# R203
# Bases des services réseaux

Sami Evangelista
IUT de Villetaneuse
Département Réseaux et Télécommunications
2024–2025

http://www.lipn.univ-paris13.fr/~evangelista/cours/R203






- Objectifs :
  - comprendre le rôle de la couche de transport et le fonctionnement des protocoles TCP et UDP
  - comprendre le rôle et le fonctionnement de services usuels :
    - DHCP (configuration automatique des hôtes)
    - SSH (connexion à distance, bases du chiffrement)
    - HTTP (service web)
  - configuration de ces services sous linux
- Volume horaire :
  - 1 cours introductif
  - 2 séances de cours-TD
  - 4 séances de TP
  - 1 contrôle
- Pour me joindre :
  - physiquement : bureau O108 à l'IUT
  - électroniquement : sami.evangelista at lipn.univ-paris13.fr

## Plan





## Les services réseaux



- leur but : rendre un service à des **clients**
  - nommage des machines
  - stockage de fichiers
  - envoi de mails
  - streaming vidéo
  - ...
- repose sur le modèle **client-serveur**
  - Le client est à l'initiative de l'échange (envoi d'une requête).
  - Le serveur traite la requête et répond.
- Au niveau du modèle OSI, ils se situent au niveau des couches 5 à 7.
- Techniquement, un service
  - est un **processus**
  - qui écoute sur un **port**
  - et utilise un **protocole de transport**.

## Services usuels



- DNS — nommage des hôtes
- DHCP* — configuration automatique d'hôtes
- HTTP* — navigation web
- HTTPS — navigation web sécurisée
- FTP* — transfert de fichiers
- SSH* — connexion à distance sécurisée
- NFS — stockage de fichiers
- NTP* — horloge
- SMTP — envoi de messages
- IMAP — réception de messages

* = vu dans ce module

## La notion de port



- port = identifiant local d'un processus sur l'hôte
- permet la communication simultanée de plusieurs processus (multiplexage)
- numéro sur 16 bits ($\Rightarrow$ numéro de port $\in [0, 65535]$)
- Dans le cadre du modèle client-serveur :
  - Le serveur écoute sur un port fixe (pour pouvoir être facilement contacté).
  - Le client utilise un port éphémère.

### Les ports systèmes (ou well-known ports)

- ports de 0 à 1023
- utilisé par les protocoles les plus répandus (HTTP, SSH, DHCP, ...)
- Un processus écoutant sur un port système doit avoir les droits root.

### Les ports éphémères (ou dynamiques)

- ports attribués par le système pour une courte durée
- ports de 32768 à 60999 (sur les versions récentes de linux)
- utilisation typique :

  Lors d'une session TCP ou UDP, le système attribue un port éphémère au client pour la durée de la session.

## Le fichier `/etc/services`



- associe des protocoles à un numéro de port + protocole de transport
- liste gérée par l'IANA (Internet Assigned Numbers Authority)
- extrait du fichier :

```
ftp       21/tcp
ssh       22/tcp
domain    53/tcp
domain    53/udp
http      80/tcp
```

- Ce ne sont que les ports par défaut !
  - Un serveur peut écouter sur n'importe quel port
    ou utiliser un protocole de transport qui n'est pas celui indiqué
    mais il faut que les clients en soient informés.

