

Réseaux informatiques

RXI

Chapitre 3

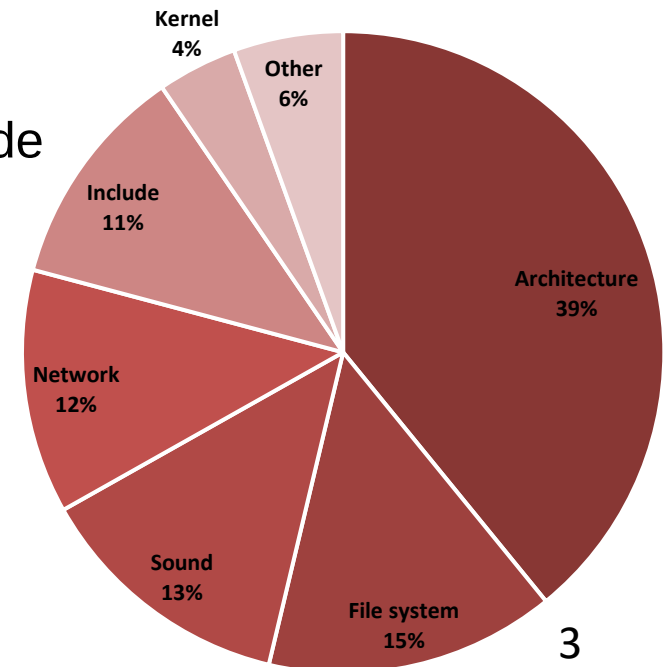
Modèles de référence

Objectifs d'apprentissage

- Expliquer la transmission de données dans un modèle en couches
 - En particulier, définir les termes **entités paires**, **protocole**, **encapsulation**, **adressage**
- Expliquer les fonctions définies pour chacune des couches du modèle OSI
- Connaître les protocoles les plus importants du modèle TCP/IP

Logiciels de réseaux

- A l'origine, le matériel était l'aspect central du développement des réseaux informatiques
- Aujourd'hui, les logiciels qui contrôlent l'échange des données sont extrêmement complexes
 - Exemple (août 2020)
 - Le noyau Linux (sans drivers) compte 9.3 millions de lignes de code
 - **12.3% (1'149'000 lignes de code) pour le sous-système réseau**
 - Sans compter les applications utilisateurs comme par exemple les clients et serveurs Web



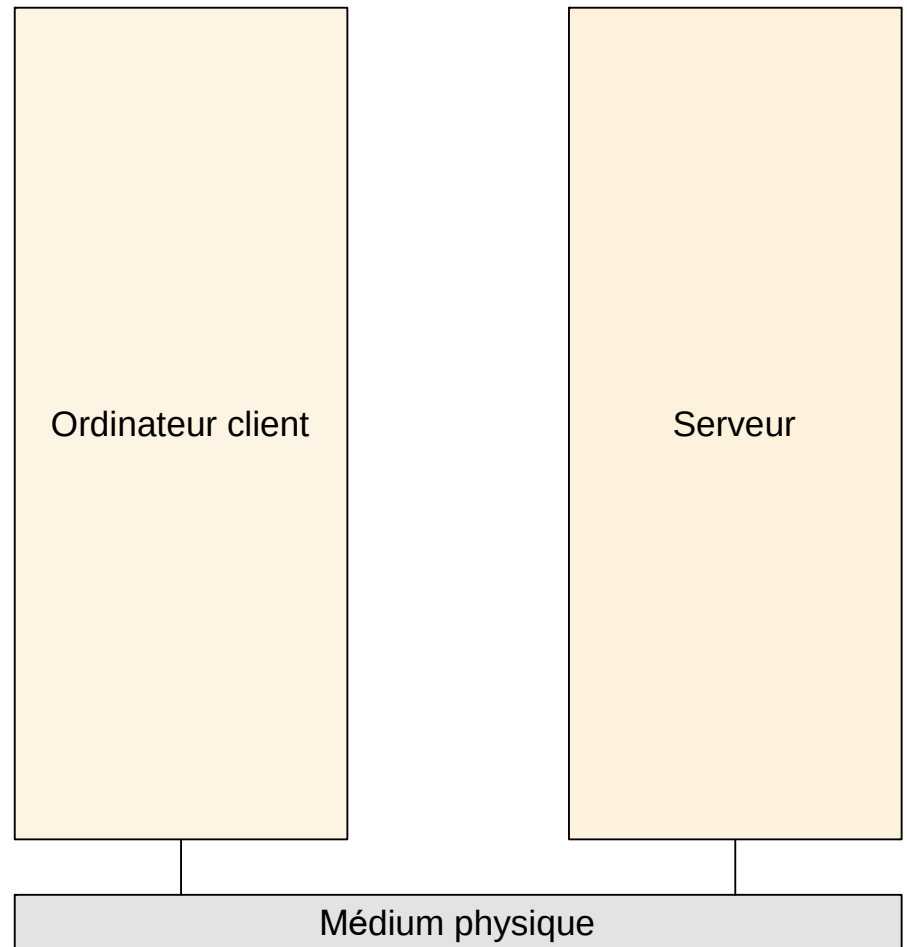
Logiciels de réseaux

- Les logiciels de réseaux sont organisés en une pile de couches
- Chaque couche offre un service bien défini
 - Abstraction de la complexité du système
 - Permet l'interconnexion de réseaux hétérogènes

Communication dans une pile de couches

Exemple

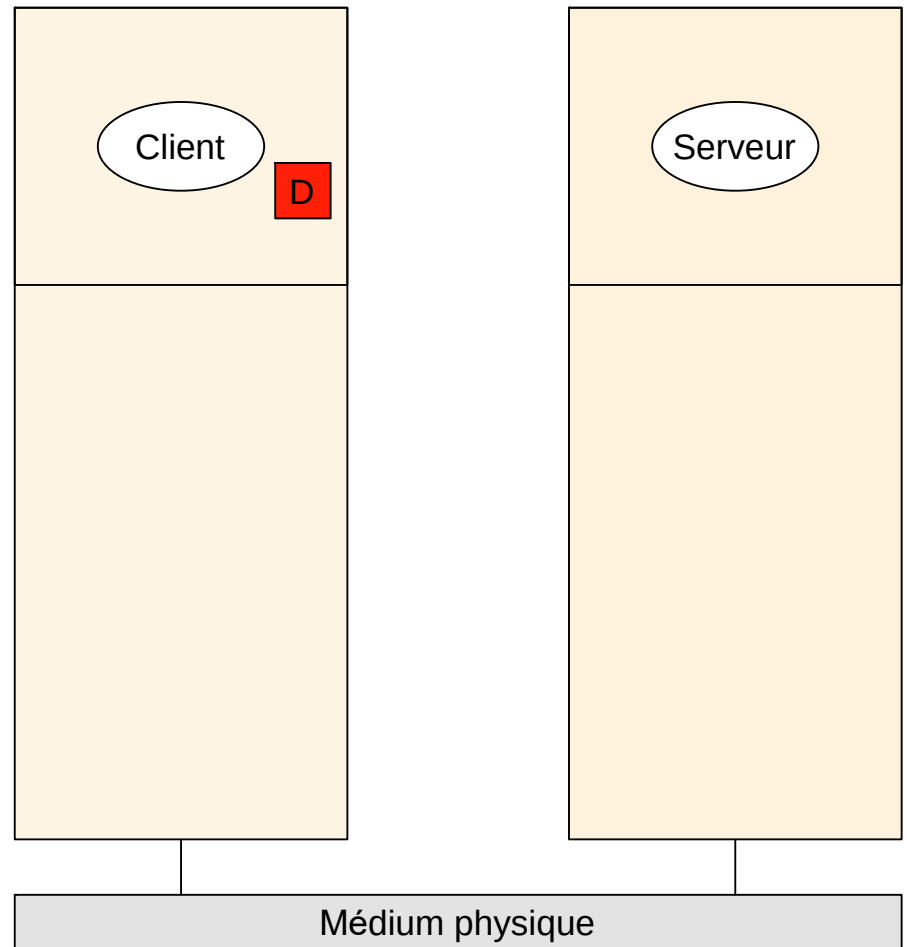
- Transmission de données entre un ordinateur client et un serveur
- Similaire à une requête HTTP pour accéder à une page Web



