouvant être rédigés par l'IETF : Internet Engineering Task Force (ietf.org).



Internet : vue services

- ▶ Une infrastructure qui octroi des services à des applications.
- ▶ Permet la communication d'hôtes distants utilisant une même application.



Réseaux

- ▶ Q : D'autres réseaux ?

Réseaux

- ▶ Q : D'autres réseaux ?
- ▶ Réseau téléphonique, réseau GSM.
- ▶ Téléx.
- ▶ Antares (réseau numérique des services publics pour la sécurité civile, type pompiers, sécurité civile...)
- ▶ Qaul.net
 - ▶ Réseau de communication indépendant d'Internet et des FAI.
Chaque machine est un routeur, de proche en proche, via le wifi.
- ▶ ...

Protocoles

Protocoles “humains” :

- ▶ “Quelle heure est-il ?”
- ▶ “J’ai une question”
- ▶ Présentations...

- ▶ Des messages spécifiques envoyés, selon des formats définis.
- ▶ Des actions spécifiques effectuées lors de la réception de messages (erreur, OK, précisions...).

Protocoles

Protocoles "humains" :

- ▶ "Quelle heure est-il ?"
- ▶ "J'ai une question"
- ▶ Présentations...
- ▶ Des messages spécifiques envoyés, selon des formats définis.
- ▶ Des actions spécifiques effectuées lors de la réception de messages (erreur, OK, précisions...).

Protocoles réseaux :

- ▶ Entre machines plutôt qu'entre humains.
- ▶ Toute communication sur internet est faite selon des protocoles

Protocoles

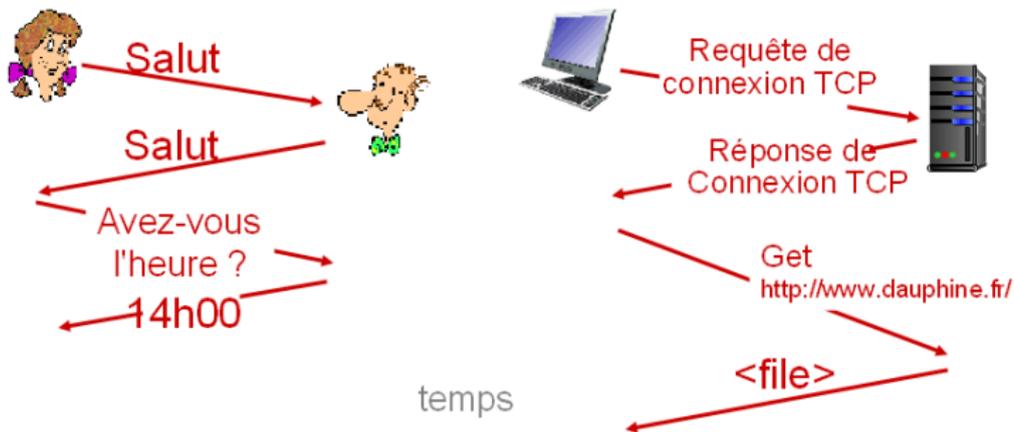
Protocoles “humains” :

- ▶ “Quelle heure est-il ?”
- ▶ “J’ai une question”
- ▶ Présentations...
- ▶ Des messages spécifiques envoyés, selon des formats définis.
- ▶ Des actions spécifiques effectuées lors de la réception de messages (erreur, OK, précisions...).
- ▶ Un protocole définit un **format**, l'**ordre** de messages envoyés et reçus entre des entités, et les actions prises à la réception ou la transmission de messages.

Protocoles réseaux :

- ▶ Entre machines plutôt qu’entre humains.
- ▶ Toute communication sur internet est faite selon des protocoles

Protocoles



Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

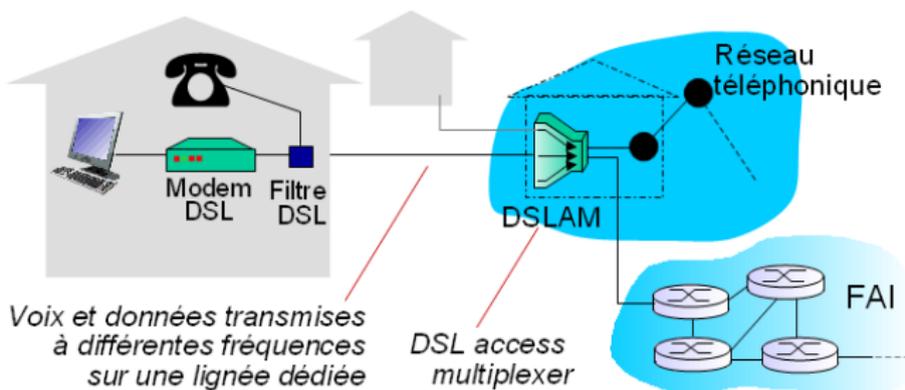
Protocoles et organisation

Sécurité

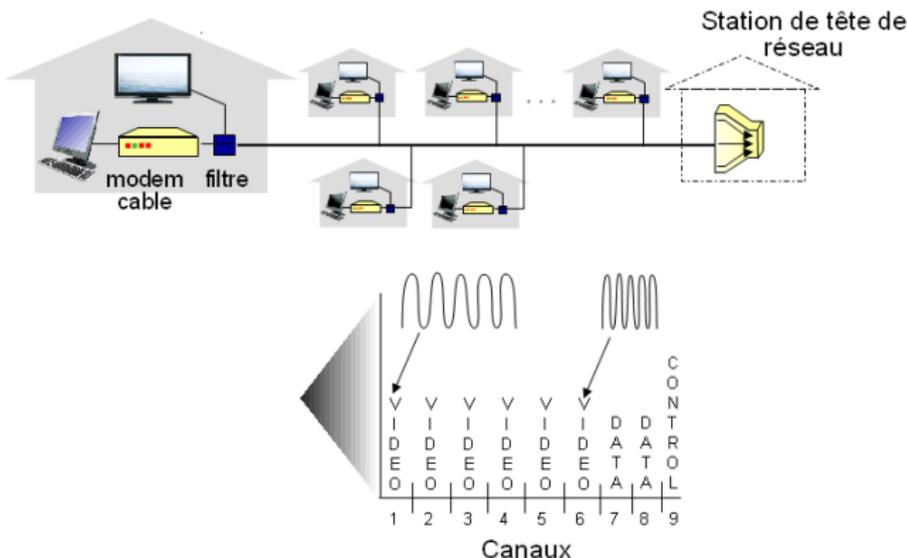
Petit historique

Accès à Internet : DSL

- ▶ DSL (ou xDSL) : Digital Subscriber Line (Ligne Numérique d'Abonné ?)
 - ▶ ADSL (Asymmetric), SDSL (Symmetric), VDSL...
- ▶ Utilisation d'une même ligne de cuivre (existante) pour la voix et les données, à différentes fréquences.
 - ▶ La voix va sur le réseau téléphone.
 - ▶ Les données sur Internet.

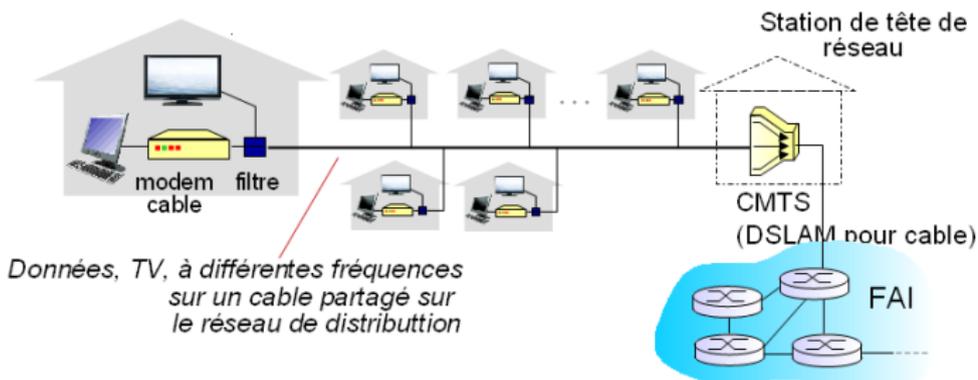


Accès à Internet : réseau câblé



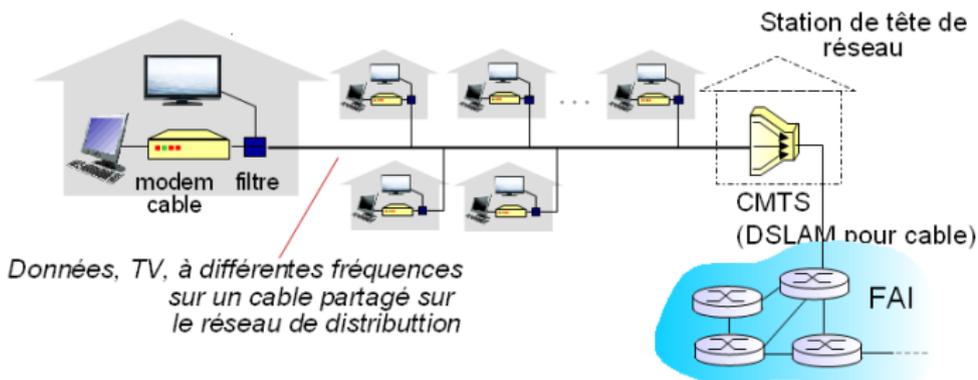
- ▶ Frequency Division Multiplexing (FDM) : Multiplexage Fréquentiel, ou Multiplexage par répartition de fréquences.
- ▶ Différents canaux transmis à différentes bandes de fréquences (sans interruptions).

Accès à Internet : réseau câblé



- ▶ HFC (Hybrid Fiber Coaxial Cable)
 - ▶ Fibre jusqu'à la tête de réseau, puis câble coaxial (réutilisation du réseau câble ancien (TV/tel)).
- ▶ Le réseau est partagé jusqu'à la station de tête.
- ▶ Différent du DSL qui à un accès dédié.

Accès à Internet : réseau câblé



- ▶ HFC (Hybrid Fiber Coaxial Cable)
 - ▶ Fibre jusqu'à la tête de réseau, puis câble coaxial (réutilisation du réseau cable ancien (TV/tel)).
- ▶ Le réseau est partagé jusqu'à la station de tête.
- ▶ Différent du DSL qui à un accès dédié.
- ▶ SFR/Numéricable en france.

Accès à Internet : FTTH (Fiber To The Home)

- ▶ Permet débit plus rapide.
- ▶ Différentes architectures :
 - ▶ Point à Point : Chaque abonné est relié directement (pas de partage). (Free)

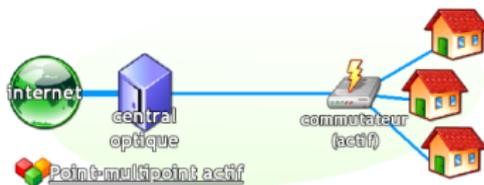


Accès à Internet : FTTH (Fiber To The Home)

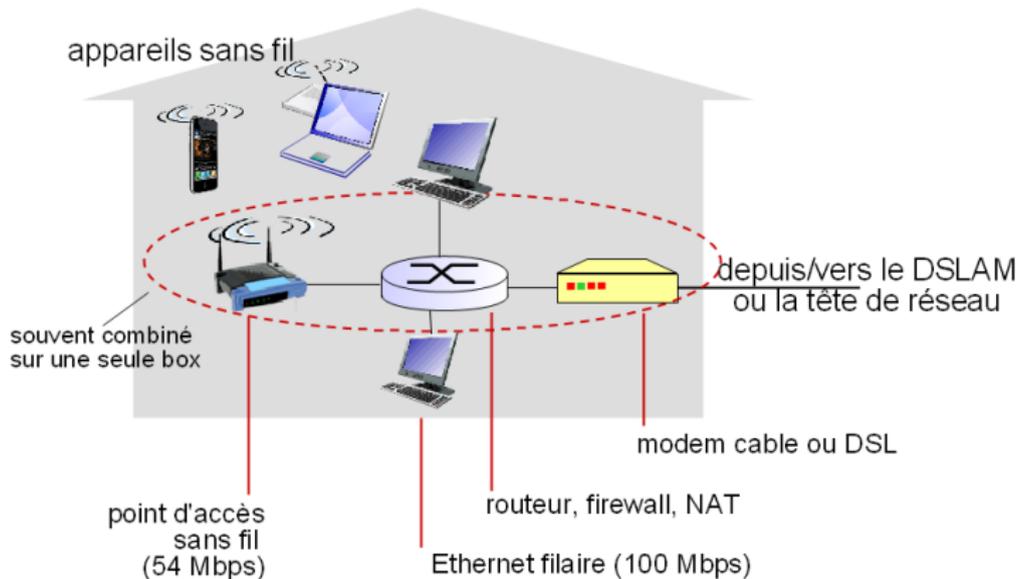
- ▶ Permet débit plus rapide.
- ▶ Différentes architectures :
 - ▶ Point à Point : Chaque abonné est relié directement (pas de partage). (Free)



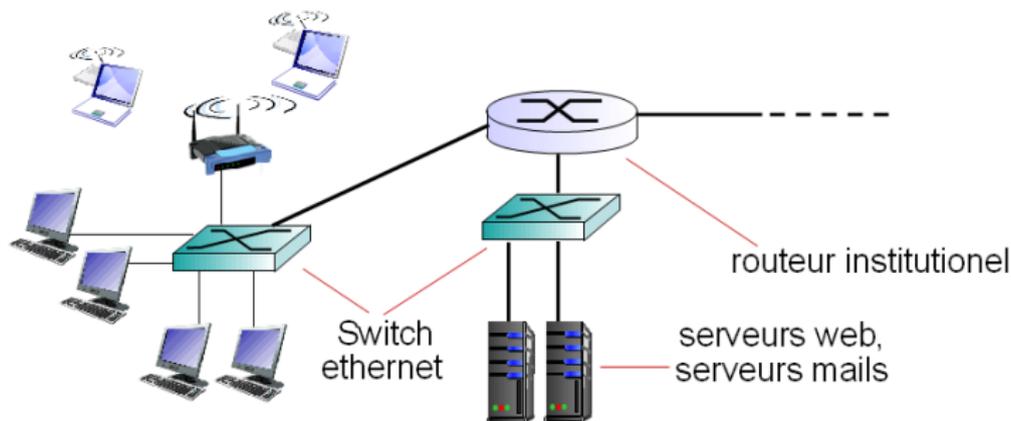
- ▶ Point-Multipoint : Fibre partagée entre un coupleur et le NRO (moins cher, moins de fibres à poser mais partage). (Orange, Bouygues)



Accès à Internet : particuliers



Accès à Internet : entreprises



- ▶ Entreprises, universités...
- ▶ Taux de transmission en Gbps.