## Plan

## Rôle de la couche de transport



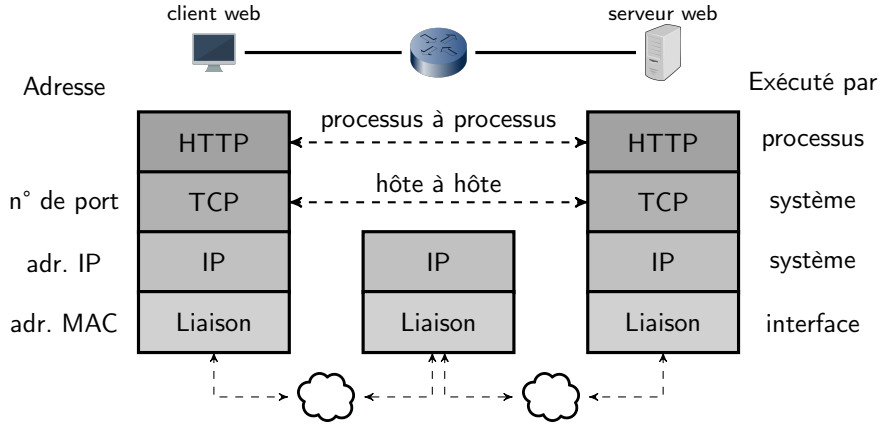
- communication de bout-en-bout entre processus
- multiplexage de processus
- (optionnel) correction des erreurs réseau
- (optionnel) contrôle des flux
  (éviter la congestion du réseau)

protocoles de transport les plus courants : UDP et TCP
(Il y en a d'autres : SCTP, DDP, ...)


## Pile protocolaire



- pile mise en œuvre par un client (p.ex. : firefox) et un serveur web communiquant avec HTTP




## Internet, un réseau non fiable




- Des paquets envoyés sur le réseau peuvent
  - être perdus (paquet 3) ;
  - ou arriver dans le désordre (paquet 4 reçu avant le 2).
- C'est un réseau de type **best effort** : le réseau fait au mieux mais n'offre aucune garantie de bonne transmission.
- Sources des erreurs :
  - problèmes de transmission (bits erronés)
  - pannes (routeur défectueux, câble débranché, ...)
  - congestion (trop de paquets circulent sur le réseau ⇒ mémoire des routeurs saturée ⇒ les routeurs détruisent les paquets qu'il ne peuvent pas traiter)
  - mauvaise configuration des routeurs (p.ex. : paquets qui tournent en boucle)
  - paquets entre deux hôtes qui empruntent des chemins différents

## Caractéristiques d'UDP et TCP



- point commun : utilisation de numéros de port pour le multiplexage

### UDP

- mode non connecté
- détection mais pas de correction des erreurs de réseau (perte ou déséquencement)
- faible coût en terme de trafic réseau :
  - ajout d'un en-tête UDP (8 o.)

### TCP

- mode connecté
- détection et correction des erreurs par
  - acquittement des paquets reçus ;
  - et retransmission des paquets (considérés comme) perdus.
- contrôle de flux
- coût élevé en terme de trafic réseau :
  - en-tête TCP + long que l'en-tête UDP (20 contre 8)
  - paquets nécessaires au contrôle de l'échange (connexion, déconnexion, ...)

## Choix du protocole de transport



- Une application/un service réseau repose sur un protocole de transport pour l'échange de données.
- Lequel choisir ? Cela dépend des besoins de l'application.
- Quelques exemples :
  - si la fiabilité est le critère principal ⇒ on utilise plutôt TCP
    - transfert de fichiers (HTTP, FTP)
    - email (SMTP, IMAP)

    (fiabilité ⇔ données délivrées sans erreur et sans déséquencement)
  - fiabilité secondaire mais critères temporels forts ⇒ on utilise plutôt UDP
    - téléphonie
    - streaming

## Plan





## Configuration des hôtes



- Pour pouvoir communiquer sur un réseau IP un hôte a besoin :
  - d'une IP et d'un masque de réseau (au minimum)
  - de l'IP du routeur (ou passerelle) de son réseau
  - de l'IP d'un serveur de noms (DNS pour la résolution noms d'hôtes → IP)

  ...
- informations de configuration obtenues manuellement ou automatiquement

### Configuration manuelle

- L'administrateur remplit des fichiers sur **chaque hôte**.
- ☹ fastidieux
- ☹ source d'erreurs (p.ex., attribuer la même IP à deux hôtes)

### Configuration automatique

- L'administrateur remplit des fichiers sur **un serveur**.
- Le serveur fournit les informations de configuration aux hôtes (clients).
- ☺ simple, automatique
- ☹ tout repose sur le serveur (⇒ pb en cas de panne)