Communication dans une pile de couches

Niveau applicatif

- L'application cliente génère les données
- Elle aimerait les faire parvenir à l'application serveur
- Exemple: requête d'une page Web



Communication dans une pile de couches

Communication horizontale

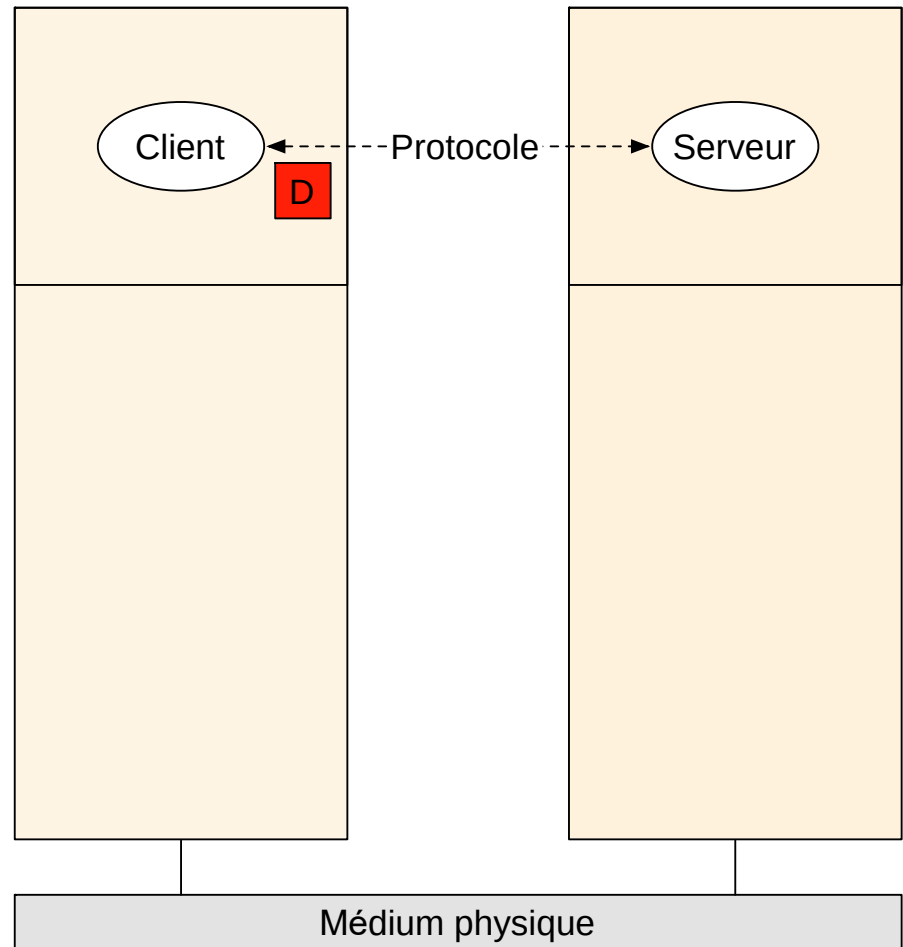
- Le but de la communication est de transmettre les données entre homologues (**pairs**) en utilisant un **protocole de communication**

Entités paires

- **Entités du même niveau, qui communiquent entre elles**
- Processus informatique qui tourne sur les deux machines

Protocole

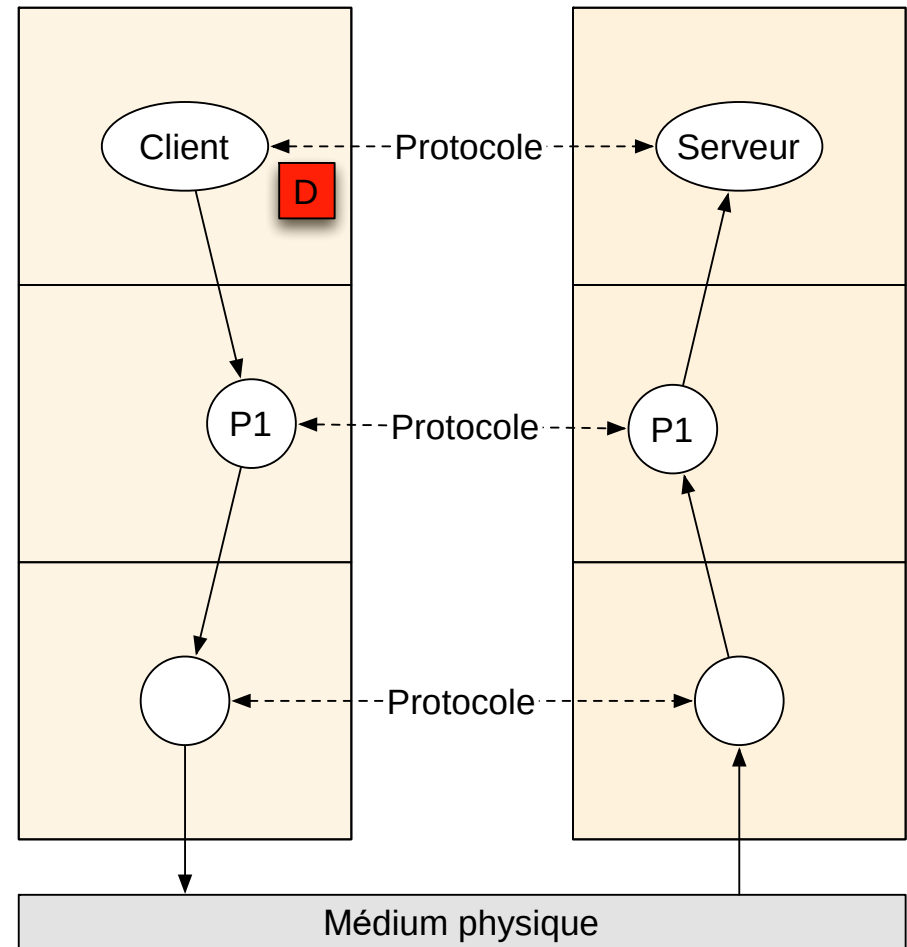
- **Règles et conventions qui régissent la communication entre pairs**



Communication dans une pile de couches

Communication verticale

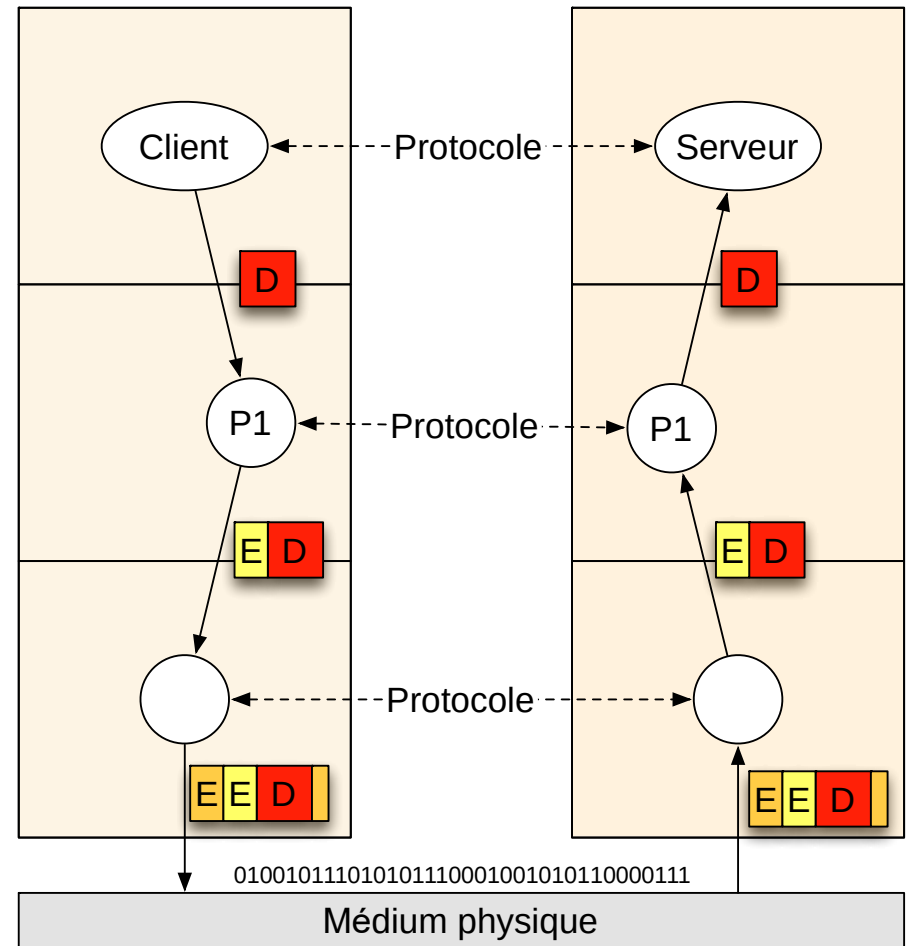
- Le chemin réel emprunté par les données traverse les différentes couches
- Chaque couche réalise un service bien défini
- L'entité de chaque couche utilise un protocole pour communiquer avec son pair
- Le support physique véhicule finalement les données