Accès à Internet : sans fil

- ▶ Accès sans fil partagé à Internet via un point d'accès
- ▶ LAN sans fil
- ▶ Quelques dizaines de mètres
- ▶ 802.11b/g (WiFi) : 11 - 54 Mbps
- ▶ Accès large proposé par des opérateurs tél.
- ▶ Quelques kilomètres
- ▶ 3G, 4G : 1-10Mbps

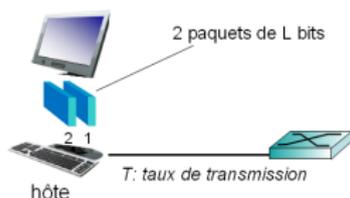


Envoyer des paquets (de données)

- ▶ Q : Une application doit envoyer des données sur le réseau.
Envoi en une fois ou découpage ?

Envoyer des paquets (de données)

- ▶ Q : Une application doit envoyer des données sur le réseau.
Envoi en une fois ou découpage ?
- ▶ Découpe le message en parts plus petites, les paquets, de taille L bits.
- ▶ Paquets transmis sur la liaison à un taux de transmission T (bits/s) (Ethernet 100Mbps, $T = 100 \cdot 10^6$).
- ▶ Temps de transmission = Temps nécessaire pour transmettre un paquet de L bits sur la liaison = $\frac{L}{T}$.



Supports physiques

- ▶ Lien physique : entre le receveur et l'émetteur.
- ▶ Supports guidés :
 - ▶ Le signal se propage sur un support solide : fibre, fils de cuivre torsadé, câble coaxial...
- ▶ Supports non guidés :
 - ▶ Le signal se propage librement : radio...

Supports physiques : supports guidés

- ▶ Câble coaxial :
 - ▶ Deux conducteurs en cuivre à structure concentrique.
 - ▶ Bidirectionnel
- ▶ Fibre optique
 - ▶ Conducteur de lumière, propagation sous forme d'impulsions lumineuses représentant un bit.
 - ▶ Très haute vitesse.
 - ▶ Peu d'erreurs (nécessité de répéteurs, pas d'interférences électromagnétique (\neq cuivre))



Supports physiques : supports radios

- ▶ Signal dans le spectre électromagnétique.
- ▶ Propagation selon les effets de l'environnement (réflexion, obstruction par objets, interférences...)
- ▶ Ondes terrestres
- ▶ LAN (par ex. WiFi. 11-54Mbps)
- ▶ Large zones (par ex. cellulaire). 3G, quelques Mbps.
- ▶ Satellite. Jusqu'à quelque dizaines de Mbps. 270msec de délai (satellite à 36 000 kms de la terre).

Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

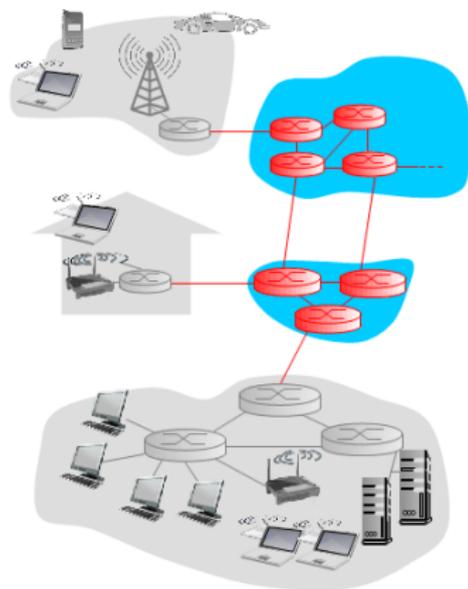
Protocoles et organisation

Sécurité

Petit historique

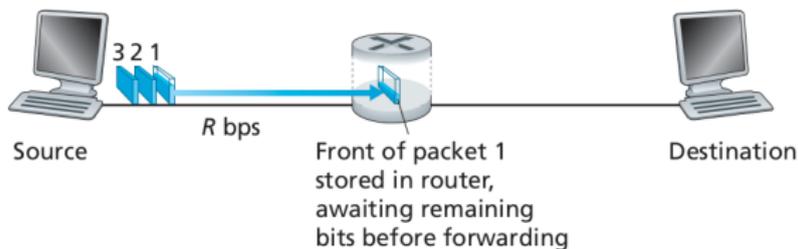
Cœur du réseau Internet

- ▶ Un réseau de routeurs interconnectés
- ▶ “Switching” (commutation) des paquets : les hôtes coupent les messages des applications en paquets : **Commutation par paquets**.
- ▶ Les paquets sont transférés d'un routeur à un autre, à la capacité max. de la ligne.
- ▶ “Store and forward” : tout le paquet doit arriver à un routeur avant qu'il puisse commencer à être retransmis au suivant.



Store and forward

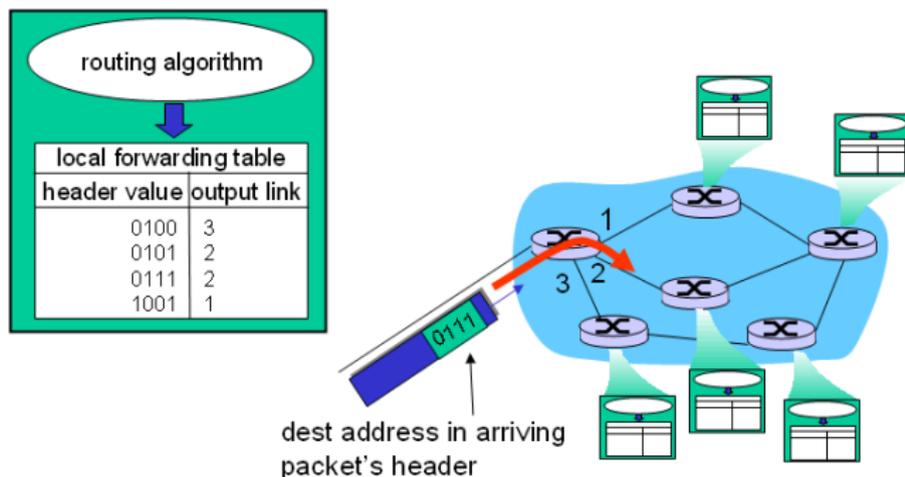
- ▶ Le paquet doit être **entièrement arrivé** au routeur avant d'être transmis au routeur suivant.
 - ▶ Ne peut pas commencer à transférer directement les bits reçus, doit les stocker.
 - ▶ Commencer à "forward" quand il a reçu tout le paquet.



- ▶ Temps pour un paquet de L bits d'être transféré de A vers B en passant par un routeur avec une liaison R : $2L/R$.

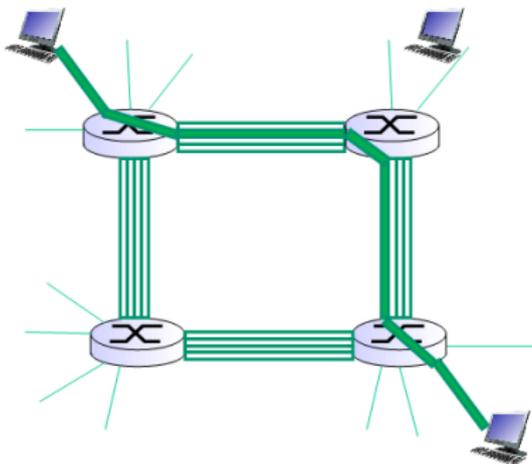
Deux fonctions clefs

- ▶ Routage :
 - ▶ Déterminer la route prise par le paquet.
- ▶ Forwarding :
 - ▶ Déplacer le paquet de l'entrée du routeur à la sortie appropriée.

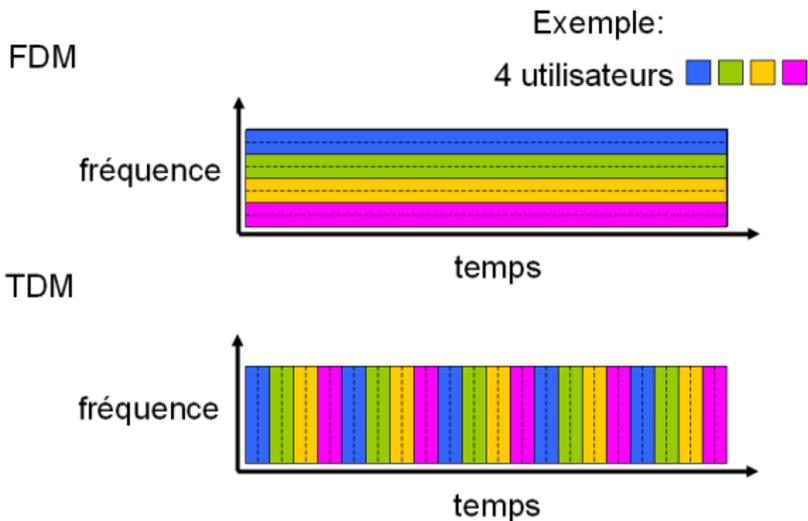


Alternative : la commutation par circuit

- ▶ Toutes les ressources sont réservées de bout en bout pour la communication entre source et destination.
- ▶ Plusieurs "circuits" sur chaque lien, ressource non partagée.
- ▶ Cas du réseau téléphonique (mais la 4G utilise la commutation par paquets !).



Alternative : la commutation par circuit



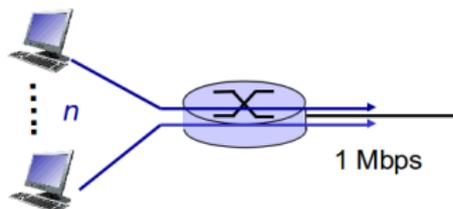
- ▶ Exemples : Réseau téléphone en FDM, GSM en TDM.
- ▶ Toute la bande passante à un instant vs une partie tout le temps.

Commutation circuits vs paquets

- ▶ Problème paquets : mal adapté aux besoins de service temps réel (tel et visioconf).
- ▶ Avantage paquets : meilleur partage de la BP, plus simple et moins cher à mettre en place.

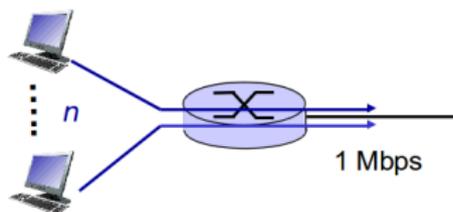
Commutation circuits vs paquets

- ▶ Par paquets **plus efficace**.
- ▶ Exemple :
 - ▶ n utilisateurs partageant une liaison 1 Mbps.
 - ▶ Utilisateur actif 10% du temps à taux constant de 100 kbps (0 le reste).



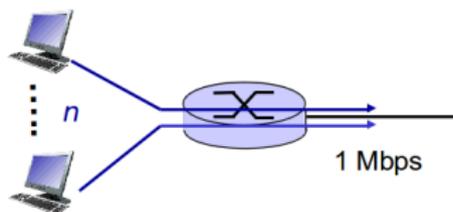
Commutation circuits vs paquets

- ▶ Par paquets **plus efficace**.
- ▶ Exemple :
 - ▶ n utilisateurs partageant une liaison 1 Mbps.
 - ▶ Utilisateur actif 10% du temps à taux constant de 100 kbps (0 le reste).
- ▶ Q : Combien d'utilisateurs max. en même temps en commutation par circuits ?



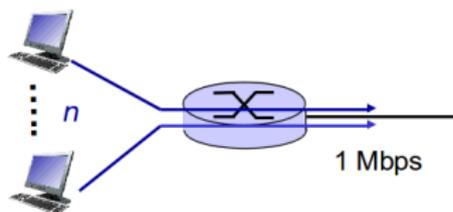
Commutation circuits vs paquets

- ▶ Par paquets **plus efficace**.
- ▶ Exemple :
 - ▶ n utilisateurs partageant une liaison 1 Mbps.
 - ▶ Utilisateur actif 10% du temps à taux constant de 100 kbps (0 le reste).
- ▶ Q : Combien d'utilisateurs max. en même temps en commutation par circuits ?
- ▶ 10 (100 kbps réservés en permanence pour chaque utilisateur).



Commutation circuits vs paquets

- ▶ Par paquets **plus efficace**.
- ▶ Exemple :
 - ▶ n utilisateurs partageant une liaison 1 Mbps.
 - ▶ Utilisateur actif 10% du temps à taux constant de 100 kbps (0 le reste).
- ▶ Q : Combien d'utilisateurs max. en même temps en commutation par circuits ?
- ▶ 10 (100 kbps réservés en permanence pour chaque utilisateur).
- ▶ Probabilité que > 10 utilisateurs sur 35 soient actifs en même temps : 0.0004 (calcul du probabilité avec binomiale...)
- ▶ Avec probabilité 0.9996, les paquets sont envoyés sans délai, comme en commu. par circuits (inférieur à la capacité de la liaison). Au delà, attente.

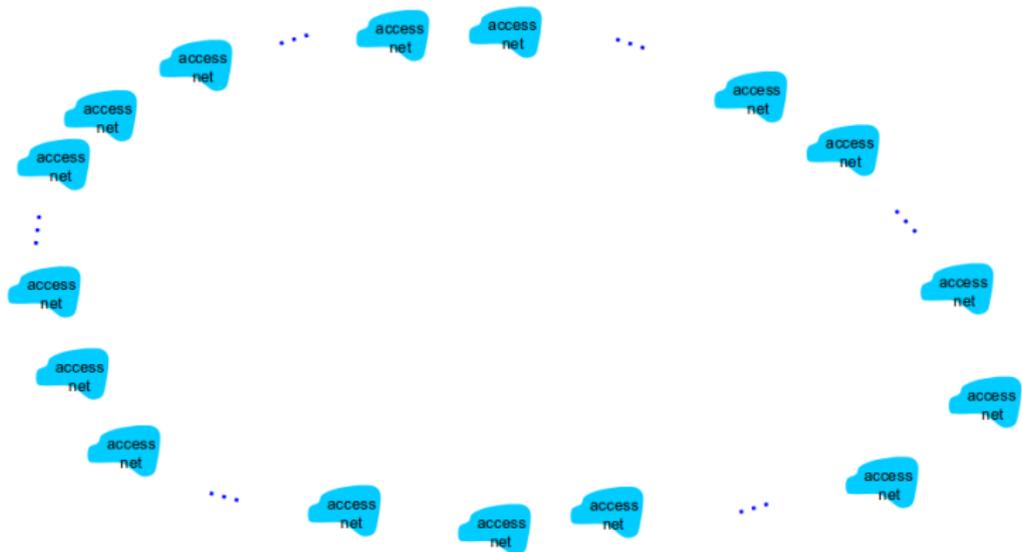


Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Terminaux reliés à Internet via des FAI (ISP).
- ▶ Les FAI doivent être reliés entre eux pour que deux hôtes puissent s'envoyer des paquets.
- ▶ Le réseau de réseaux en résultant est complexe (raisons économiques, politiques...)