## Le protocole DHCP



- DHCP (**D**ynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol)
- première RFC en 1993 (RFC 1531)
- évolution du protocol BOOTP
- protocole de transport utilisé : UDP sur les ports
  - 67 pour les serveurs et relais (voir plus loin)
  - 68 pour les clients

## Participants au protocole DHCP



### Le client

- hôte configuré automatiquement
- contacte le serveur pour obtenir un **bail** (+ éventuellement d'autres infos.)
- un bail = une IP attribuée pour une durée déterminée

### Le serveur

- gère une plage d'IP à distribuer aux clients
- fournit aussi d'autres infos. (routeur, serveur DNS, ...) sur demande
- Remarque : on peut avoir plusieurs serveurs sur un réseau.
  - assure une **tolérance aux pannes** (remplacement d'un serveur défectueux)
  - nécessite des mécanismes de synchronisation entre serveurs

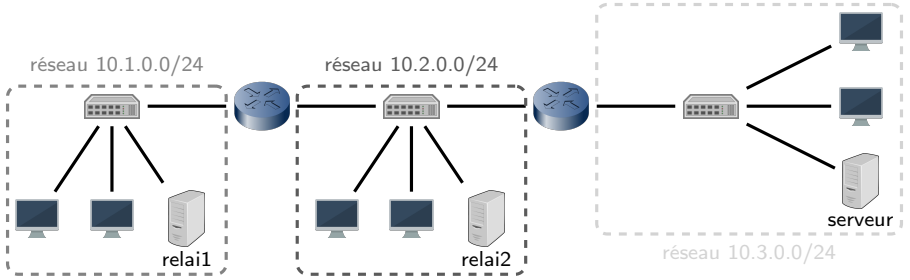
### Le relai

- intermédiaire entre clients et serveurs situés sur des réseaux différents

  (Les requêtes DHCP sont envoyées en diffusion sur le réseau local ⇒ elles ne passent pas les routeurs ⇒ besoin d'un intermédiaire pour relayer les paquets entre un client et un serveur séparés par un routeur.)

## Participants au protocole DHCP — Exemple






- Sur les réseaux 10.1.0.0/24 et 10.2.0.0/24, toute requête d'un client passe par le relai qui retransmet au serveur : client → relai → serveur.
- Toute réponse suit le chemin inverse : serveur → relai → client.
- Certaines interfaces doivent être configurées manuellement :
  - celles des routeurs
  - celles des relais et du serveur

## Plan





## Présentation du service SSH



- SSH = Secure SHell
- port par défaut : TCP/22
- offre une connexion sécurisée (chiffrée) sur un hôte distant
- remplace des protocoles non sécurisés (telnet, rsh, ...)
- 2 processus interviennent :
  - le client SSH : celui qui se connecte (avec la commande `ssh`) ;
  - et le serveur SSH = celui qui accepte la connexion.
- 2 versions incompatibles de SSH : 1.0 (1995) et 2.0 (2006, RFC4251)

  (incompatible ⇔ le client et le serveur doivent utiliser la même version)
- Différence majeure : SSHv2 corrige certaines failles de sécurité de SSHv1.

## Se connecter à distance : la commande ssh



`ssh [user@]hôte`

- ouvre une connexion sécurisée sur
  - l'`hôte` (un serveur SSH désigné par son IP ou son nom)
  - en tant que `user` (par défaut, le même utilisateur que sur le client).
- condition : le serveur SSH doit être lancé sur l'hôte
- option courante :
  - `-p num` si le serveur écoute sur un port `num` $\neq 22$

```
[sami@debian:/tmp]$ ssh evangelista@test.iutv.fr
evangelista@test.iutv.fr's password:
[evangelista@test.iutv.fr: ]$
```

## Copier des fichiers à distance : la commande scp



`scp source destination`

- utilise le protocole SSH pour copier des fichiers à distance
- `source` ou `destination` peut désigner un fichier/répertoire distant :