Communication dans une pile de couches

Encapsulation

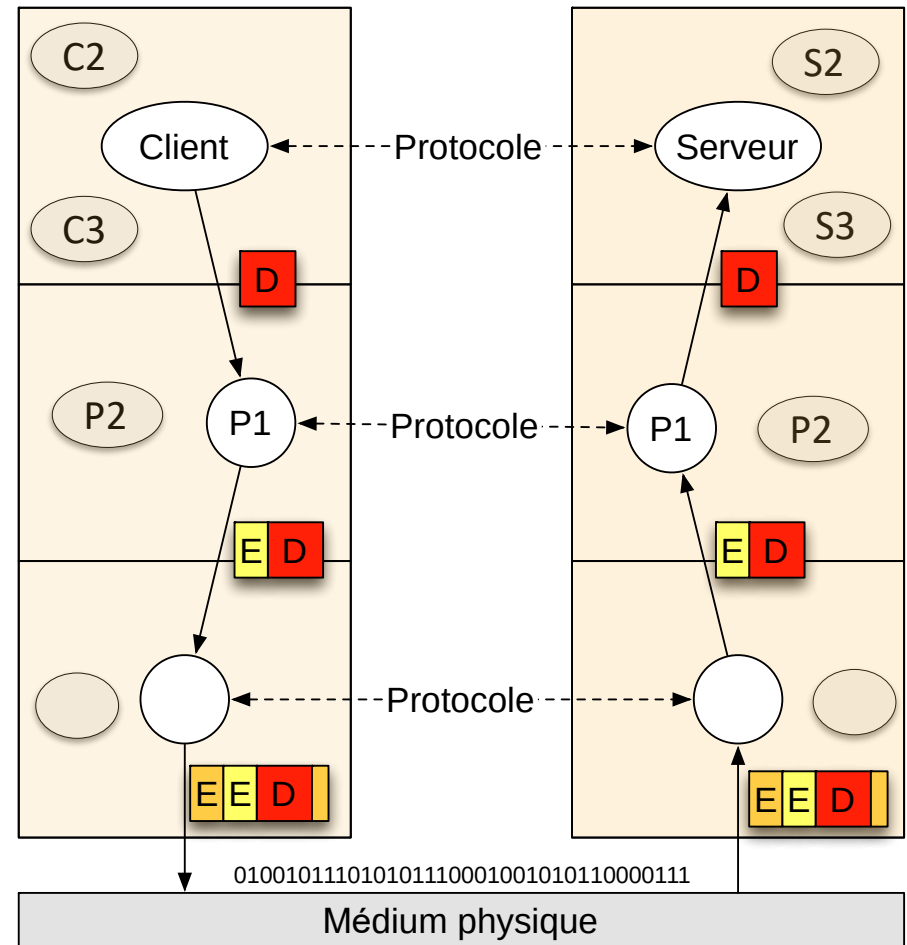
- Chaque protocole peut ajouter un en-tête (et un en-queue)
- Par exemple somme de contrôle
- Ces informations sont utilisées par son pair
- Elles sont enlevées avant de passer les données à la couche supérieur



Communication dans une pile de couches

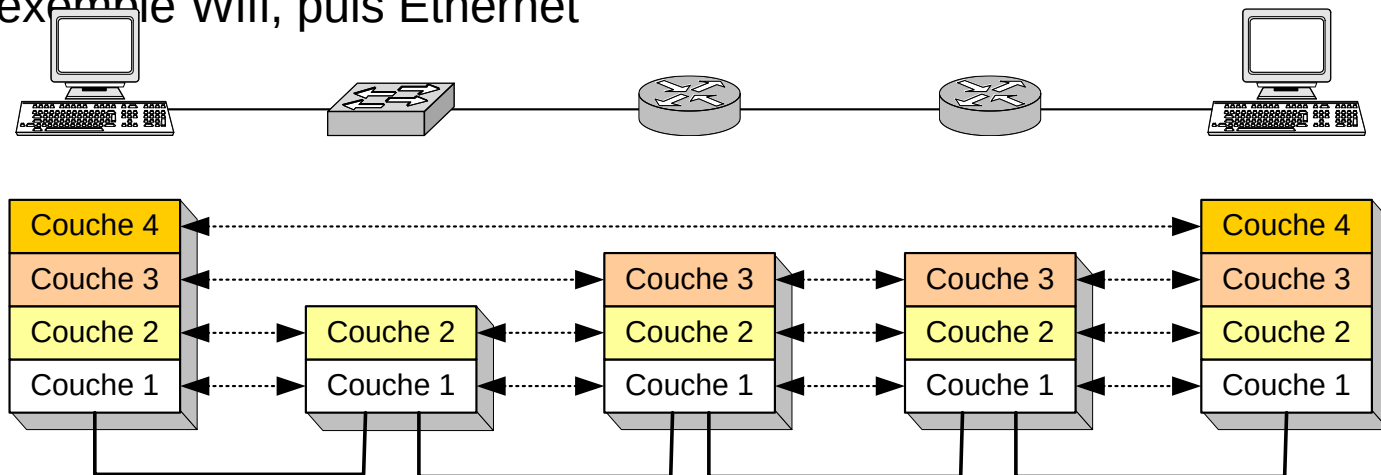
Adressage

- Les en-têtes contiennent aussi des adresses
- Une adresse indique l'entité de la couche supérieure à qui il faut passer les données
- Par exemple serveur Web ou serveur Mail
- Par exemple protocole TCP UDP



Terminaux et systèmes intermédiaires

- La communication entre nœuds terminaux traverse souvent des nœuds intermédiaires
 - Par exemple borne Wifi, routeur
- Les nœuds intermédiaires n'implémentent pas toutes les couches
- Les protocoles utilisés sur les différents liens peuvent être différents
 - Par exemple Wifi, puis Ethernet



Exercices

1.2 Entités

- En termes informatiques, comment une entité est-elle réalisée ?
- Quelle est l'entité paire d'un serveur Web ?