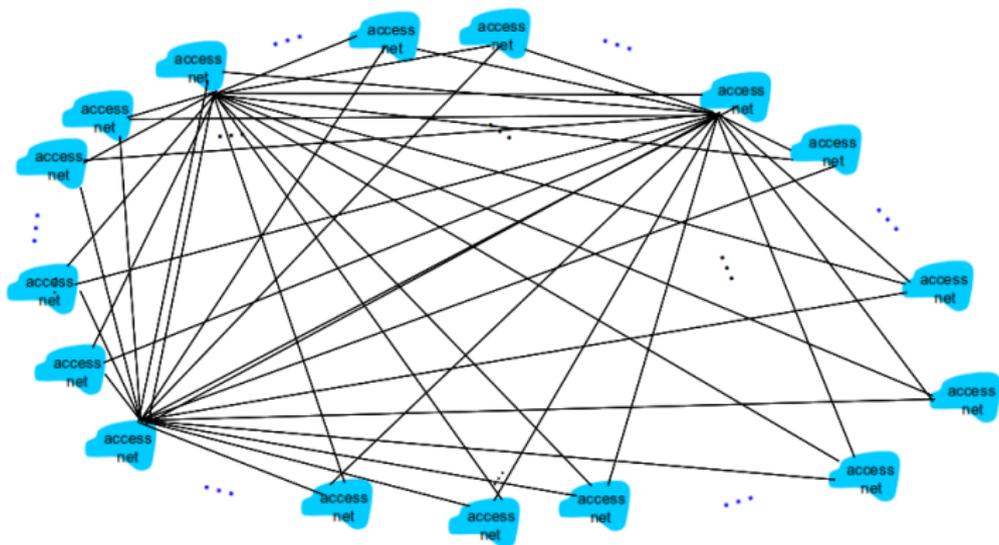
Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Q : Étant donné des millions de FAI (je peux être FAI...), comment les connecter entre eux ?



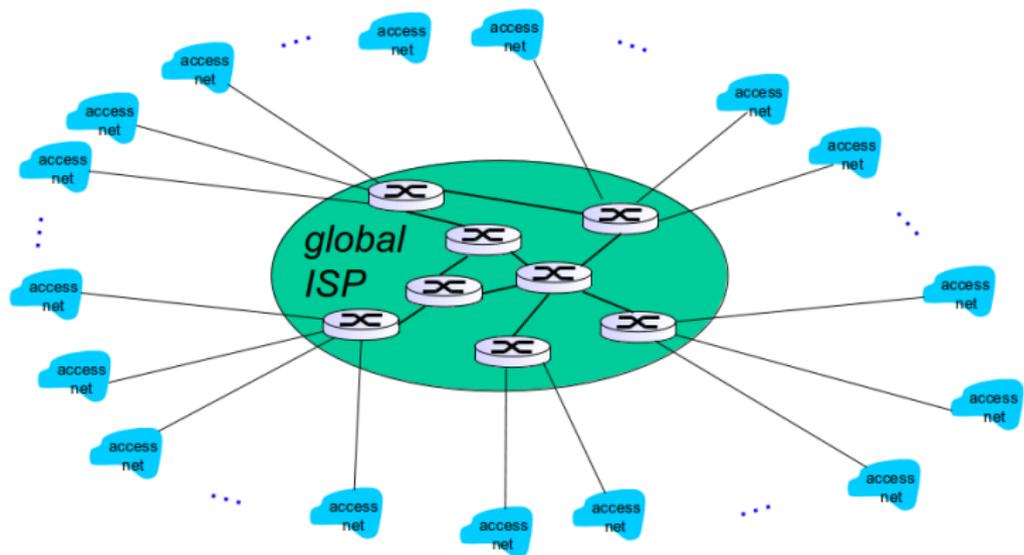
Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Q : Étant donné des millions de FAI (je peux être FAI...), comment les connecter entre eux ?
- ▶ $O(n^2)$ liaisons : impossible en pratique.



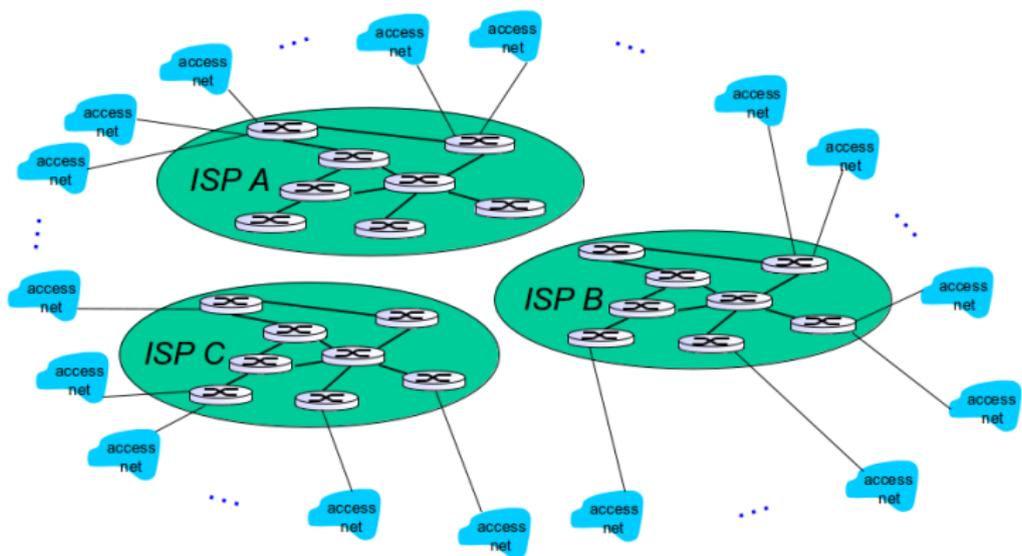
Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Q : Étant donné des millions de FAI (je peux être FAI...), comment les connecter entre eux ?
- ▶ Possibilité : connecter les FAI à un "FAI global".



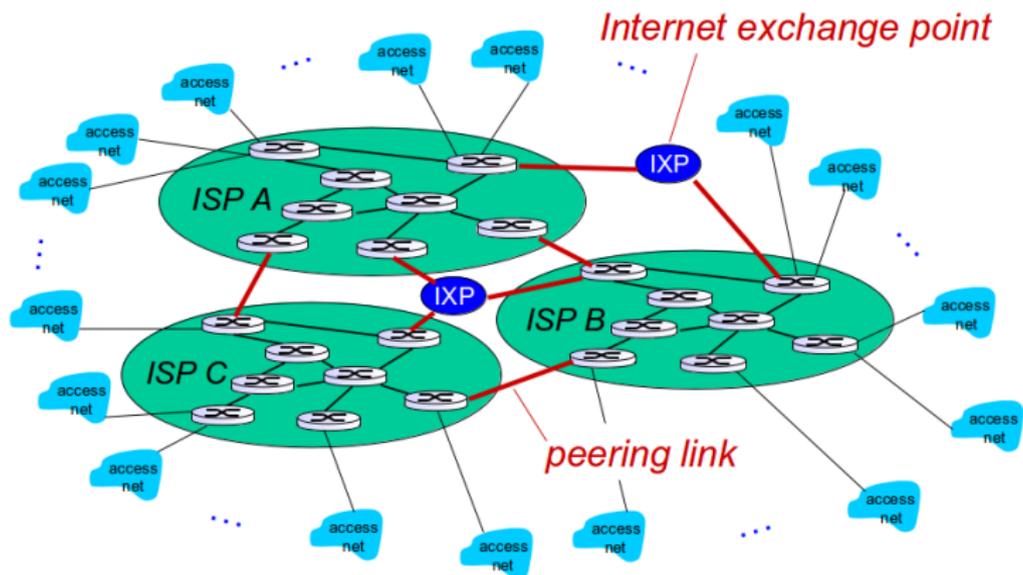
Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Q : Étant donnés des millions de FAI (je peux être FAI...), comment les connecter entre eux ?
- ▶ Possibilité : connecter les FAI à un "FAI global".
- ▶ Concurrence possible...



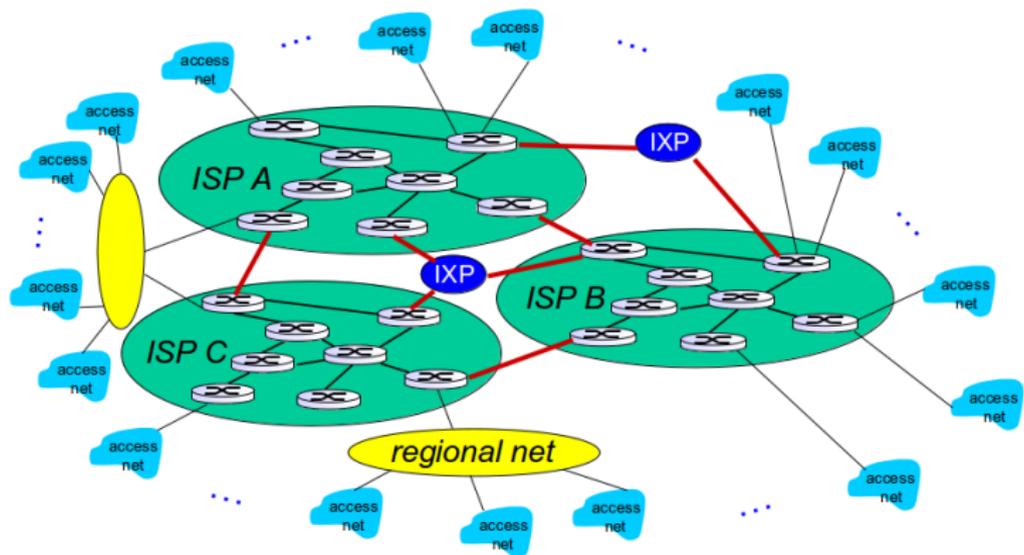
Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Q : Étant donnés des millions de FAI (je peux être FAI...), comment les connecter entre eux ?
- ▶ Possibilité : connecter les FAI à un "FAI global".
- ▶ Concurrence possible... devant être inter-connectée (Peering). (Neutralité du Net, free/google...)



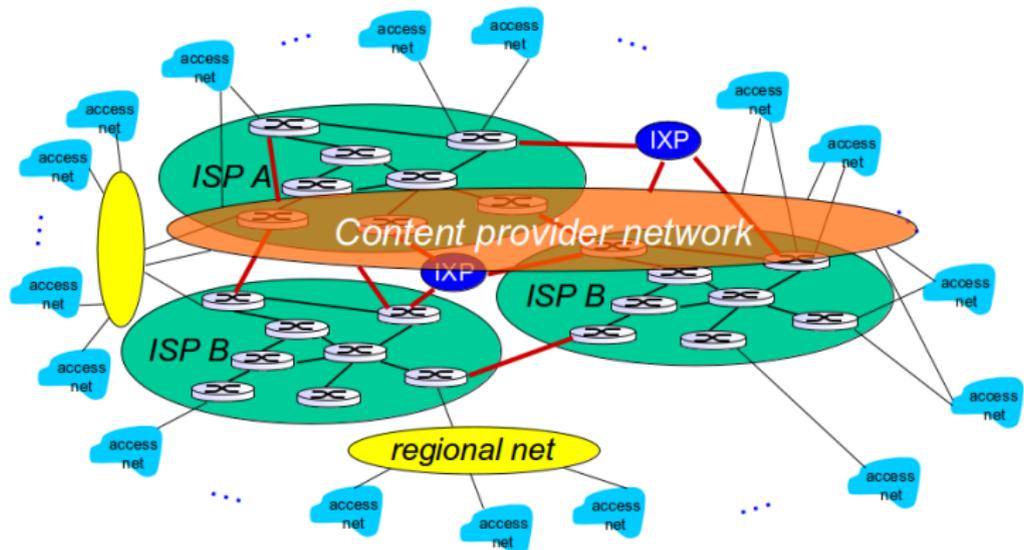
Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Q : Étant donné des millions de FAI (je peux être FAI...), comment les connecter entre eux ?
- ▶ Des FAI régionaux peuvent exister...

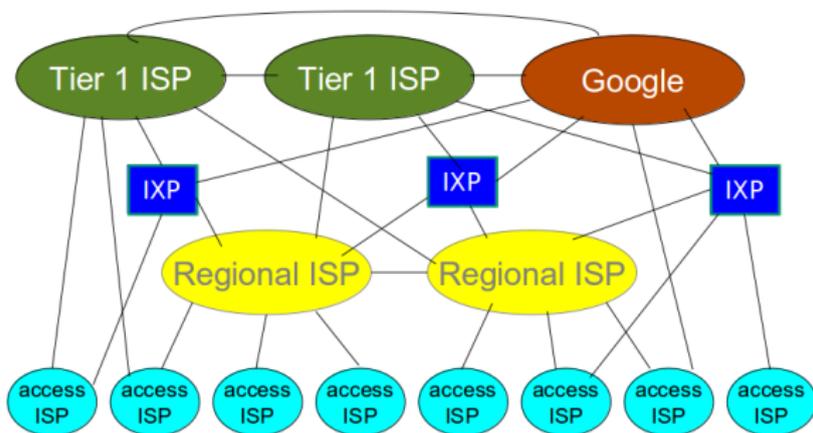


Internet : un réseau de réseaux

- ▶ Q : Étant donné des millions de FAI (je peux être FAI...), comment les connecter entre eux ?
- ▶ Des "content provider networks" (Google, Microsoft...) peuvent proposer leur propre réseau pour proposer leur services au plus proche des utilisateurs (rare en France, FAI veulent garder le contrôle).



Internet : un réseau de réseaux



- ▶ Réseau complexe.
- ▶ Un petit nombre de gros FAI très connectés (large débit).
 - ▶ Des FAI "Tier 1" commerciaux (AT&T, Sprint, NTT, Deutsche Telekom AG...)
 - ▶ Des "Content Provider Networks", offrant un réseau privé connectant leur data center à Internet, souvent en s'affranchissant des FAI Tier 1...