  `[login@]hôte:[chemin]`

  Par défaut :
  - `login` = même login que sur le client
  - `chemin` = répertoire home de l'utilisateur
- options courantes :
  - `-r` (récursif) pour copier des répertoires
  - `-P num` si le port utilise sur un port `num` $\neq 22$
- Exemples :

| | |
|---|---|
| `scp fic toto@10.1.2.3:` | copie `fic` dans le home de `toto` sur l'hôte 10.1.2.3 |
| `scp -r ssh.iutv.fr:rep .` | copie dans le répertoire courant (`.`) le répertoire `rep` se trouvant dans le home de l'utilisateur sur l'hôte `ssh.iutv.fr` |

## Le chiffrement



- chiffrer = rendre des données incompréhensibles pour un tiers non autorisé

  Alice envoie un message à Bob. Elle ne veut pas que le message puisse être intercepté et compris par Eve.
- assure la **confidentialité** (un des objectifs fondamentaux de la sécurité)
- 2 familles d'algorithmes :
  - chiffrement **symétrique**
  - chiffrement **asymétrique**

## Le chiffrement symétrique



- Alice et Bob utilisent une **clé partagée** $K$ (nombre, suite de bits, ...).
- La clé sert à la fois à chiffrer et à déchiffrer.
- Alice veut envoyer un message $m$ à Bob :
  1. Alice chiffre $m$ avec $K$ et obtient $m'$.
  2. Alice envoie $m'$ à Bob.
  3. Bob déchiffre $m'$ avec $K$ pour obtenir $m$.
- Exemples d'algorithmes symétriques : DES, AES, XOR
- Avantage : algorithmes rapides
- Inconvénient : nécessite l'échange de la clé (p.ex., par clé USB)

## Le chiffrement asymétrique



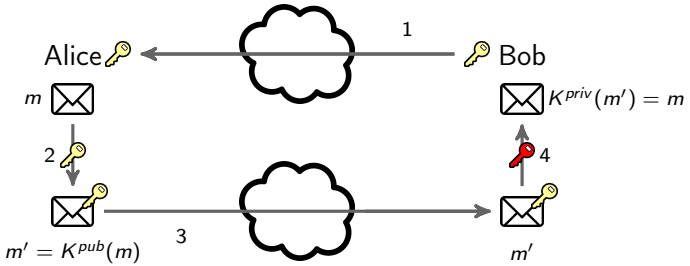
- repose sur l'utilisation de deux clés :
  - une **clé publique** $K^{pub}$ qui peut chiffrer ;
  - et une **clé privée** $K^{priv}$ qui peut déchiffrer.
- Principes :
  - $K^{pub}$ et $K^{priv}$ sont liées par une fonction mathématique.
  - À partir de $K^{pub}$ il est (quasiment) impossible de trouver $K^{priv}$.
- Partage des clés :
  - $K^{pub}$ peut être distribuée à tous.
  - $K^{priv}$ ne doit pas être divulguée.
- Exemples d'algorithmes asymétriques : RSA, DSA, Diffie-Hellman
- Avantage : seules les clés publiques sont échangées
- Inconvénient : algorithmes très lents

## Le chiffrement asymétrique — Illustration



Contexte

- Alice veut envoyer un message confidentiel $m$ à Bob.
- Bob a une clé privée $K^{priv}$ et une clé publique $K^{pub}$.




Déroulement

1. Bob envoie sa clé publique à Alice.
2. Alice chiffre $m$ avec la clé publique de Bob et obtient $m'$.
3. Alice envoie $m'$ à Bob.
4. Bob déchiffre $m'$ avec sa clé privée pour obtenir $m$.