Modèle de référence OSI

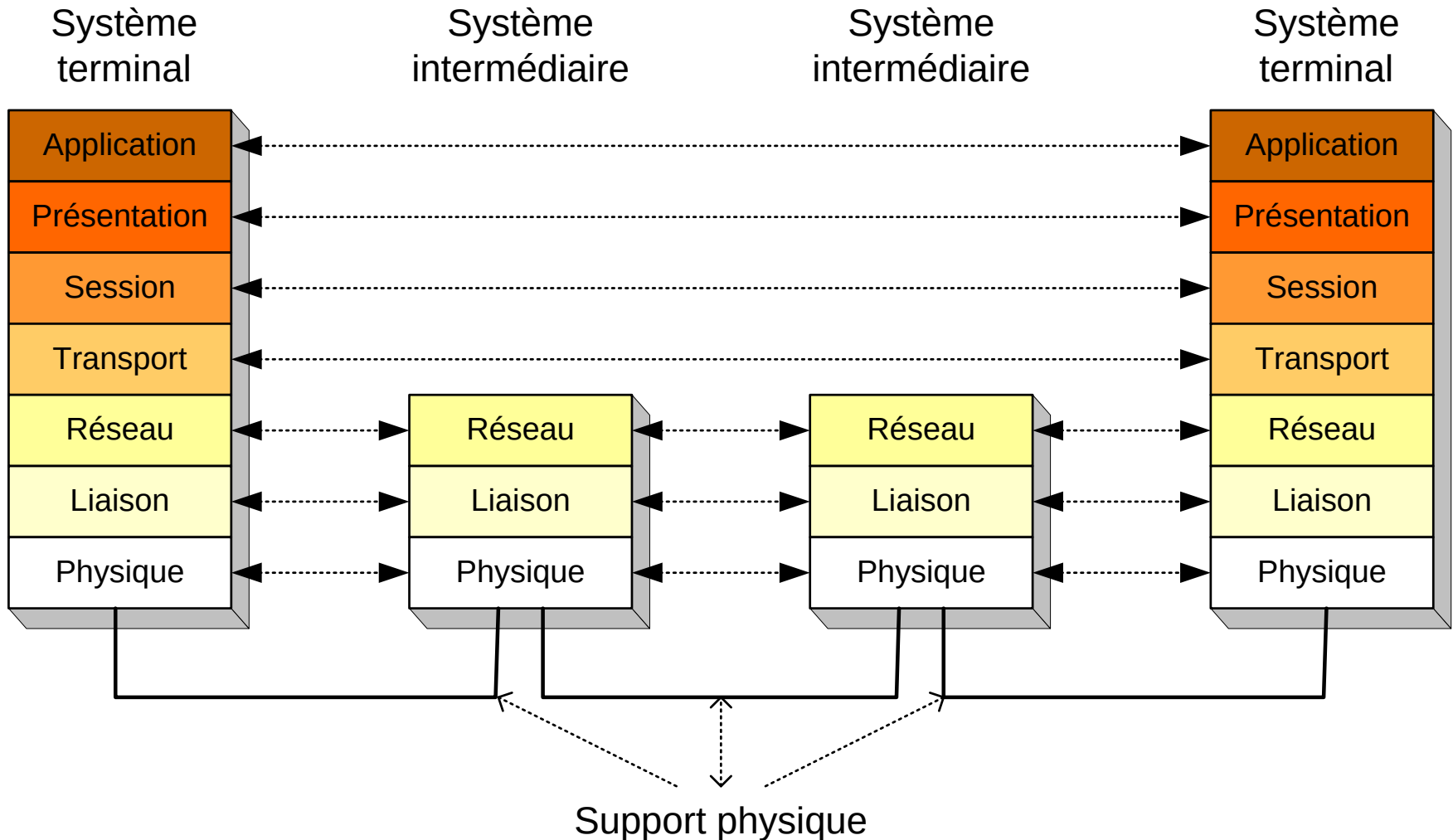
But

- Introduit en 1983, le modèle OSI était le premier pas vers la normalisation des protocoles
- Aujourd'hui, il sert à analyser et concevoir des logiciels de réseau

Structure

- Il définit le **cadre**, donc quelles fonctionnalités à réaliser à chaque couche
- Mais il ne donne pas de spécification concrète de ces fonctionnalités
- Permet donc de réaliser à chaque couche **différents protocoles**, en fonction des besoins

Modèle de référence OSI



1. Couche physique

Transmission de bits de façon brute sur un canal de communication

- Spécification mécanique et électrique des interfaces
- Voltages pour représenter 0 et 1
- Durée d'un bit
- Forme des connecteurs, nombre de broches et leurs fonctions

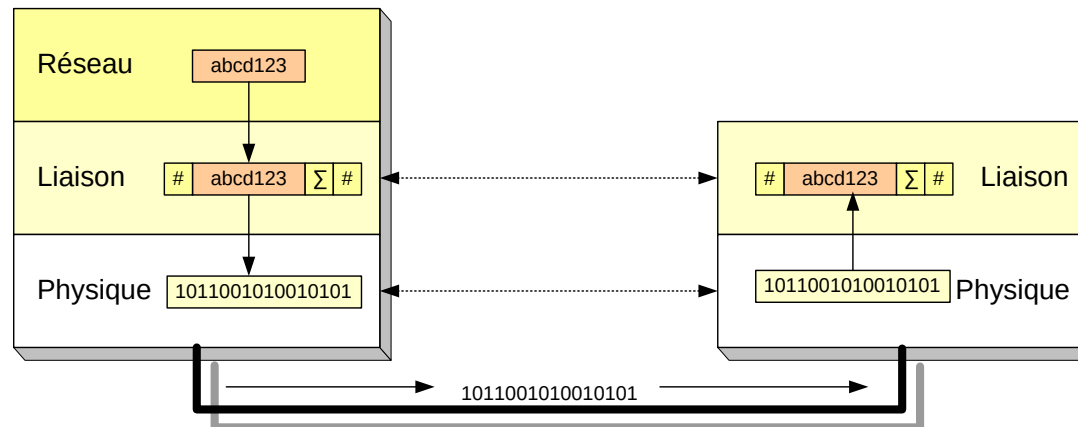
Tension	Bit
+3 à +25 Volt	0
-3 à -25 Volt	1



2. Couche liaison

Simuler une liaison parfaite, sans erreur, pour la couche supérieure

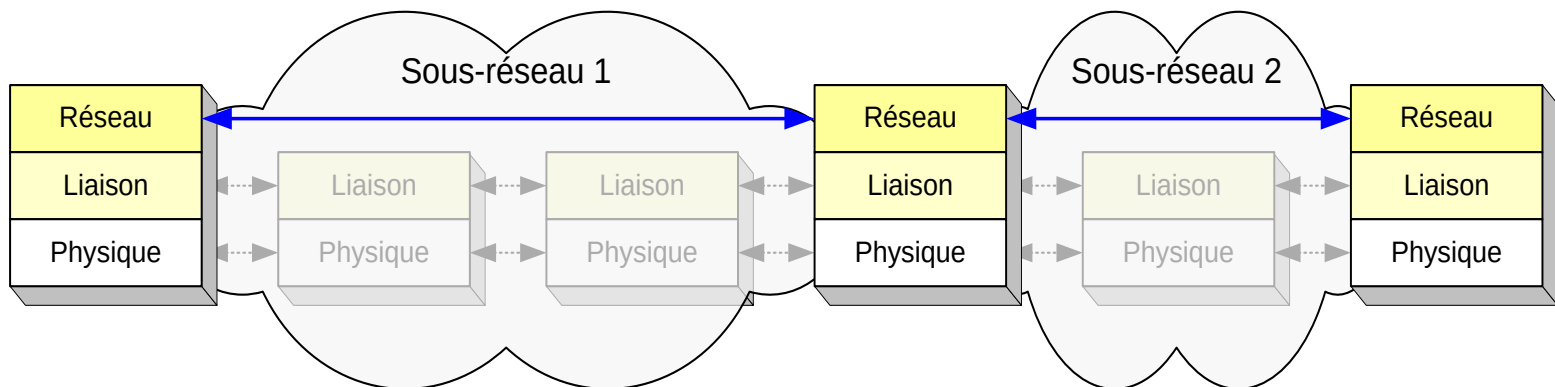
- Travaille entre systèmes voisins, à travers une seule liaison
- Découper les séquences de bits en paquets (appelés trames)
- Reconnaître les frontières entre les trames
- Détecter et corriger les erreurs de transmission
- Régulation de flux (adapter la vitesse)
- Si la liaison physique est très fiable, la couche liaison n'a pas besoin d'utiliser des mécanismes supplémentaires pour corriger les erreurs