Neutralité du net

- ▶ Neutralité du net : transporter (dans les “tuyaux”) tous les paquets peu importe le contenu.
- ▶ Analogie :
 - ▶ Posséder une route / choisir les voitures qui l'empruntent.
 - ▶ La poste envoie le courrier sans regarder le contenu.
- ▶ Certaines applications sont gourmandes (Netflix, BitTorrent), les FAI sont tenté de “faire payer” pour un accès rapide.
- ▶ <http://youtu.be/hZnq3xg-PRM>

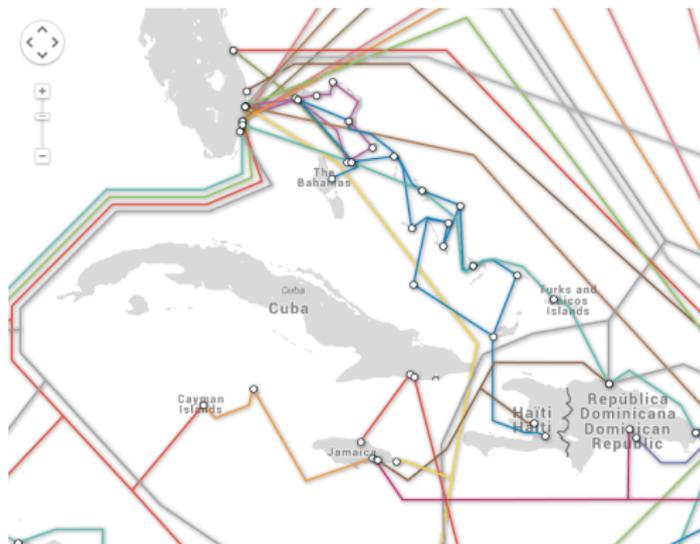
Réseau sous-marin



- ▶ En 2013, environ 99% du trafic intercontinental, données et téléphone, sont transmis sous les océans.
- ▶ En 2012, un million de kilomètres de câbles à fibre optique sont au fond de la mer.

Greg's cable map

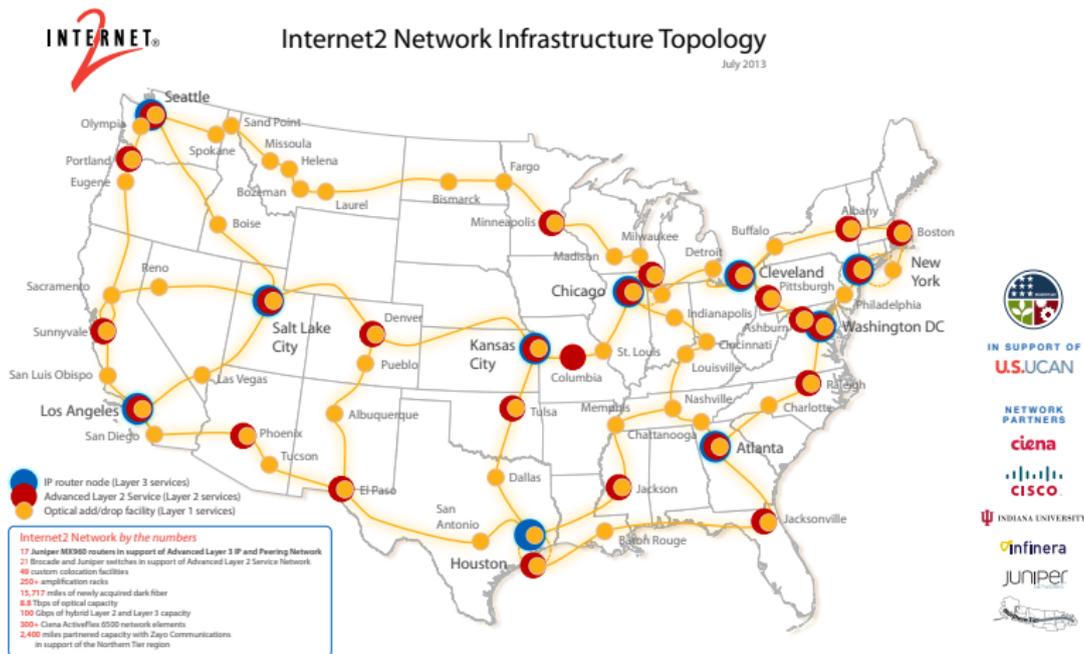
Réseau sous-marin



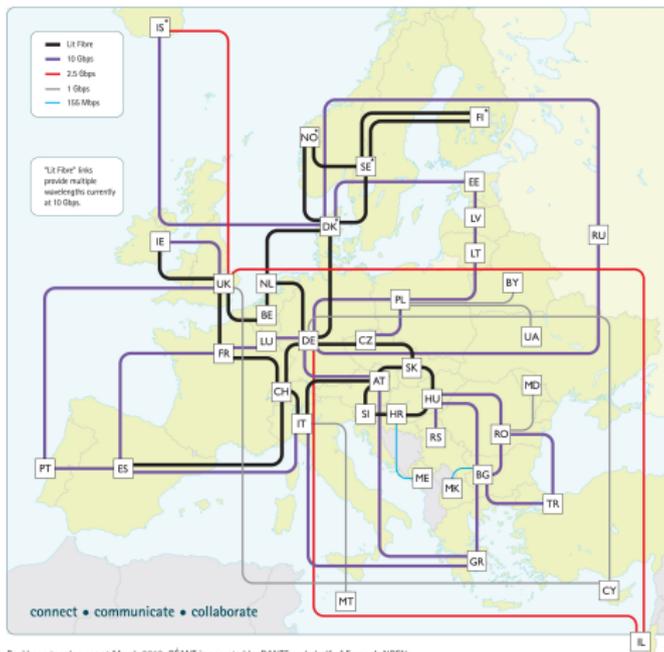
<http://www.submarinecablemap.com/>

- Pas partout :)

Un réseau pour la recherche US

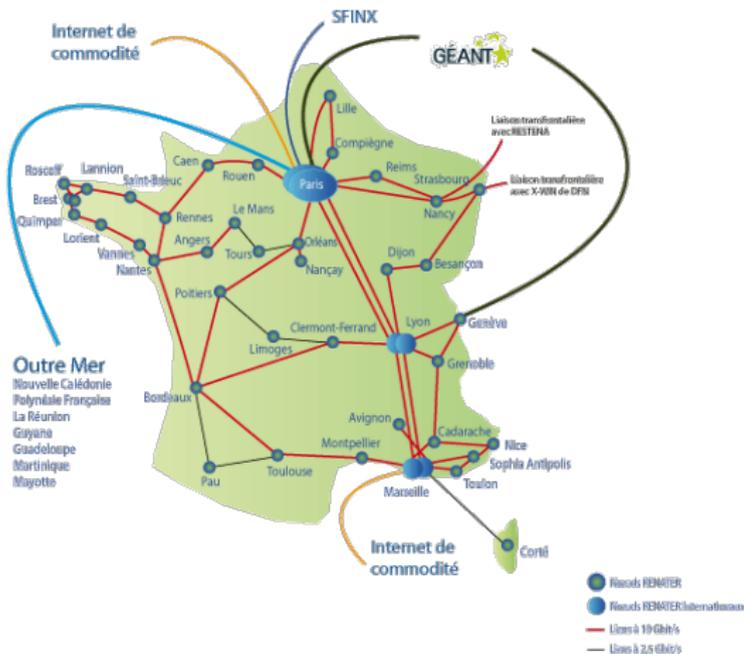


Un réseau européen pour la recherche



<http://www.geant.net>

Un réseau français pour la recherche



oct 2012

Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

Protocoles et organisation

Sécurité

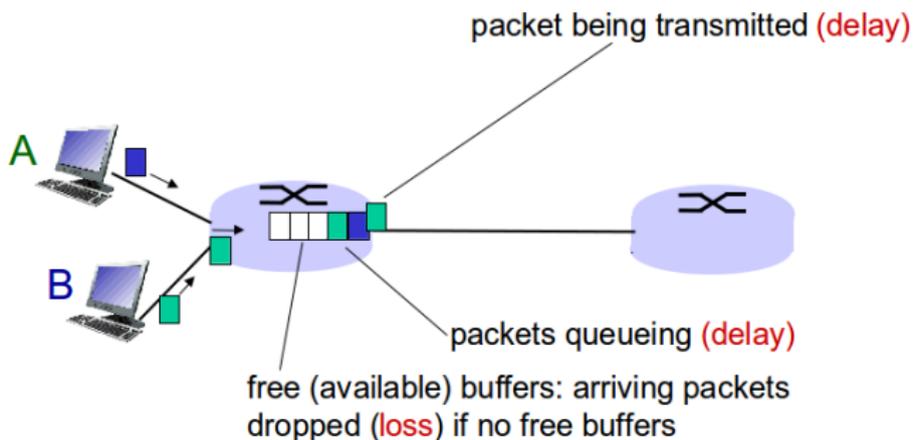
Petit historique

Délais et pertes

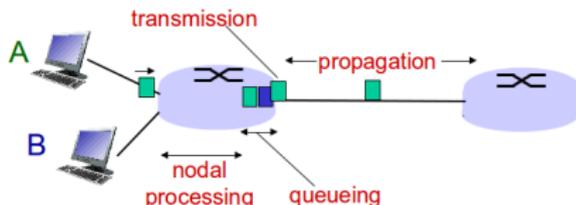
- ▶ Q : Comment peuvent survenir délais et pertes ?

Délais et pertes

- ▶ Q : Comment peuvent survenir délais et pertes ?



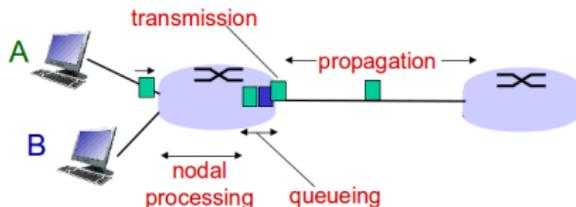
4 sources de délais



$$d_{total} = d_{trait} + d_{attente} + d_{trans} + d_{propa}$$

- ▶ d_{trait} : temps de traitement.
 - ▶ Vérifications d'erreurs (bits).
 - ▶ Déterminer la liaison de sortie.
 - ▶ Typiquement, moins d'une *ms*.

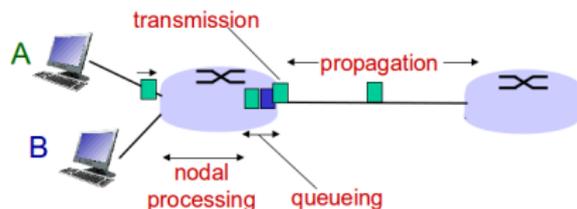
4 sources de délais



$$d_{total} = d_{trait} + d_{attente} + d_{trans} + d_{propa}$$

- ▶ $d_{attente}$: temps d'attente.
 - ▶ Temps à attendre que les paquets précédents soient traités (i.e. envoyés sur leur liaison).
 - ▶ Entre μs et plusieurs ms , selon le niveau de congestion du routeur.

4 sources de délais



$$d_{total} = d_{trait} + d_{attente} + d_{trans} + d_{propa}$$

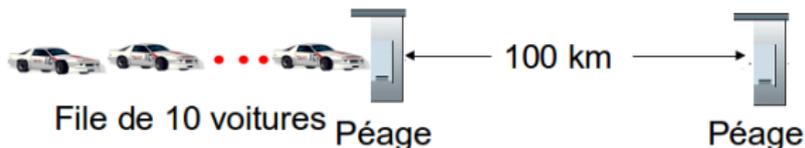
- ▶ d_{trans} : temps de transmission.
- ▶ Placer tous les bits sur la liaison.
- ▶ L : taille du paquet (bits).
- ▶ R : bande passante de la liaison (bps).
- ▶ $d_{trans} = L/R$.
- ▶ d_{trans} et d_{prop} peuvent être très différents.
- ▶ d_{prop} : temps de propagation.
- ▶ Temps du bit pour parcourir la liaison jusqu'au prochain routeur.
- ▶ d : longueur de la liaison physique (m).
- ▶ s : vitesse de propagation sur le support (m/s).
- ▶ $d_{prop} = d/s$.

Transmission et propagation

- ▶ Transmission : temps nécessaire au routeur pour se défaire du paquet pris en charge.
- ▶ Dépend de la longueur du paquet et du débit de la liaison (Ethernet 10, Ethernet 100...), indépendamment de la distance au prochain routeur.
- ▶ Propagation : liée à la distance entre les 2 routeurs et la vitesse du support (fibre, cuivre, satellite...). Non affecté par la taille du paquet.

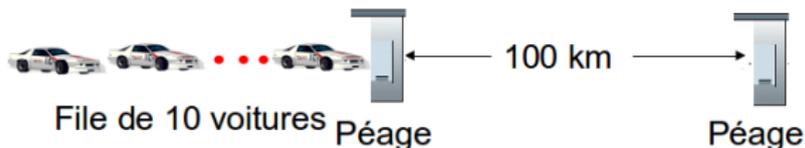
▶ Applet

Transmission et propagation - Exemple



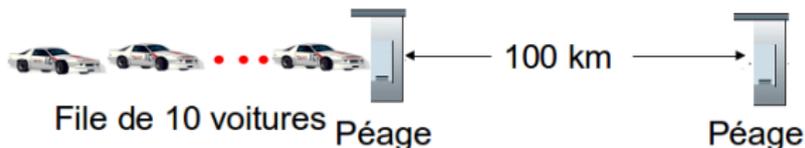
- ▶ Autoroute, péages distants de 100 kms. Tronçon \sim liaison, péage \sim routeur.
- ▶ Une file indienne de 10 voitures. 1 voiture \sim bit, file \sim paquet.
- ▶ Vitesse des voitures : 100 km/h.
- ▶ Un péage traite une voiture en 12 secondes.
- ▶ La voiture de tête doit attendre les 9 autres lorsqu'il arrive à un péage.

Transmission et propagation - Exemple



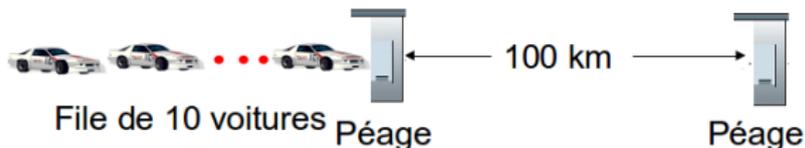
- ▶ Autoroute, péages distants de 100 kms. Tronçon \sim liaison, péage \sim routeur.
- ▶ Une file indienne de 10 voitures. 1 voiture \sim bit, file \sim paquet.
- ▶ Vitesse des voitures : 100 km/h.
- ▶ Un péage traite une voiture en 12 secondes.
- ▶ La voiture de tête doit attendre les 9 autres lorsqu'il arrive à un péage.
- ▶ Q : En combien de temps la file est reformée au second péage ?