## Le chiffrement dans SSH



- Observation : impossible d'utiliser un seul type de chiffrement
  - symétrique : comment s'échanger la clé ?
  - asymétrique : trop lent, marcherait uniquement pour des très petits volmues de données
- Principe du chiffrement dans SSH :
  - combiner chiffrement symétrique et asymétrique
  - pour tirer parti des avantages des deux méhodes :
    - possibilité d'envoi de clés (en clair) du chiffrement asymétrique
    - rapidité du chiffrement symétrique
- Fonctionnement général d'une session SSH :
  1. établissement de la connexion TCP
  2. chiffrement **asymétrique** pour échanger une clé de session
     clé de session = clé
     - **symétrique** ;
     - choisie **aléatoirement** ;
     - et **temporaire** (durée de vie = session SSH).
  3. puis chiffrement **symétrique** avec la clé de session pour échanger les données (login, mot de passe, commandes, ...)
  4. fermeture de la connexion TCP

## Attaques MITM sur SSH



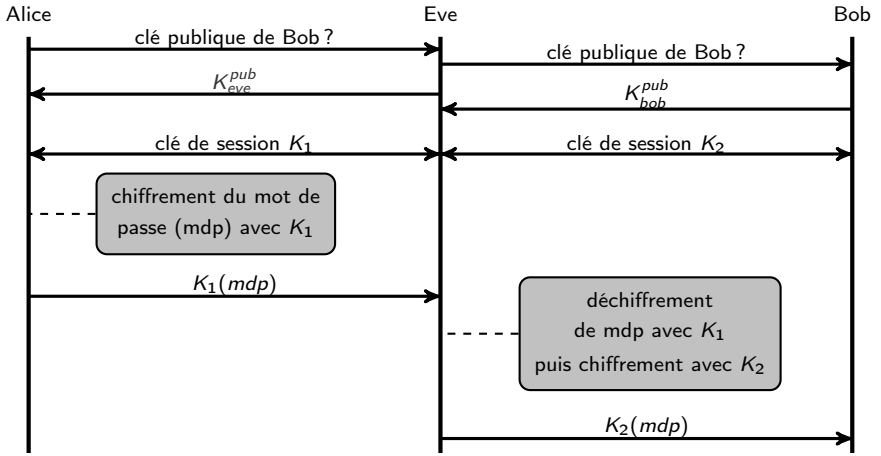
- MITM = Man In the Middle
- Un attaquant réussit à intercepter le trafic entre deux hôtes cibles.
- exemples d'attaques MITM : usurpation ARP/DNS
- Application à SSH :
  - L'attaquant se fait passer pour le serveur auprès du client et inversement.

## Attaques MITM sur SSH — Exemple



Contexte :

- Eve (l'attaquant) a réussi à intercepter le trafic entre Alice et Bob.
- Alice ouvre une connexion SSH sur Bob.




## Vérification des clés (1/2)



- Dans l'exemple précédent, l'attaque a fonctionné car Alice a reçu la clé d'Eve au lieu de celle de Bob.

⇒ besoin de vérifier les clés reçues !

- sauvegarde des clés dans `~/.ssh/known_hosts`
- 3 cas possibles lors de la connexion à un serveur

### Cas 1 : serveur inconnu

⇔ serveur absent du fichier `~/.ssh/known_hosts`

```
$ ssh 10.11.12.13
The authenticity of host '10.11.12.13 (10.11.12.13)' can't be established.
ECDSA key fingerprint is e4:16:7e:9a:52:d3:a3:08:9c:be:12:73:de:e7:55:f5.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no)? yes
Warning: Permanently added '10.11.12.13' (ECDSA) to the list of known hosts.
root@10.11.12.13's password:
```

- C'est ce qui arrive lorsqu'on se connecte au serveur pour la première fois.
- Soit on fait confiance en acceptant la clé (`yes`) ;
  soit on la refuse (`no`) et on vérifie la clé reçue auprès de l'administrateur.

## Vérification des clés (2/2)



### Cas 2 : serveur connu + clé valide

⇔ clé reçue = celle associée au serveur dans `~/.ssh/known_hosts`

```
$ ssh 10.11.12.13
root@10.11.12.13's password:
```

- Connexion acceptée par le client.