3. Couche réseau

Gestion de sous-réseaux

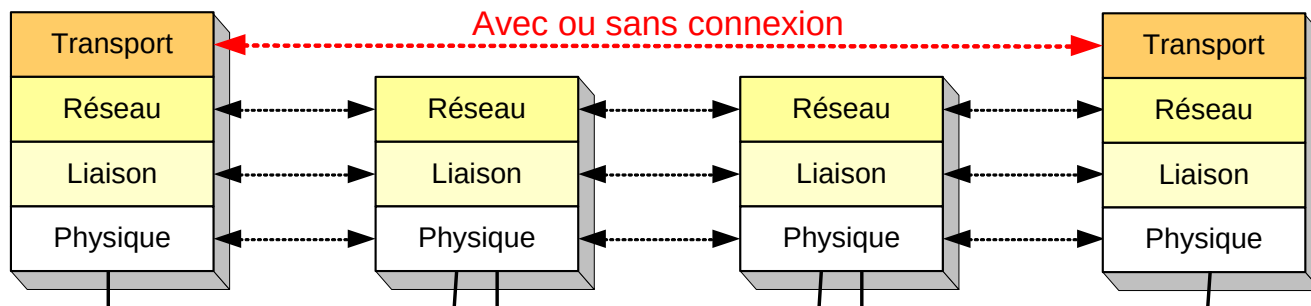
- Sous-réseau: Partie du réseau qui est contrôlée par une seule organisation
- **Acheminement/routage** de paquets entre la source et le destinataire
- **Adressage** des nœuds du réseaux
- Interconnexion de réseaux hétérogènes
 - Fragmentation de paquets
 - Conversion d'adresses
- Service orienté connexion ou sans connexion



4. Couche transport

Transmission de bout en bout, entre les terminaux

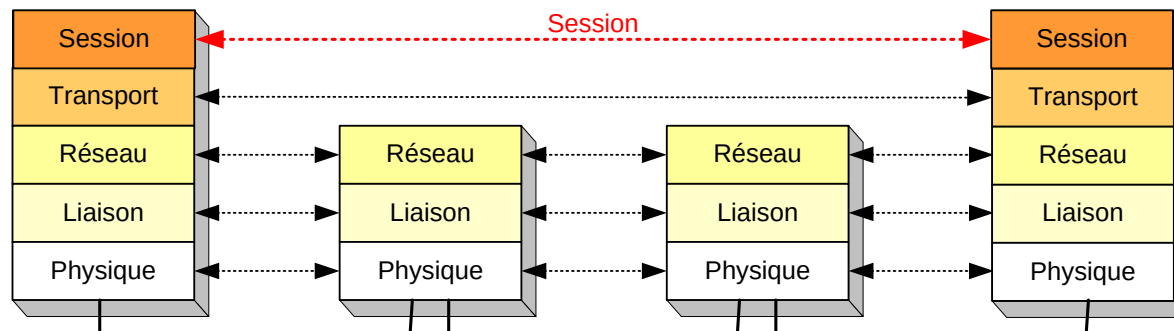
- Optimiser le transport des données
 - Ne pas surcharger le récepteur ou le réseau
 - Découper les données de la couche supérieure en unités plus petites
- Service fiable
 - Avec établissement d'une connexion
 - S'assurer que tous les paquets arrivent correctement au destinataire
- Ou service non fiable
 - Sans connexion, plus simple
 - Ne retransmet pas les paquets perdus



5. Couche session

Permet aux utilisateurs des terminaux d'établir des « sessions » entre eux

- Gérer les « dialogues », c'est-à-dire, les échanges bidirectionnels
- Rattrapage lors de l'interruption de la session
 - Exemple: transfert d'un fichier très long
 - Si la connexion de la couche transfert est interrompue, la session la rétablit et reprend le transfert

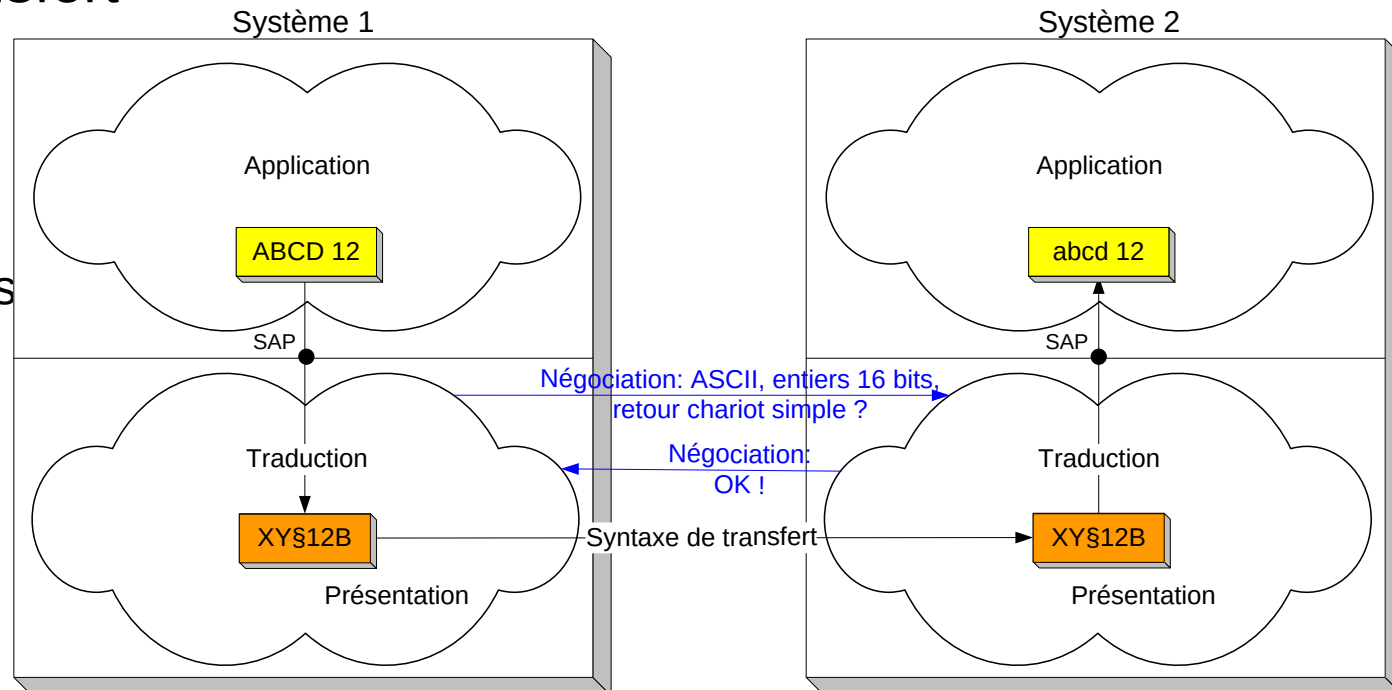


6. Couche présentation

S'occupe de la syntaxe des données transmises

- Négociation de la syntaxe de transfert
 - ASCII , Unicode, ... ou entiers sur 16 ou 32 bit
- Conversion entre la représentation utilisée par les terminaux et la syntaxe de transfert

- Assure que des systèmes terminaux utilisant des représentations différentes se comprennent



7. Couche application

Protocoles des applications

- De nombreux protocoles qui réalisent des services à travers le réseau
- Exemples
 - WWW → protocole HTTP
 - E-Mail → protocole SMTP
 - Téléphonie sur Internet → protocole SIP