Transmission et propagation - Exemple



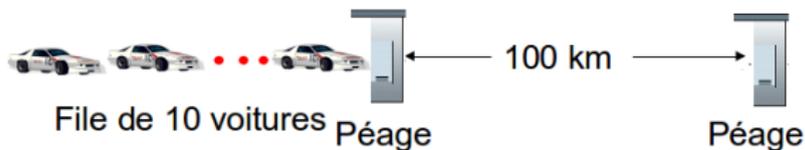
- ▶ Autoroute, péages distants de 100 kms. Tronçon \sim liaison, péage \sim routeur.
- ▶ Une file indienne de 10 voitures. 1 voiture \sim bit, file \sim paquet.
- ▶ Vitesse des voitures : 100 km/h.
- ▶ Un péage traite une voiture en 12 secondes.
- ▶ La voiture de tête doit attendre les 9 autres lorsqu'il arrive à un péage.
- ▶ Q : En combien de temps la file est reformée au second péage ?
- ▶ Temps pour le premier péage de traiter la file : $12 \cdot 10 = 120s$.
- ▶ Temps pour la dernière voiture de se propager d'un péage à l'autre : $100km/100kmh = 1h$.

Transmission et propagation - Exemple



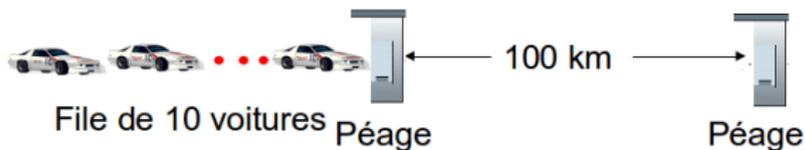
- ▶ Autoroute, péages distants de 100 kms. Tronçon \sim liaison, péage \sim routeur.
- ▶ Une file indienne de 10 voitures. 1 voiture \sim bit, file \sim paquet.
- ▶ Vitesse des voitures : 100 km/h.
- ▶ Un péage traite une voiture en 12 secondes.
- ▶ La voiture de tête doit attendre les 9 autres lorsqu'il arrive à un péage.
- ▶ Q : En combien de temps la file est reformée au second péage ?
- ▶ Temps pour le premier péage de traiter la file : $12 \cdot 10 = 120s$.
- ▶ Temps pour la dernière voiture de se propager d'un péage à l'autre : $100km/100kmh = 1h$.
- ▶ 62 minutes.

Transmission et propagation - Exemple (Suite)



- ▶ Autoroute, péages distants de 100 kms. Tronçon \sim liaison, péage \sim routeur.
- ▶ Une file indienne de 10 voitures. 1 voiture \sim bit, file \sim paquet.
- ▶ Vitesse des voitures : **1000** km/h.
- ▶ Un péage traite une voiture en **1 min**.
- ▶ La voiture de tête doit attendre les 9 autres lorsqu'il arrive à un péage.
- ▶ Q : Des voitures en attente au second péage avant que toutes les voitures soient passées au premier ?

Transmission et propagation - Exemple (Suite)



- ▶ Autoroute, péages distants de 100 kms. Tronçon \sim liaison, péage \sim routeur.
- ▶ Une file indienne de 10 voitures. 1 voiture \sim bit, file \sim paquet.
- ▶ Vitesse des voitures : **1000** km/h.
- ▶ Un péage traite une voiture en **1 min**.
- ▶ La voiture de tête doit attendre les 9 autres lorsqu'il arrive à un péage.
- ▶ Q : Des voitures en attente au second péage avant que toutes les voitures soient passées au premier ?
- ▶ Oui. 6 minutes de propagation. Après 7 minutes, la première voiture arrive au second péage alors que 3 voitures restent au premier.
- ▶ Arrive sur Internet.

Temps d'attente

- ▶ R : bande passante (bps).
- ▶ L : taille du paquet (bits).
- ▶ a : taux moyen d'arrivée de paquets.



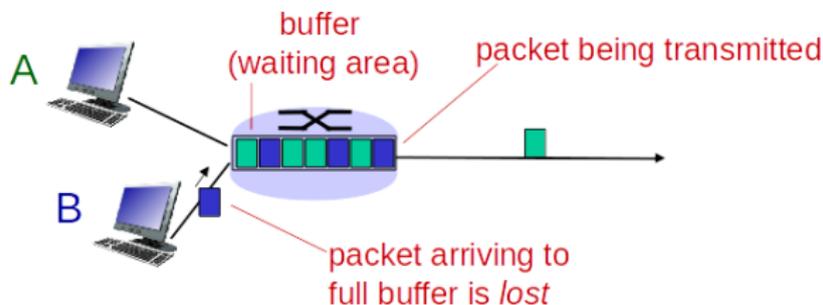
- ▶ $La/R \sim 0$: temps d'attente moyen faible.
- ▶ $La/R \rightarrow 1$: temps d'attente moyen élevé.
- ▶ $La/R > 1$: perte de paquets (peut être retransmis par routeur précédent, le système, ou personne...).



▶ [Link](#)

Perte de paquet

- ▶ Les buffers ont une capacité finie.
- ▶ Les paquets qui arrivent sur un buffer plein sont supprimés, perdus.
- ▶ Retransmission par le routeur précédent, la source, ou personne.

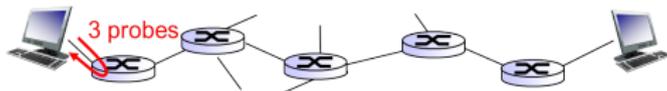


Délais et routes sur Internet

- ▶ traceroute (tracert sous windows, ou tracertoute.org/) programme donnant le chemin (en terme de routeurs) entre une source et une destination sur Internet, avec mesure de délai (RFC 1393). Voir aussi visualroute.
- ▶ Tant que la destination n'est pas atteinte :
 - ▶ La source envoie un paquet (UDP par défaut) vers la destination avec un Time To Live (TTL) de plus en plus grand (commence à 1).
 - ▶ Chaque routeur sur le chemin décrémente le TTL et transmet.
 - ▶ Si $TTL = 0$, renvoie un paquet vers la source.
 - ▶ L'expéditeur mesure le temps entre la transmission et la réponse.

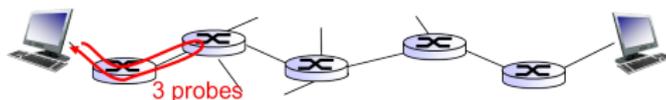
Délais et routes sur Internet

- ▶ traceroute (tracert sous windows, ou traceroute.org/) programme donnant le chemin (en terme de routeurs) entre une source et une destination sur Internet, avec mesure de délai (RFC 1393). Voir aussi visualroute.
- ▶ Tant que la destination n'est pas atteinte :
 - ▶ La source envoie un paquet (UDP par défaut) vers la destination avec un Time To Live (TTL) de plus en plus grand (commence à 1).
 - ▶ Chaque routeur sur le chemin décrémente le TTL et transmet.
 - ▶ Si $TTL = 0$, renvoie un paquet vers la source.
 - ▶ L'envoyeur mesure le temps entre la transmission et la réponse.



Délais et routes sur Internet

- ▶ traceroute (tracert sous windows, ou tracertoute.org/) programme donnant le chemin (en terme de routeurs) entre une source et une destination sur Internet, avec mesure de délai (RFC 1393). Voir aussi visualroute.
- ▶ Tant que la destination n'est pas atteinte :
 - ▶ La source envoie un paquet (UDP par défaut) vers la destination avec un Time To Live (TTL) de plus en plus grand (commence à 1).
 - ▶ Chaque routeur sur le chemin décrémente le TTL et transmet.
 - ▶ Si $TTL = 0$, renvoie un paquet vers la source.
 - ▶ L'envoyeur mesure le temps entre la transmission et la réponse.



Délais et routes sur Internet

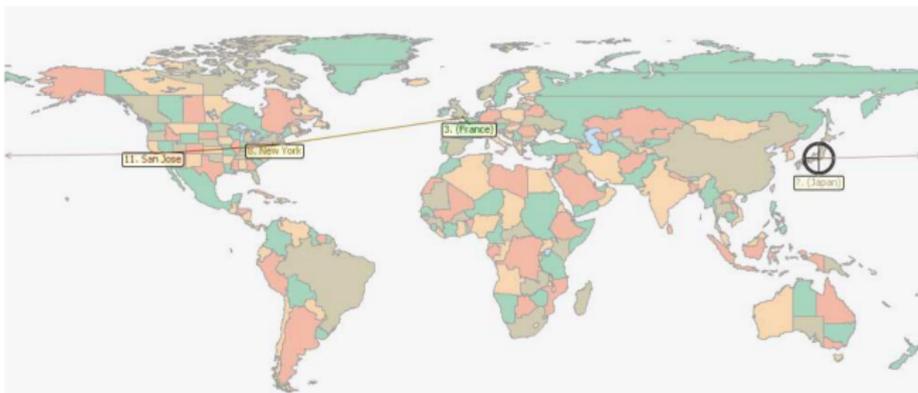
- ▶ traceroute (tracert sous windows, ou tracertoute.org/) programme donnant le chemin (en terme de routeurs) entre une source et une destination sur Internet, avec mesure de délai (RFC 1393). Voir aussi visualroute.
- ▶ Tant que la destination n'est pas atteinte :
 - ▶ La source envoie un paquet (UDP par défaut) vers la destination avec un Time To Live (TTL) de plus en plus grand (commence à 1).
 - ▶ Chaque routeur sur le chemin décrémente le TTL et transmet.
 - ▶ Si $TTL = 0$, renvoie un paquet vers la source.
 - ▶ L'envoyeur mesure le temps entre la transmission et la réponse.



Délais et routes sur Internet

- ▶ Exemple de traceroute entre un ordinateur à Paris et le site Toyota.jp (Japon).
- ▶ Chemin peut être différent à chaque fois.

Délais et routes sur Internet



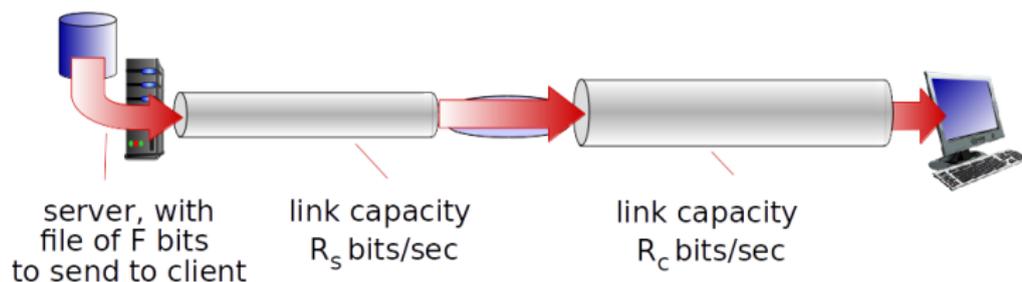
Etape	%Pour	Adresse IP	Nom domaine	Lieu	F.horaire	ms	Graphique	Réseau
0		192.168.47.1	Lohier-PC			0		310 Local Network
1		192.168.1.1	DD-WRT			1		Local Network
2		10.109.128.1	-			7		Local Network
3	14	80.236.9.113	jp-113.net-80-236-9.asnieres.rev.r	(France)?		8		NC NUMERICABLE S.A
4		80.236.7.197	jp-197.net-80-236-7.static.numericable.fr	(France)?		9		NC NUMERICABLE S.A
5		4.69.139.193	ae-23-51.ebr1.Paris1.Level3.net	Paris, France		10		Level 3 Communications, Inc.
6		4.69.143.101	ae-45-45.ebr1.London1.Level3.net	London, UK		17		Level 3 Communications, Inc.
7		4.69.141.166	ae-100-100.ebr2.London1.Level3.net	London, UK		20		Level 3 Communications, Inc.
8		4.69.137.74	ae-43-43.ebr1.NewYork1.Level3.net	New York, NY, USA	-05:00	86		Level 3 Communications, Inc.
9	45	4.69.134.76	ae-91-91.csw4.NewYork1.Level3.net	New York, NY, USA	-05:00	88		Level 3 Communications, Inc.
10		4.69.148.45	ae-92-92.ebr2.NewYork1.Level3.net	New York, NY, USA	-05:00	90		Level 3 Communications, Inc.
11		4.69.135.185	ae-2-2.ebr4.SanJose1.Level3.net	San Jose, CA, USA	-08:00	155		Level 3 Communications, Inc.
12		4.69.134.246	ae-74-74.csw7.SanJose1.Level3.net	San Jose, CA, USA	-08:00	158		Level 3 Communications, Inc.
13		4.68.18.75	ae-11-79.car1.SanJose2.Level3.net	San Jose, CA, USA	-08:00	160		Level 3 Communications, Inc.
14		4.59.0.10	KDDI-AMERIC.car1.SanJose2.Level3.net	San Jose, CA, USA	-08:00	170		Level 3 Communications, Inc.
15		124.211.34.121	pacbb001.kddnet.ad.jp	(Japan)?		161		KDDI CORPORATION
16		203.181.100.77	otajbb203.kddnet.ad.jp	(Japan)?		281		Japan Network Information Center
17		210.234.225.90	sjk@BAC05.bb.kddi.ne.jp	(Japan)?		284		Japan Network Information Center
18		118.152.253.74	ngy@BAC01.bb.kddi.ne.jp	(Japan)?		298		The whole IPv4 address space
19		118.152.254.230	ngybb201.kddnet.ad.jp	(Japan)?		291		The whole IPv4 address space
20	25	210.132.125.218	cm-nag208.kddnet.ad.jp	(Japan)?		283		Japan Network Information Center
21		125.29.29.146	-	(Japan)?		298		KDDI CORPORATION
22		125.29.33.130	-	(Japan)?		287		KDDI CORPORATION
?	100
?	100	125.29.33.201	www.toyota.jp	(Japan)?				KDDI CORPORATION

Délais et routes sur Internet

- ▶ Tous les routeurs ont un nom, certains une adresse.
- ▶ On repère un lien trans-océanique (majorité du trafic Internet passe par les USA).
- ▶ * : Pas de réponse.

Débit

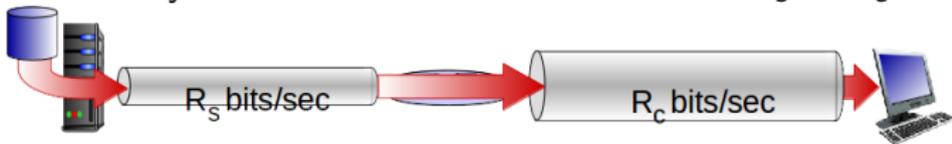
- ▶ **Débit** : taux (bits/temps) auquel les bits sont transférés entre l'émetteur et le receveur.
 - ▶ Instantané : taux à un moment précis.
 - ▶ En moyenne : taux sur une période de temps donné.