### Cas 3 : serveur connu + clé invalide

⇔ clé reçue ≠ celle associée au serveur dans `~/.ssh/known_hosts`

```
$ ssh 10.11.12.13
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
@    WARNING: REMOTE HOST IDENTIFICATION HAS CHANGED!     @
@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
IT IS POSSIBLE THAT SOMEONE IS DOING SOMETHING NASTY!
Someone could be eavesdropping on you right now (man-in-the-middle attack)!
It is also possible that a host key has just been changed.
The fingerprint for the ECDSA key sent by the remote host is
02:0d:2e:2b:50:19:f9:6d:83:f5:f2:cb:7e:3e:9d:18.
Please contact your system administrator.
```

- Soit c'est une attaque MITM (`Someone could be eavesdropping ...`) ;
  soit l'administrateur a changé les clés du serveur (`It is also ...`).
- Dans les deux cas : connexion refusée par le client !

## Plan

## Caractéristiques de HTTP



- HTTP = HyperText Transfer Protocol
- port par défaut : TCP/80
- protocole de transfert de ressources (web)
- client HTTP ≈ navigateur web
- utilisé initialement pour le transfert de documents hypertexte (p.ex., HTML) mais peut transférer tout type de document
- différentes versions :
  - 1.0 (1996, RFC 1945)
  - 1.1 (1997, RFC 2068)
  - 2.0 (2015, RFC 7540)

## Structure des requêtes HTTP



```
METH   URI   HTTP/VERSION                    une ligne de requête
Champ1: Valeur1                             N lignes d'en-tête
Champ2: Valeur2
Champ3: Valeur3
...
                                            une ligne vide
corps de la requête                         (éventuellement vide)
```

- `METH` = méthode. Les plus courantes :
  - `GET` = récupérer une ressource
  - `POST` = envoyer des données (p.ex., depuis un formulaire HTML)
- `URI` = Uniform Resource Identifier = chemin de la ressource demandée
- `VERSION` = 1.0, 1.1 ou 2.0
- `Champ1`, `Champ2`, ... : informations supplémentaires sur la requête/le client

## Champs de requête usuels



- Host = nom du site web concerné par la requête
  - indispensable quand le serveur web héberge plusieurs sites
  - champ obligatoire depuis la version 1.1
- Connection = options de connexion (voir page 43)
- Date = Date de l'envoi de la requête
- Referer = URI du document qui contient un lien vers l'URI demandée
- User-Agent = infos sur le client web (p.ex., firefox version 1.2.3)
- Accept = liste des types de media (ou type MIME) acceptés en réponse
- If-Modified-Since = le serveur ne renvoie la ressource que si sa date de modification est postérieure à celle indiquée dans ce champ

## Le type de media (ou type MIME)



- MIME = Multipurpose Internet Mail Extensions
- décrit le type d'une ressource retournée par le serveur
- utilisé par le navigateur web pour savoir comment traiter la ressource reçue
  - ex : type = audio/mpeg ⇒ ouvrir lecteur audio
- classification sous la forme type/sous-type
- types usuels :

| | |
|---|---|
| application/pdf | |
| application/zip | |
| audio/mpeg | (fichier mp3) |
| image/gif | |
| image/png | |
| text/css | |
| text/html | |
| text/plain | texte brut (non formaté) |
| video/mp4 | |
| video/webm | |

## Structure des réponses HTTP



```
HTTP/VERSION CODE MESSAGE
Champ1: Valeur1
Champ2: Valeur2
Champ3: Valeur3
...

corps de la réponse
```

*une ligne de réponse*
*N lignes d'en-tête*

*une ligne vide*
*la ressource demandée*
*(éventuellement vide)*

- `CODE` = code de statut HTTP
  - 1xx = information
  - 2xx = succès
  - 3xx = redirection
  - 4xx = erreurs côté client
  - 5xx = erreurs côté serveur
- `MESSAGE` = donne des infos complémentaires au code

## Champs de réponse usuels



- Connection
- Date
- Server = infos sur le serveur web (p.ex., apache version 2.4)
- Content-Type = type de media de la réponse
- Content-Length = nombre d'octets dans le corps de la réponse
- Last-Modified = date de la dernière modification de la ressource

## Exemple d'échange HTTP



Requête :

```
GET /page.html HTTP/1.0
Host: example.com
Referer: http://example.com/
User-Agent: CERN-LineMode/2.15 libwww/2.17b3
```