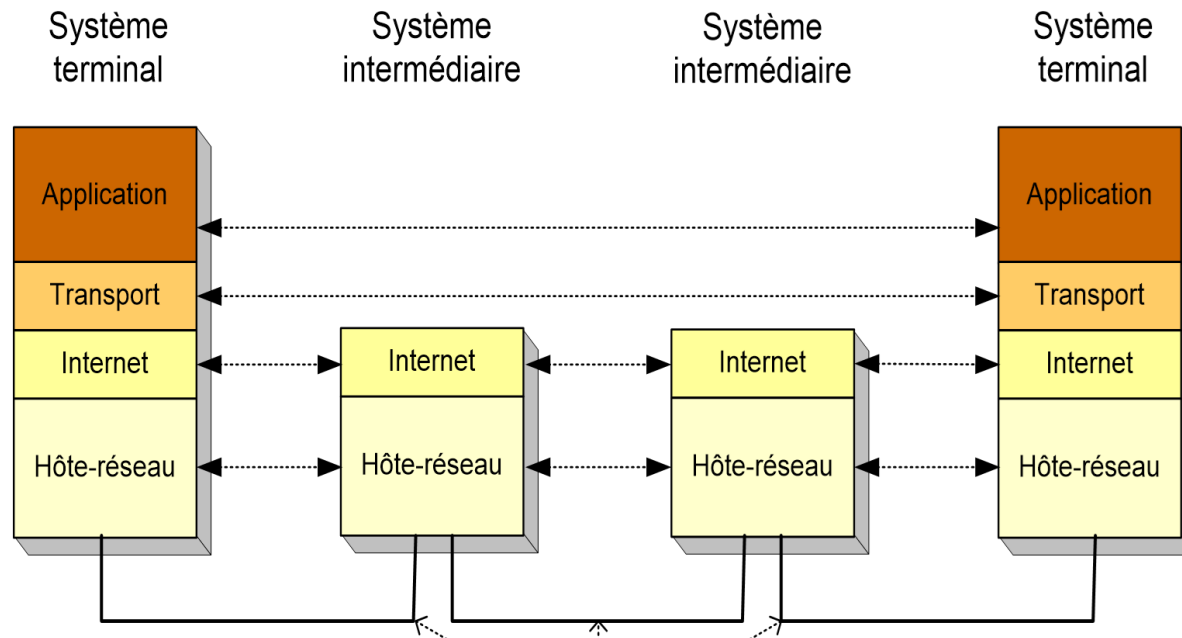
Exercices

1.4 Modèle OSI

- Nommez 3 fonctionnalités de la couche Transport (couche 4) du modèle OSI.
- Nommez 3 fonctionnalités de la couche Réseau (couche 3) du modèle OSI.

Modèle TCP/IP

- Les premiers protocoles d'ARPANET ont été implémentés sans définir un modèle en couches explicite
- Le modèle TCP/IP décrit cette implémentation, qui est toujours valable
- Il est antérieur au modèle OSI et reflète la pratique, contrairement à OSI



Comparaison avec le modèle OSI

- La couche hôte-réseau couvre les couches liaison et physique du modèle OSI
- Les couches session et présentation manquent. Ces fonctions doivent être réalisées par l'application
- Les autres couches sont similaires aux couches respectives du modèle OSI

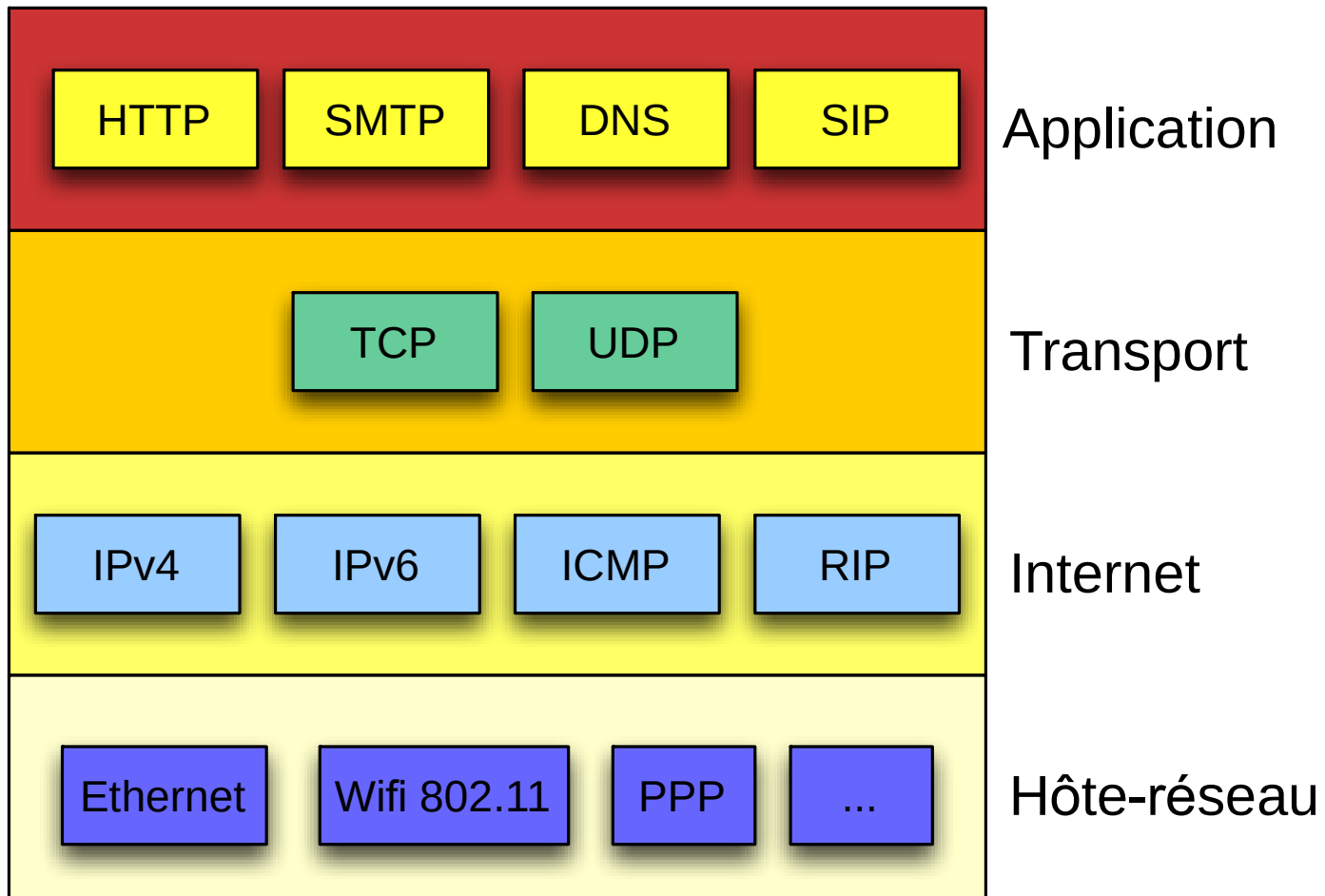
Modèle TCP

Application
<i>manque</i>
<i>manque</i>
Transport
Internet
Hôte-réseau
<i>pas spécifiée</i>

Modèle OSI

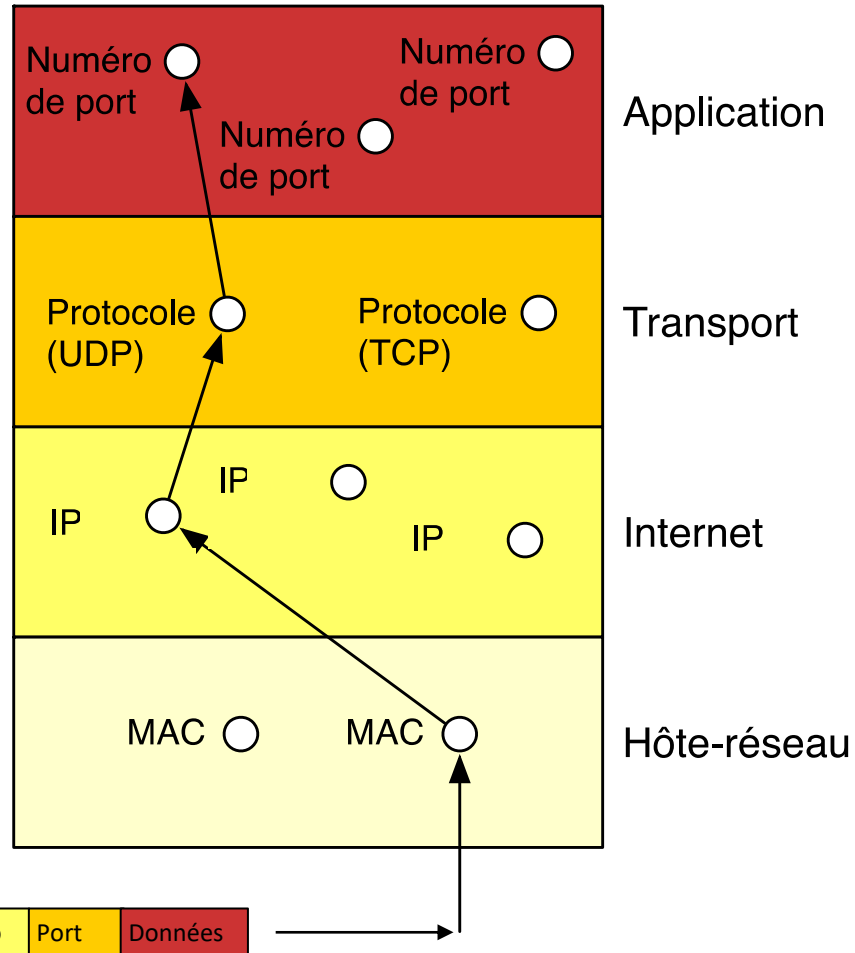
Application
Présentation
Session
Transport
Réseau
Liaison
Physique