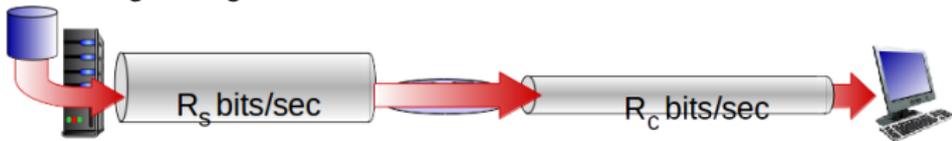
- ▶ Similaire à un fluide qui s'écoule dans des tuyaux.

Débit

- ▶ Débit moyen entre émetteur et receveur si $R_s < R_c$?

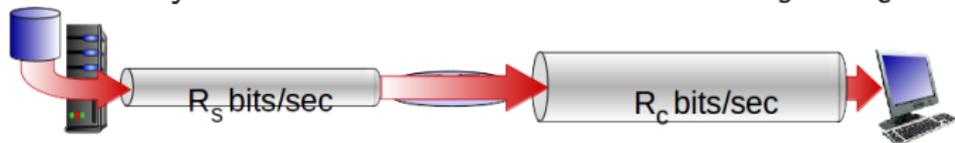


- ▶ Et si $R_c < R_s$?

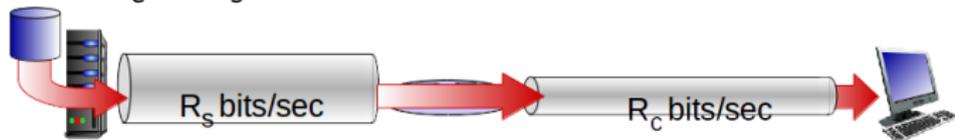


Débit

- ▶ Débit moyen entre émetteur et receveur si $R_s < R_c$?



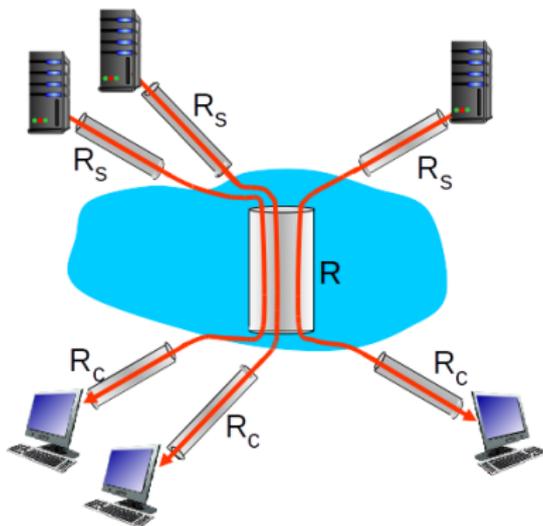
- ▶ Et si $R_c < R_s$?



- ▶ Le goulet d'étranglement est le lien sur le chemin qui limite le plus le débit.

Débit - Internet

- ▶ Plusieurs clients et serveur partagent une connexion centrale (internet).
- ▶ Ce qui va limiter sera la minimum entre R_S , R_C et $R/users$.
- ▶ En pratique, R_C ou R_S est le goulet.



Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

Protocoles et organisation

Sécurité

Petit historique

Organisation

- ▶ Les réseaux sont complexes, avec beaucoup d'acteurs
 - ▶ Différent hôtes.
 - ▶ Routeurs.
 - ▶ Liaisons de différent types.
 - ▶ Différentes applications.
 - ▶ Protocoles.
 - ▶ ...

Organisation

- ▶ Les réseaux sont complexes, avec beaucoup d'acteurs
 - ▶ Différent hôtes.
 - ▶ Routeurs.
 - ▶ Liaisons de différent types.
 - ▶ Différentes applications.
 - ▶ Protocoles.
 - ▶ ...
- ▶ Peut-on structurer l'architecture de réseau ?

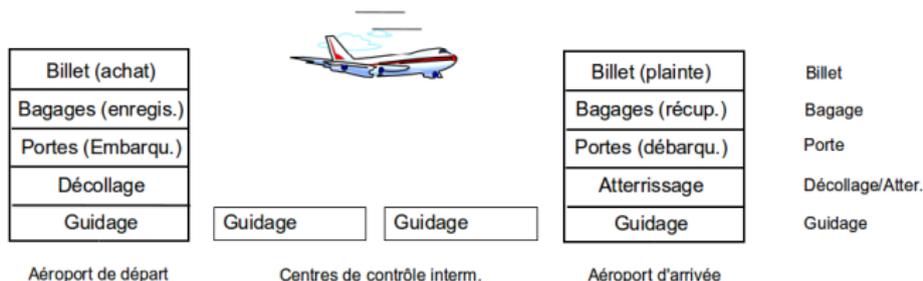
Voyages aériens

- ▶ Transfert de passagers (paquets) d'un point à un autre.
- ▶ Certaine structure, série d'étapes.



Voyages aériens

- ▶ Certaine symétrie.



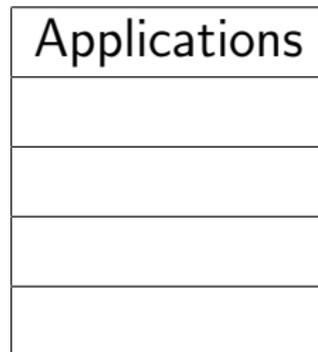
- ▶ Différentes couches, ayant un certain service.
- ▶ Fonction embarquement est “en-dessous” de l’enregistrement, mais “au-dessus” du décollage/atterrissage.
- ▶ Entre couche billet et dernière couche : prise en charge totale du transport de voyageur.
- ▶ A partir de la couche bagages, c’est le transport d’un voyageur ayant déjà son billet.
- ▶ Une couche rend en service, avec des actions propres, et en capitalisant sur les services sous-jacents.

Couches

- ▶ L'utilisation de couches permet de gérer des réseaux complexes.
- ▶ Identification des relations entre différents éléments.
- ▶ Modularisation, pour une maintenance et mise à niveau plus facile.
 - ▶ Changer l'implémentation d'une couche est transparente pour le reste du système.
 - ▶ Par ex., changer la procédure d'embarquement (embarquement en fonction de l'âge) n'affecte pas le reste du système.

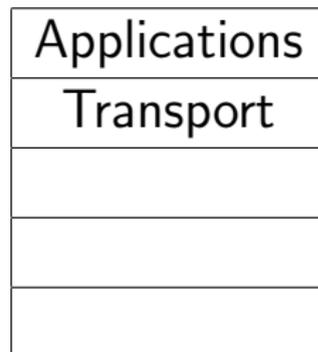
Pile de protocoles Internet

- ▶ Application : execution d'applications réseau (FTP, HTTP, SMTP...)



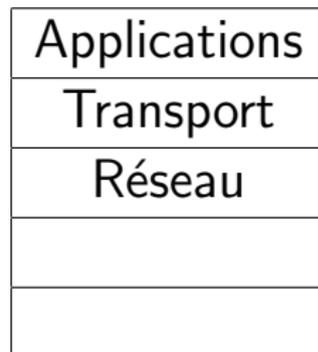
Pile de protocoles Internet

- ▶ Application : execution d'applications réseau (FTP, HTTP, SMTP...)
- ▶ Transports : Transporte un message de la couche applications entre les terminaux de deux hôtes pour une application donnée. Pour Internet, UDP et TCP.



Pile de protocoles Internet

- ▶ Application : execution d'applications réseau (FTP, HTTP, SMTP...)
- ▶ Transports : Transporte un message de la couche applications entre les terminaux de deux hôtes pour une application donnée. Pour Internet, UDP et TCP.
- ▶ Réseau : Acheminement, routage de datagrammes entre deux hôtes. IP.



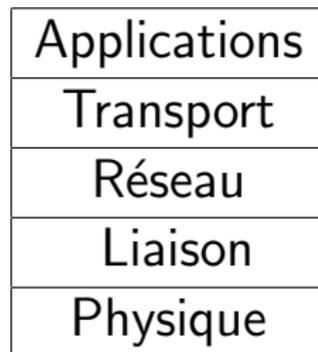
Pile de protocoles Internet

- ▶ Application : execution d'applications réseau (FTP, HTTP, SMTP...)
- ▶ Transports : Transporte un message de la couche applications entre les terminaux de deux hôtes pour une application donnée. Pour Internet, UDP et TCP.
- ▶ Réseau : Acheminement, routage de datagrammes entre deux hôtes. IP.
- ▶ Liaison : Transfert de données entre deux nœuds. Ethernet, 802.111 (WiFi)...



Pile de protocoles Internet

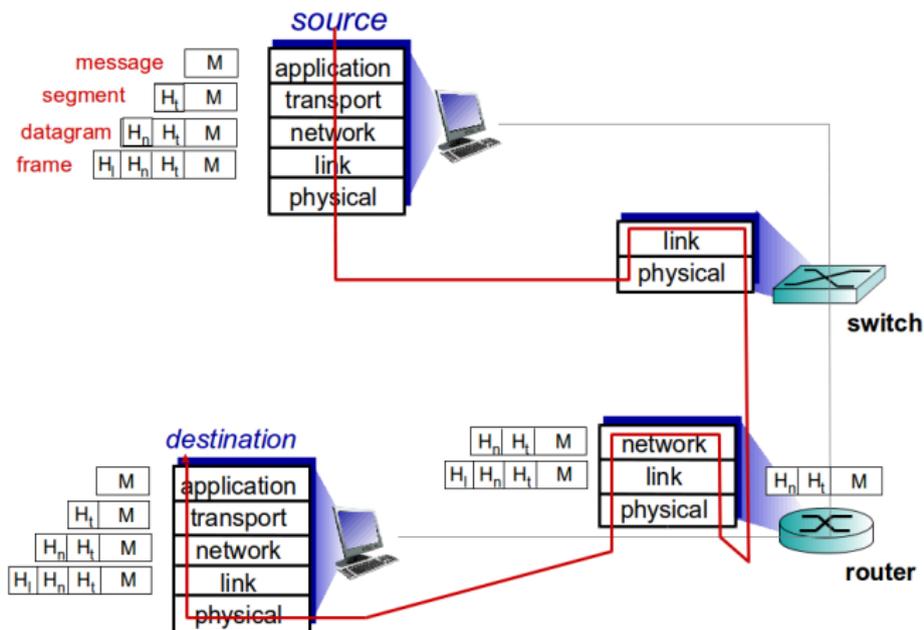
- ▶ Application : execution d'applications réseau (FTP, HTTP, SMTP...)
- ▶ Transports : Transporte un message de la couche applications entre les terminaux de deux hôtes pour une application donnée. Pour Internet, UDP et TCP.
- ▶ Réseau : Acheminement, routage de datagrammes entre deux hôtes. IP.
- ▶ Liaison : Transfert de données entre deux nœuds. Ethernet, 802.111 (WiFi)...
- ▶ Physique : Véhicule un bit individuellement d'un nœud à l'autre.



Pile de protocoles

- ▶ Le modèle de référence ISO/OSI décompose la couche applications en 3 :
 - ▶ Applications
 - ▶ Présentation : interprétation des données (cryptage, compression...)
 - ▶ Session : Point de synchronisation.
- ▶ Il n'y a pas ce découpage pour Internet...

Encapsulation



- ▶ Couche Transport transmet à la couche IP un segment + une adresse. IP expédie à destination, où il remet à la couche Transport.
- ▶ La couche Réseau remet un datagramme à la couche Liaison, qui transmet au nœud suivant, où Liaison remet à Réseau.

Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

Protocoles et organisation

Sécurité

Petit historique

Sécurité

- ▶ Domaine de la sécurité :
 - ▶ Comment des gens mal intentionnés peuvent attaquer un réseau.
 - ▶ Comment se défendre contre ces attaques.
 - ▶ Comment construire des architecture “immunes” à ces attaques.
- ▶ Internet conçu sans beaucoup de sécurité...

Sécurité

- ▶ Domaine de la sécurité :
 - ▶ Comment des gens mal intentionnés peuvent attaquer un réseau.
 - ▶ Comment se défendre contre ces attaques.
 - ▶ Comment construire des architecture "immunes" à ces attaques.
- ▶ Internet conçu sans beaucoup de sécurité...
 - ▶ Vision originelle : un groupe de personnes se faisant mutuellement confiance, attachés à un réseau transparent (1970 : no-password <http://youtu.be/wr-9g0T4jpk>).



Sécurité

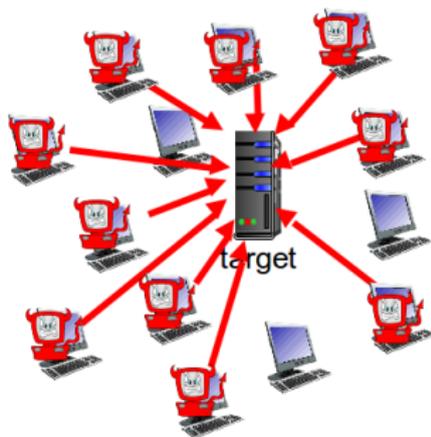
- ▶ Domaine de la sécurité :
 - ▶ Comment des gens mal intentionnés peuvent attaquer un réseau.
 - ▶ Comment se défendre contre ces attaques.
 - ▶ Comment construire des architecture “immunes” à ces attaques.
- ▶ Internet conçu sans beaucoup de sécurité...
 - ▶ Vision originelle : un groupe de personnes se faisant mutuellement confiance, attachés à un réseau transparent (1970 : no-password <http://youtu.be/wr-9g0T4jpk>).
 - ▶ Des problèmes de sécurité **à toutes les couches**.

Infecter des hôtes

- ▶ Infecter un hôte.
 - ▶ virus : une infection s'auto-répliquant en recevant/executant un objet (email, pièce jointe...)
 - ▶ vers : une infection s'auto-répliquant en recevant passivement un objet qui est lui-même exécuté.
- ▶ Peut enregistrer un clavier, des sites visités, uploader de l'information...
- ▶ Un hôte infecté peut participer (sans le savoir) à un botnet, utilisé pour le spam, des attaques DDoS...

Attaquer un serveur, un réseau

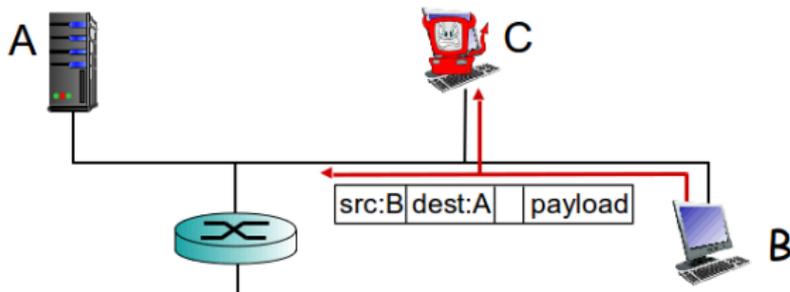
- ▶ Denial of Service (DoS) : l'attaquant rend inaccessible des ressources (serveur, bande passante...) au trafic légitime en l'accaparant.
 1. Choisir une cible.
 2. Choisir une série d'hôte dans le réseau (botnet...)
 3. Envoyer des paquets depuis les hôtes à la cible.