Réponse :

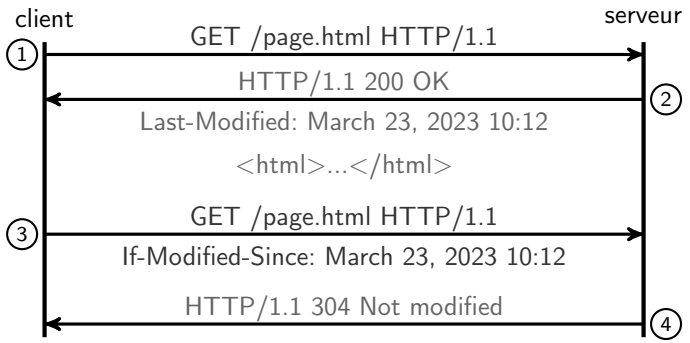
```
HTTP/1.0 200 OK
Date: Fri, 31 Dec 1999 23:59:59 GMT
Server: Apache/0.8.4
Content-Type: text/html
Content-Length: 59
Last-Modified: Fri, 09 Aug 1996 14:21:40 GMT

<TITLE>Exemple</TITLE>
<P>Ceci est une page d'exemple.</P>
```

*Source : wikipedia*

## Utilisation des champs de date de mise à jour






- Les champs Last-Modified et If-Modified-Since permettent d'éviter de retélécharger des ressources non modifiées.

  ⇒ La réponse 4 est vide (un en-tête HTTP mais pas de corps).

## De HTTP 1.0 à HTTP 1.1



Différences majeures :

- connexions persistantes (utilisation du champ Connection)
- meilleure gestion du cache
- champ d'en-tête Host obligatoire dans les requêtes
- négociation de contenu (utilisation du champ Accept)

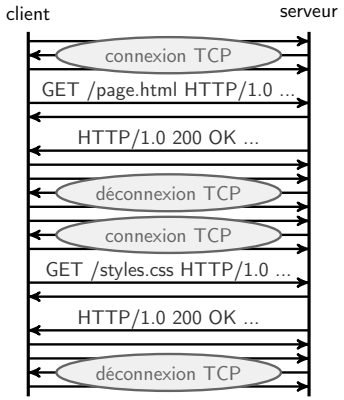
## Connexions persistantes



Exemple : le client télécharge une page `page.html` contenant un lien vers une feuille de style `styles.css`.

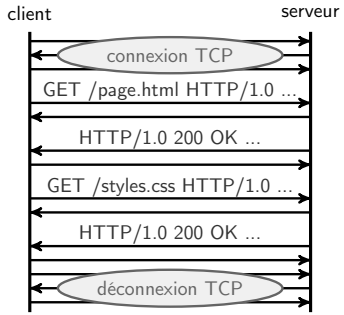
### HTTP 1.0

- une connexion TCP par ressource téléchargée




### HTTP 1.1

- une connexion TCP pour toutes les ressources téléchargées




## Connexions persistantes — Le champ Connection



- `Connection: keep-alive`
  Le client (ou le serveur) est prêt à maintenir la connexion TCP ouverte après le transfert de la ressource.
- `Connection: close`
  Le client (ou le serveur) veut mettre fin à la connexion TCP après le transfert de la ressource.

## Le cache



- mettre en cache une ressource = sauvegarder la ressource pour ne pas avoir à recontacter le serveur si elle est redemandée par l'utilisateur
  - ☺ serveur moins chargé
  - ☺ rapidité de chargement pour l'utilisateur
- Types de cache :
  - privé : sur le disque de l'utilisateur
  - partagé (ou public) : sur une machine accessible par plusieurs clients
- Problème : comment s'assurer que ce qui est dans le cache est bien à jour ?