Protocoles du modèle TCP/IP



Adressage dans le modèle TCP/IP

- A chaque couche une adresse est nécessaire pour indiquer l'entité concernée
- Les adresses font partie des en-têtes de chaque couche et lient les couches entre elles

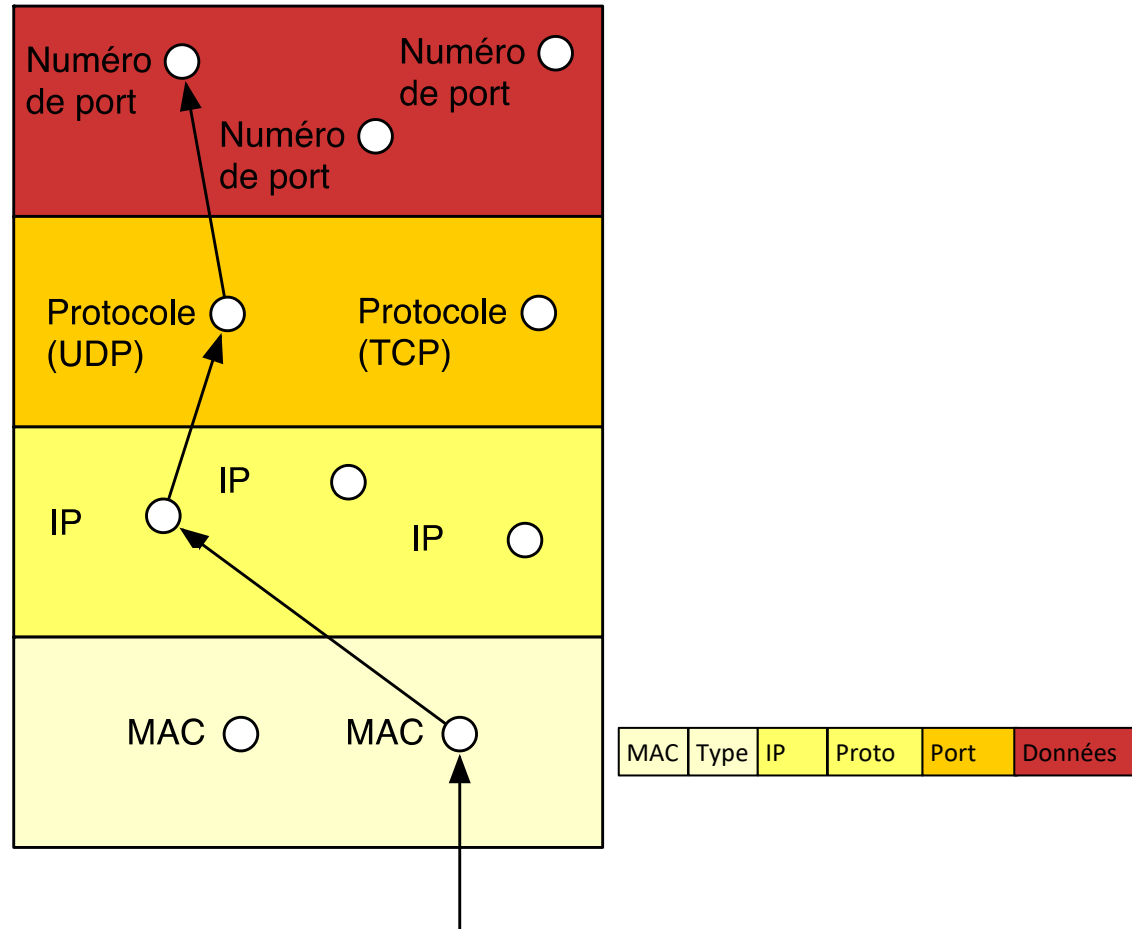


Paquet reçu sur le canal physique

Adressage dans le modèle TCP/IP

Adresse MAC

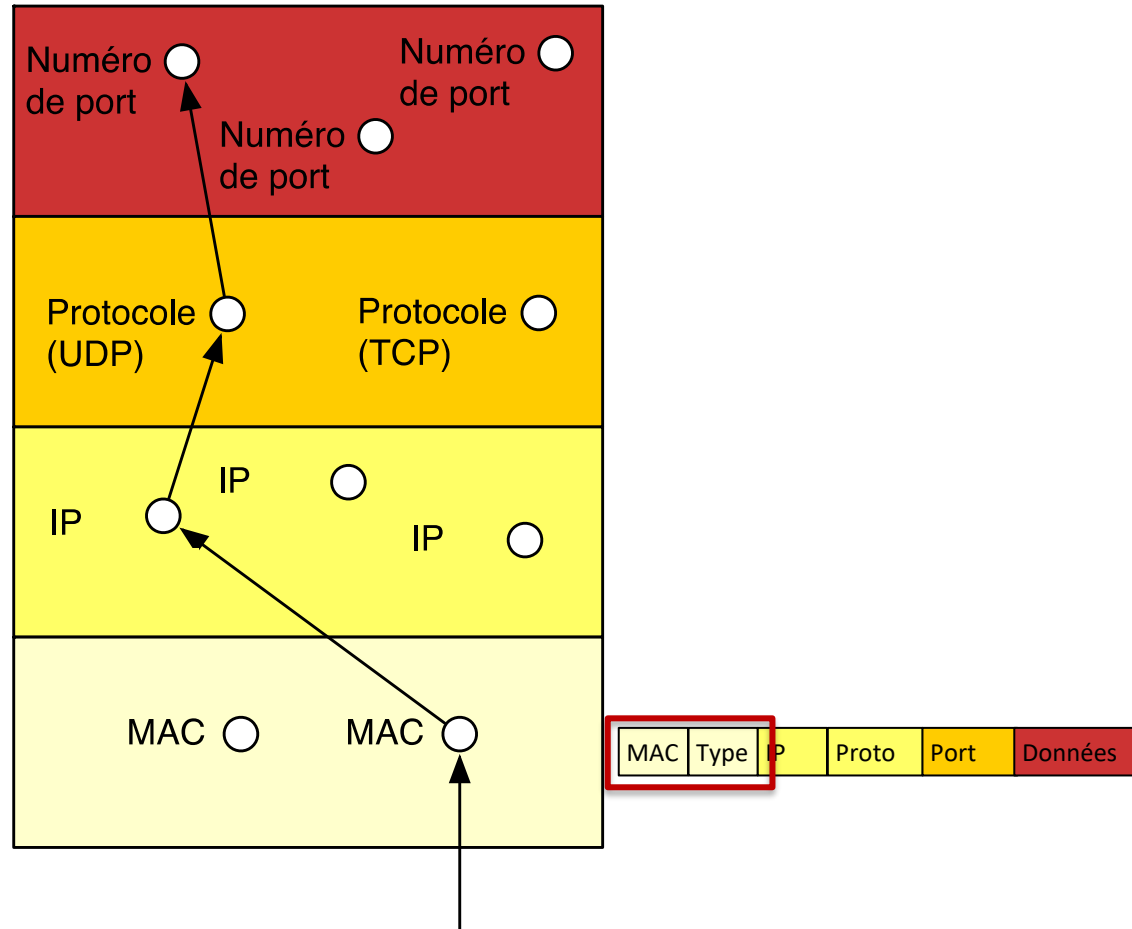
- Adresse physique d'une interface réseau
- Par exemple interface Ethernet ou interface Wifi
- Un ordinateur peut avoir plusieurs adresses MAC, une par interface



Adressage dans le modèle TCP/IP

Couche hôte-réseau

- L'entête de la couche hôte-réseau contient l'adresse MAC et le protocole supérieur
- Cette couche vérifie si l'adresse MAC est la sienne
- Elle regarde le champ « Type » de son entête pour identifier l'entité de la couche supérieure
- Elle passe le reste du paquet à cette entité