Introduction

Sniffing

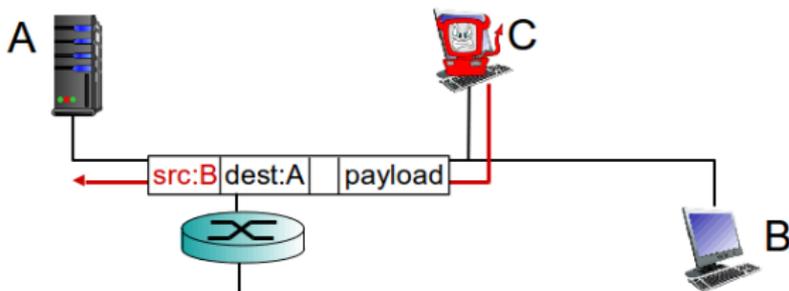
- ▶ Sur un support partagé.
- ▶ Lire/enregistrer tous les paquets qui passent.



- ▶ Wireshark...

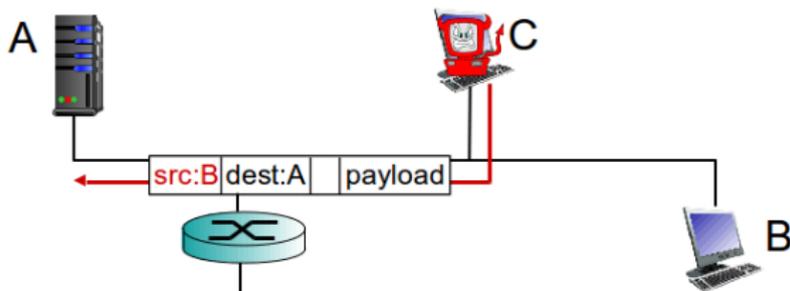
IP Spoofing (usurpation)

- ▶ Envoyer un paquet avec une fausse source.
- ▶ Se faire passer pour quelqu'un d'autre (bénéficiaire de ses services, se cacher...)



IP Spoofing (usurpation)

- ▶ Envoyer un paquet avec une fausse source.
- ▶ Se faire passer pour quelqu'un d'autre (bénéficiaire de ses services, se cacher...)



- ▶ D'autres vulnérabilité et protections plus tard...

Cours 1 : Introduction générale

Qu'est-ce qu'Internet

Les éléments du réseau

Fonctionnement du réseau

Délais et pertes

Protocoles et organisation

Sécurité

Petit historique

Contexte

- ▶ Q : Date du premier ordinateur produit en “grande” quantité (avant que un seul modèle) ?

Contexte

- ▶ Q : Date du premier ordinateur produit en “grande” quantité (avant que un seul modèle) ?
- ▶ 1951 : UNIVAC (Presper Eckert, Mauchly), cinquantaine de modèles et disponible à l'achat (une compagnie d'assurance est le premier client non-gouvernemental à en acheter un en 1952).
- ▶ 13 tonnes, 35 m^2 au sol.
- ▶ 1905 opérations par secondes (un smartphone à 1Ghz en fait plus d'un milliard).
- ▶ Input : cassette bande magnétique.
- ▶ Output : machine à écrire.
- ▶ Mémoire à base de tubes de mercures.

UNIVAC

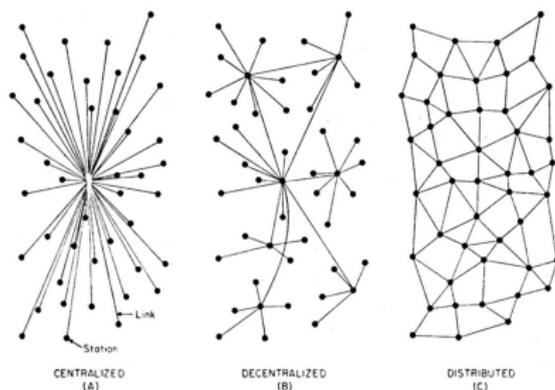


Premières années

- ▶ 1957 : L'URSS envoie un satellite dans l'espace. USA traumatisés. Formation de l'ARPA (Advanced Research Project Agency) : scientifiques chargés de concevoir des innovations techno. pour l'armée.

Premières années

- ▶ 1957 : L'URSS envoie un satellite dans l'espace. USA traumatisés. Formation de l'ARPA (Advanced Research Project Agency) : scientifiques chargés de concevoir des innovations techno. pour l'armée.
- ▶ 1962 : L'US Air Force demande à concevoir un réseau capable de résister à une frappe nucléaire (pour pouvoir riposter, bien sûr...).
- ▶ Paul Baran propose l'idée d'un réseau décentralisé. Refusé dans un premier temps...

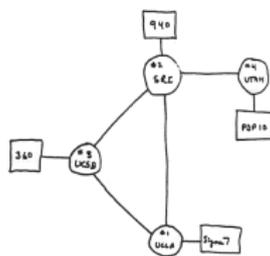


Premières années

- ▶ Plus grand réseau de télécommunication de l'époque : téléphone. Commutation par circuits.
- ▶ Plusieurs groupes réfléchissent indépendamment à la commutation par paquets.

Premières années

- ▶ Plus grand réseau de télécommunication de l'époque : téléphone. Commutation par circuits.
- ▶ Plusieurs groupes réfléchissent indépendamment à la commutation par paquets.
- ▶ 1969 : ARPAnet. Premier réseau décentralisé entre 4 centres univ. des USA reliés par des cables 50Kbps.
- ▶ “Date de naissance” d'Internet : date de la première RFC, 7 avril 1969 (RFC 1).
- ▶ Première application : telnet (login à distance).
 - ▶ 1ers chars envoyés : LOL (LO de LOGIN, crash, puis LOGIN).



THE ARPA NETWORK

DEC 1969

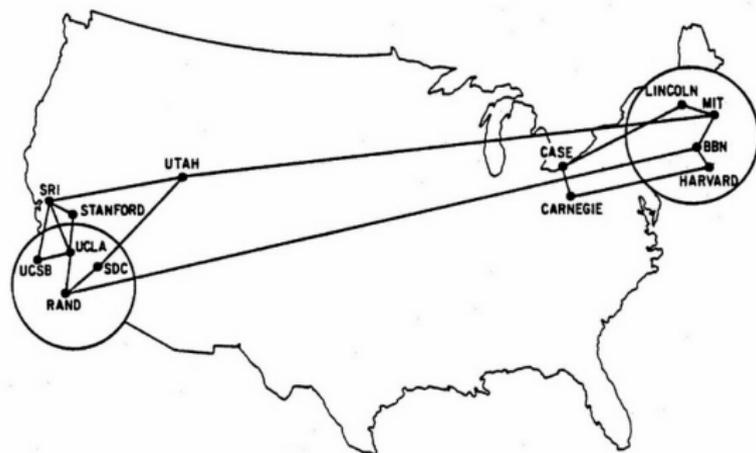


Premières années



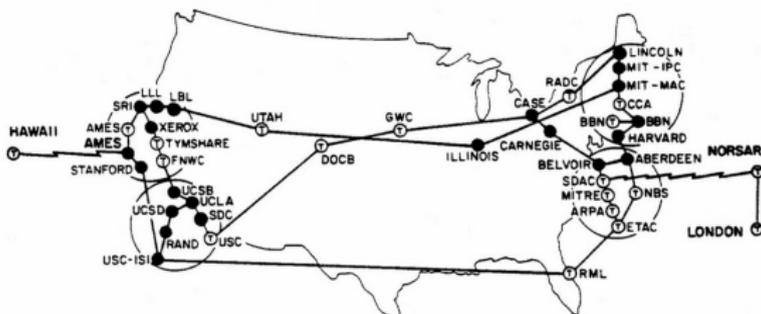
The ARPANET in December 1969

Premières années - fin 1970



- ▶ Chaque sommet a un routeur coutant 500 000\$ en monnaie actuelle.

Premières années - 1973



- ▶ Liaison satellite avec Hawaï, Londres et la Norvège.

Premières années

- ▶ Premier programme de courrier électronique (Ray Tomlinson).
Voulait à la base un système permettant de laisser un “post-it”
à un autre utilisateur de la même machine. Choisit l'arobase @.

Premières années

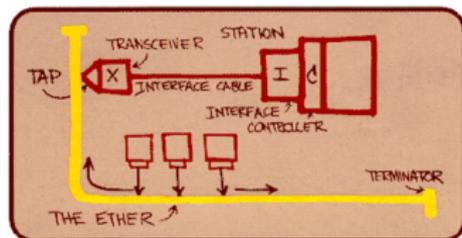
- ▶ Premier programme de courrier électronique (Ray Tomlinson).
Voulait à la base un système permettant de laisser un “post-it”
à un autre utilisateur de la même machine. Choisit l’arobase @.
- ▶ Premier message télégraphique (S. Morse) : “What hath God
wrought?”.
- ▶ Premier message téléphonique (A. Bell) : “Mr. Watson, come
here; I want to see you”.

Premières années

- ▶ Premier programme de courrier électronique (Ray Tomlinson).
Voulait à la base un système permettant de laisser un “post-it”
à un autre utilisateur de la même machine. Choisit l’arobase @.
- ▶ Premier message télégraphique (S. Morse) : “What hath God
wrought?”.
- ▶ Premier message téléphonique (A. Bell) : “Mr. Watson, come
here; I want to see you”.
- ▶ Premier email... Probablement “QWERTYUIOP” ...

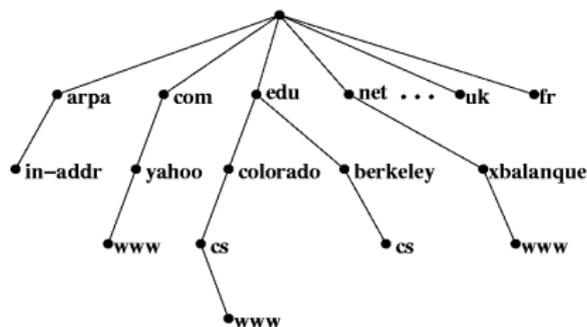
Premières années

- ▶ Années 70 : apparition de nombreux réseaux, non connectés entre eux.
- ▶ 1974 : travaux financés par l'(D)ARPA pour un réseau de réseaux, prémisses de TCP/IP (V. Cerf, R. Kahn).
- ▶ 1976 : Ethernet au PARC de XEROX (Metcalfe).
 - ▶ Aussi à XEROX la souris, l'interface graphique...
 - ▶ Apparaît "étonnamment" dans les ordis Apple après une visite de Jobs en 79.



80's : prolifération

- ▶ Jusqu'alors, informations noms ↔ machines contenues dans un fichier hosts.txt, maintenu et stocké à Stanford.
- ▶ Chaque administrateur d'une machine d'ARPAnet doit envoyer ses modifications à Stanford, qui centralise, met à jour et redistribue.
- ▶ 1983 : DNS (RFC 882,883). Base de données distribuée, divisée en zones. On y reviendra.

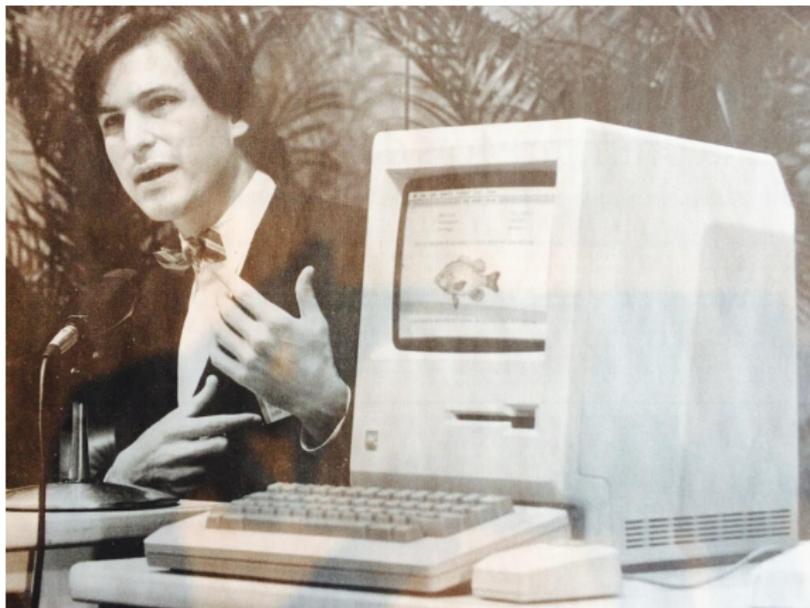


80's : prolifération

- ▶ 1982 : définition de SMTP.
- ▶ 1985 : FTP.
- ▶ Envoi d'emails en "store and forward" : il faut spécifier le chemin et donc connaître le réseau.

80's : prolifération

- ▶ 1982 : définition de SMTP.
- ▶ 1985 : FTP.
- ▶ Envoi d'emails en "store and forward" : il faut spécifier le chemin et donc connaître le réseau.
- ▶ 1984 : Premier Macintosh.



80's : prolifération

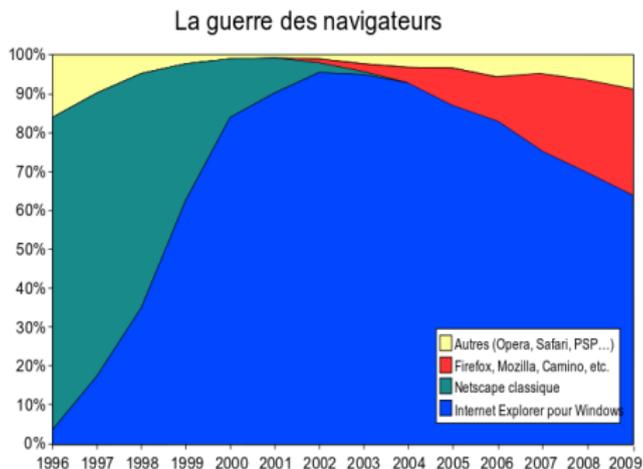
- ▶ D'autres réseaux nationaux comme Minitel (commutation par paquets).
 - ▶ La France pense qu'Internet est destiné qu'au milieu académique. Le Minitel représente le futur.
 - ▶ Terminaux gratuits. Milieu des 90's : 20% de la population touchée (lorsque peu d'américains connaissent Internet).
 - ▶ 1996, commerce en ligne sur minitel de 12.6 milliards de francs, 20 000 services, 10 000 employés.
- ▶ 1986 : INRIA premier connecté français à Internet (premier .fr).
- ▶ Fin des années 80 : 100 000 nœuds connectés à une "confédération" de réseaux.