## Gestion du cache : le champ Cache-Control



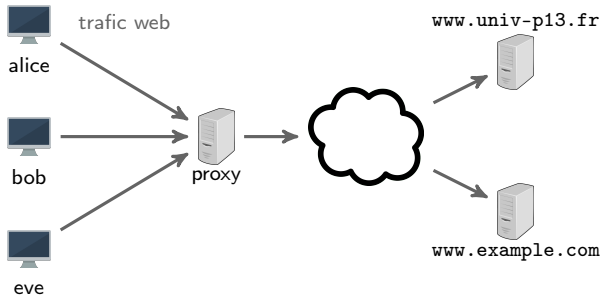
- Contient une liste de directives séparés par des virgules.
- Quelques directives :
  - max-age=N — la réponse est valide (i.e., peut être gardée en cache) pendant N secondes
  - no-store — ne pas stocker la réponse en cache
  - no-cache — la réponse peut être sauvegardée dans un cache mais devra être validée par le serveur (p.ex., avec le champ `if-modified-since`, voir page 40)
  - private — la réponse doit être sauvegardée dans un cache privé uniquement
  - public — la réponse peut être sauvegardée dans un cache public
- Exemple :

```
Cache-Control: max-age=36000, public, no-cache
```

## Proxy

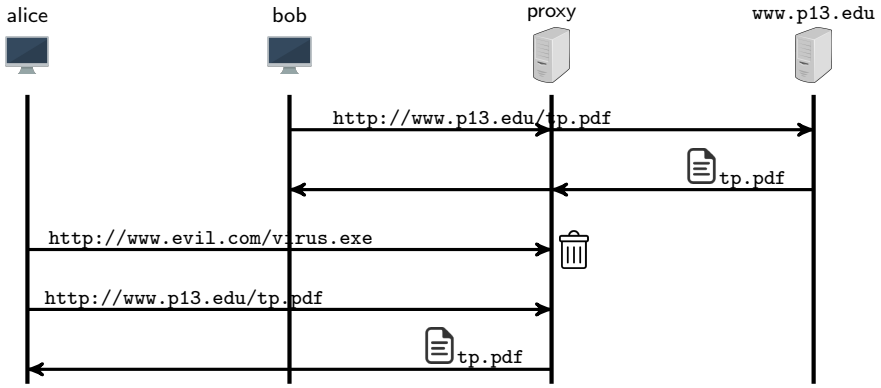


- Un proxy est un **serveur mandataire**.
- C'est une passerelle de niveau applicatif (au sens OSI).
- proxy web = intermédiaire entre un navigateur et des serveurs web
- Le proxy peut ameliorer
  - la **sécurité** (p.ex., bloquer des IP ou l'accès à des sites web malveillants) ;
  - et les **performances** (p.ex., en mettant en cache des ressources ou en compressant les données).




## Proxy — Exemple

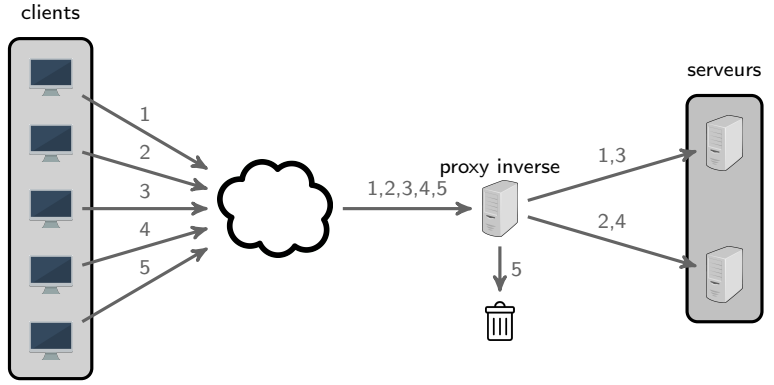





## Proxy inverse



- proxy inverse = proxy placé devant des (en frontal de) serveurs
- quelques avantages :
  - **sécurité** (p.ex, en détectant et bloquant les attaques ciblant les serveurs)
  - **équilibrage de charge** (en distribuant un ensemble de requêtes équitablement entre les serveurs)




- La requête 5 contient du code malicieux détecté par le proxy inverse.