90's : boom

- ▶ Début des années 90 : World Wide Web (CERN). 1992 : 200 serveurs web.
- ▶ 1993 : premiers FAI grand public.
- ▶ 1993 : premier navigateur grand public, Mosaic (plus tard netscape), avec interface graphique et reconnaissance de la balise ``.
- ▶ 1996 : premier navigateur de Microsoft : guerre des navigateurs.

90's : première guerre des navigateurs

- ▶ 1998 : Netscape lance Mozilla, un groupe devant produire un navigateur libre et gratuit, que Netscape pourrait récupérer. Netscape racheté par AOL. Mozilla décide de toute ré-écrire (en java...) et tarde : Mozilla 1.0 en 2002. Microsoft profite de son monopole d'OS.
- ▶ 2003 : AOL arrête Netscape.
- ▶ 2003 : Firefox, projet libre...



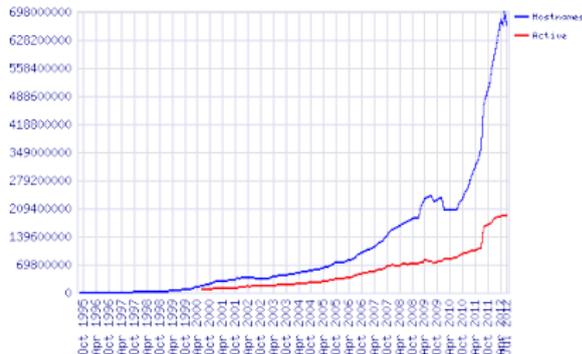
90's : première guerre des navigateurs

- ▶ 1998 : Netscape lance Mozilla, un groupe devant produire un navigateur libre et gratuit, que Netscape pourrait récupérer. Netscape racheté par AOL. Mozilla décide de toute ré-écrire (en java...) et tarde : Mozilla 1.0 en 2002. Microsoft profite de son monopole d'OS.
- ▶ 2003 : AOL arrête Netscape.
- ▶ 2003 : Firefox, projet libre...



Fin 90's, début 2000

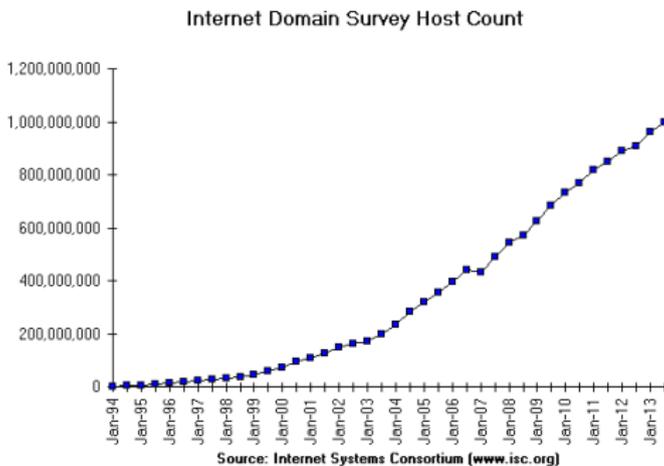
- ▶ 1998 : 2 millions de sites.
- ▶ 1999 : WiFi.
- ▶ Des applications "incontournables" :
 - ▶ Courrier électronique sophistiqué, messagerie en ligne.
 - ▶ WEB avec commerce électronique.
 - ▶ Messagerie instantanée (ICQ).
 - ▶ Peer-to-peer (Napster).
- ▶ Questions de sécurité émergent.
- ▶ 2000 : 20 millions de sites (2011 : 200 millions de sites).
- ▶ 2002 : Internet mobile (GSM).



Netcraft web survey.

De nos jours

- ▶ Plus d'1 milliard d'hôtes (smartphones, tablettes...).



De nos jours

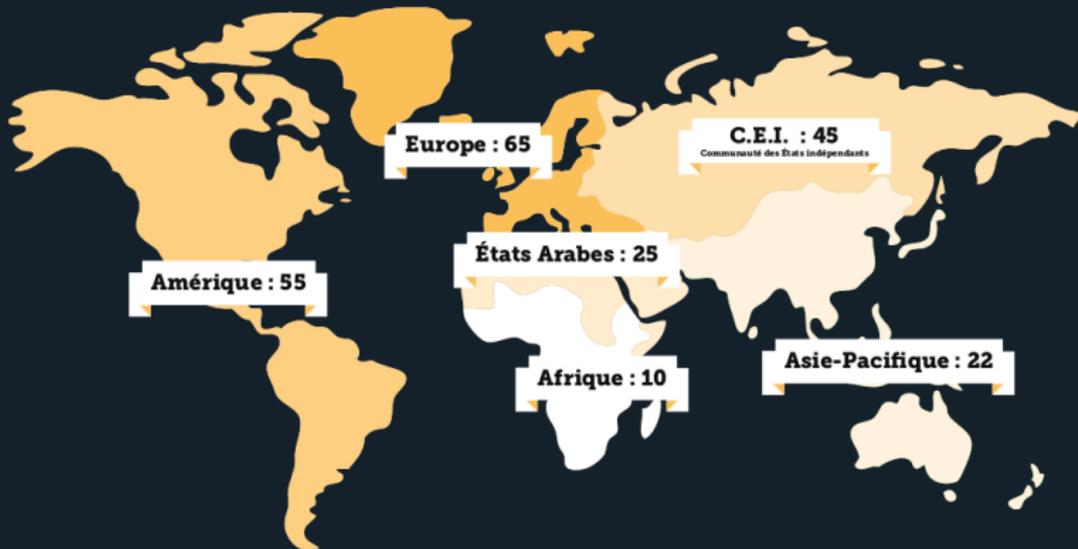
- ▶ Développement du sans-fil à haute vitesse.
- ▶ Trafic internet 2012 remplit l'équivalent de **2 500 DVD par seconde** (Cisco).
- ▶ Réseau sociaux (1 milliard d'utilisateurs FB...).
- ▶ E-commerce, universités, entreprises utilisant des "clouds" (Amazon EC2)...
- ▶ Google 2012 : Plus d'1 million de serveurs sur une trentaine de data centers.
 - ▶ 2012 : Data Center représentent 2% des émissions mondiales de CO2, 1.5% de la consommation électrique (30 centrales nucléaires)

Des inégalités (2011)

7 milliards de personnes sur Terre

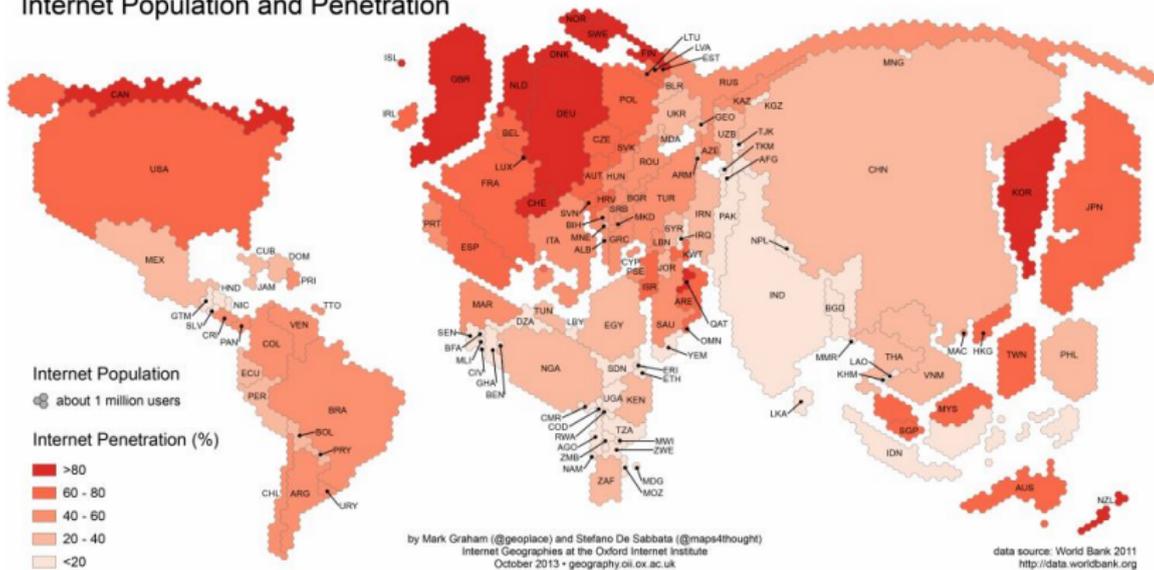
2 milliards d'internautes

Sur 100 habitants, combien ont accès à Internet ?

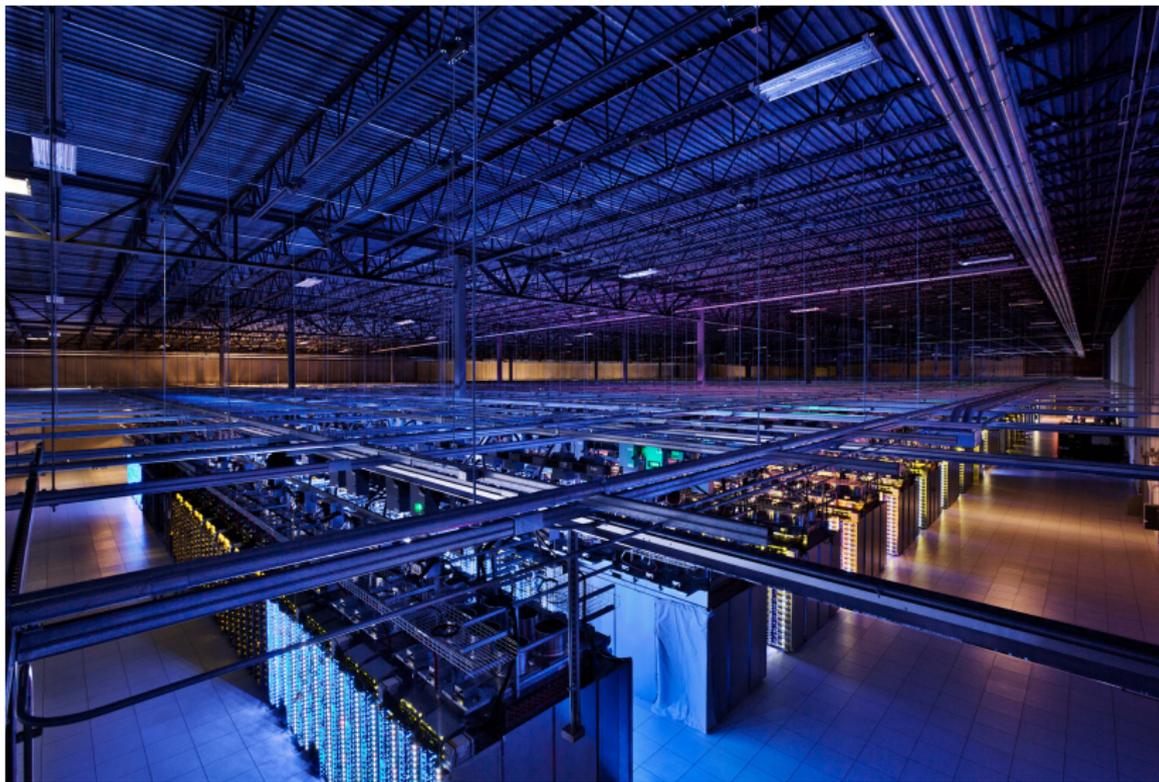


Des inégalités (2011)

Internet Population and Penetration



Google...



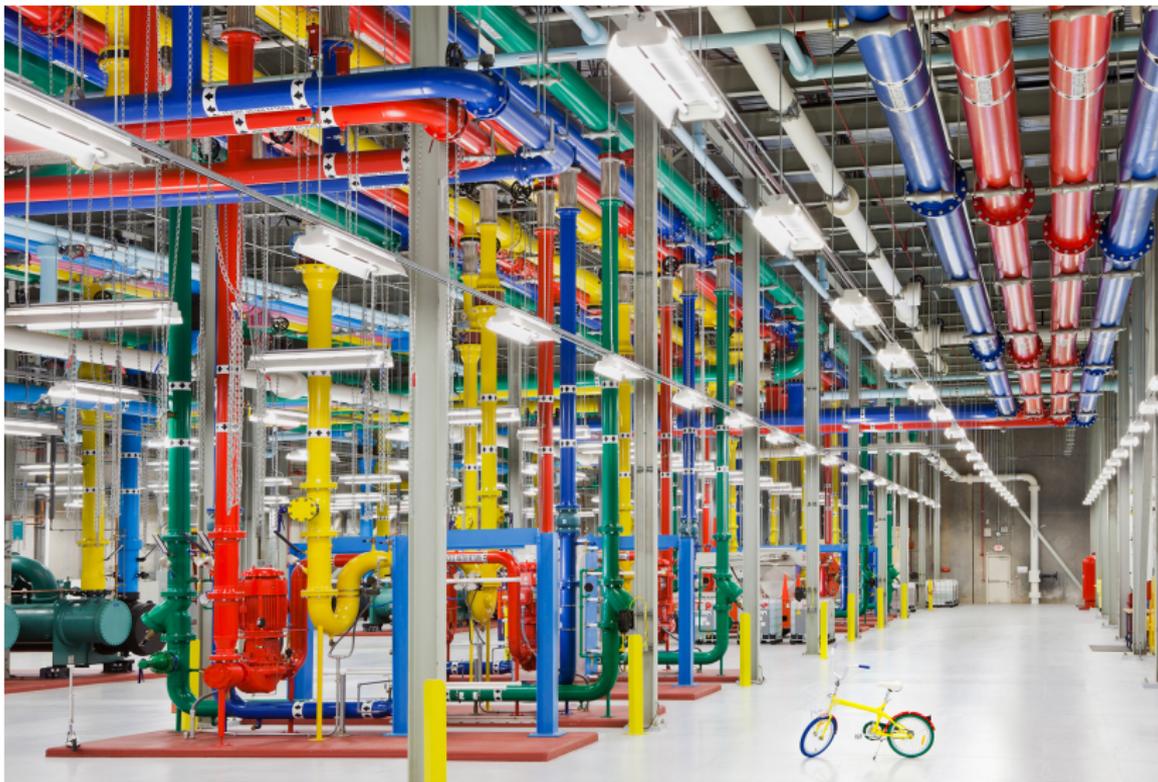
<http://www.google.com/about/datacenters/>

Google... (refroidissement par eau)



<http://www.google.com/about/datacenters/>

Google...



<http://www.google.com/about/datacenters/>

A suivre...

- ▶ Apprendissement de ce qui a été survolé...