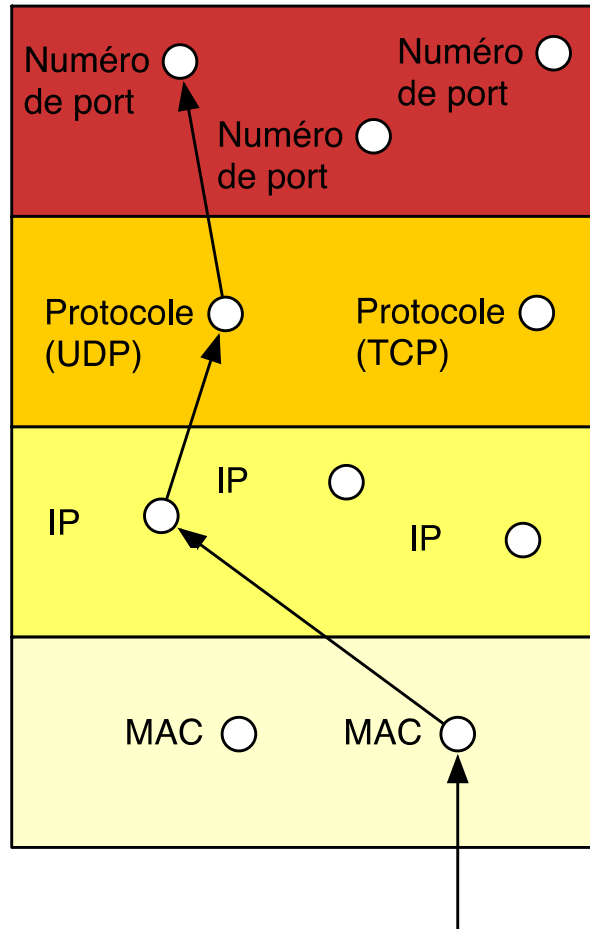
Adressage dans le modèle TCP/IP

Adresse IP

- Adresse logique d'une interface réseau
- Un ordinateur peut avoir plusieurs adresses IP, une par interface

Couche Internet

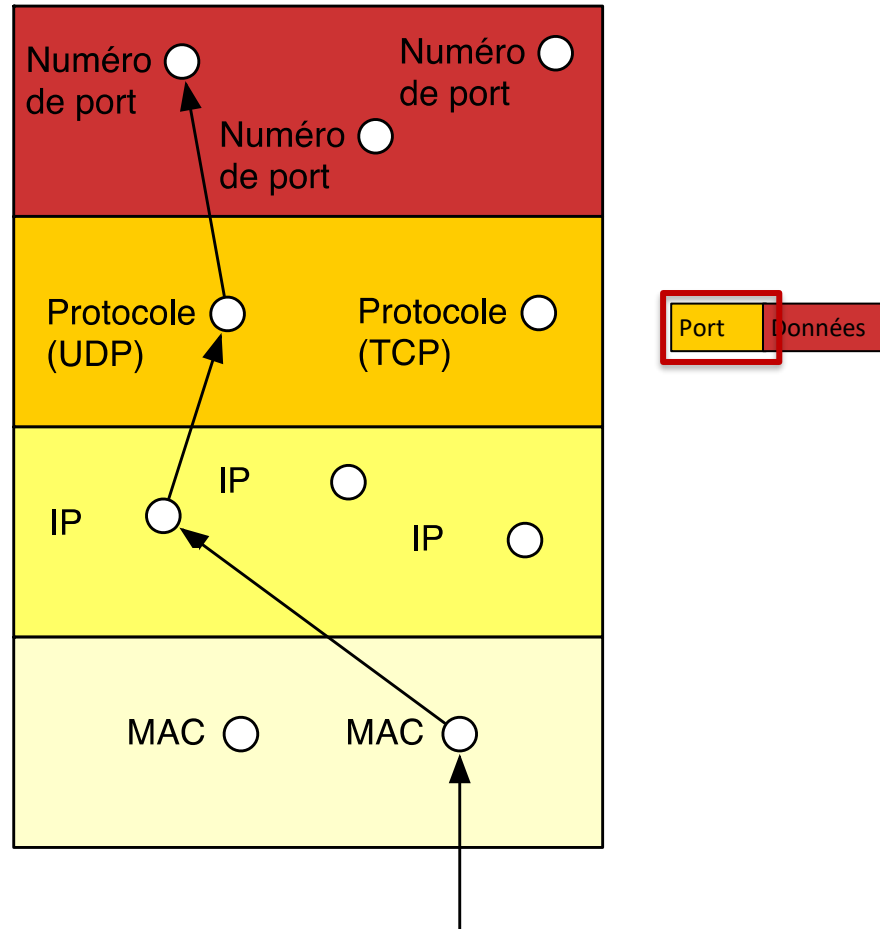
- L'entête de la couche Internet contient l'adresse IP et le protocole supérieur
- La couche Internet vérifie l'adresse de destination (est-ce la mienne?)
- Elle lit le champ « Proto » pour identifier l'entité supérieure (TCP ou UDP)?
- Elle passe le reste du paquet à l'entité supérieure



Adressage dans le modèle TCP/IP

Numéro de port

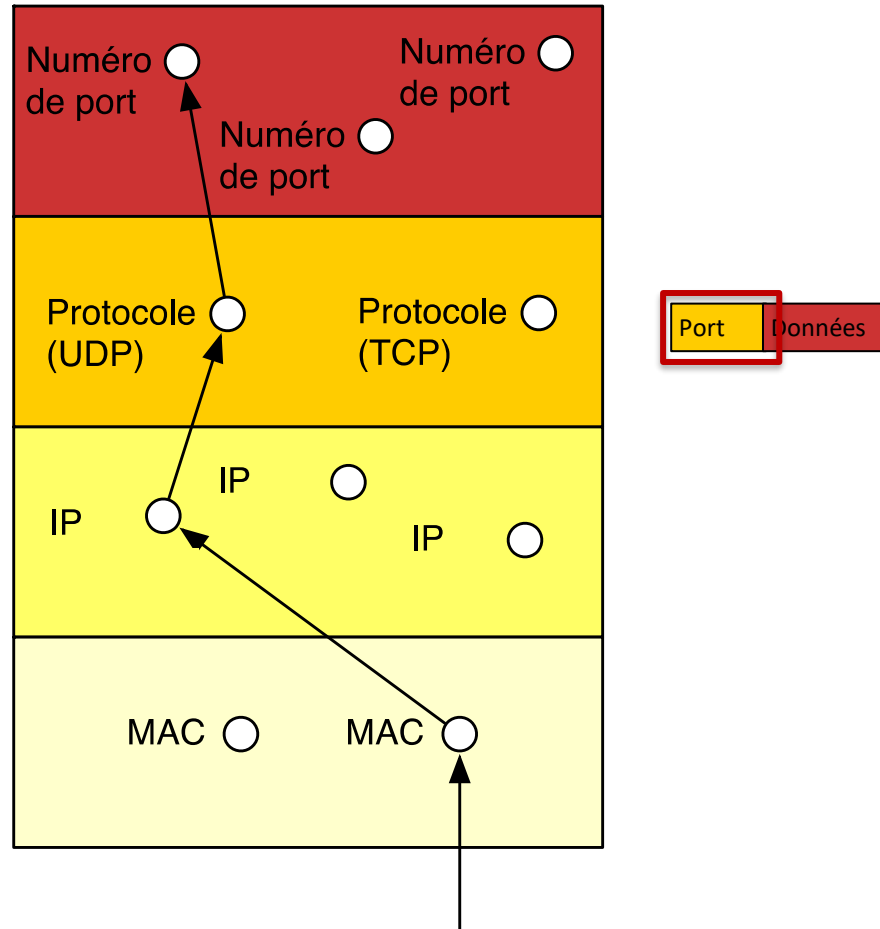
- Une application qui envoie et reçoit des données doit demander un numéro de port à TCP ou UDP
- Chaque application utilisera donc un numéro de port différent
- Certains numéros de port sont réservés pour des services courants comme Web ou Mail



Adressage dans le modèle TCP/IP

Couche transport

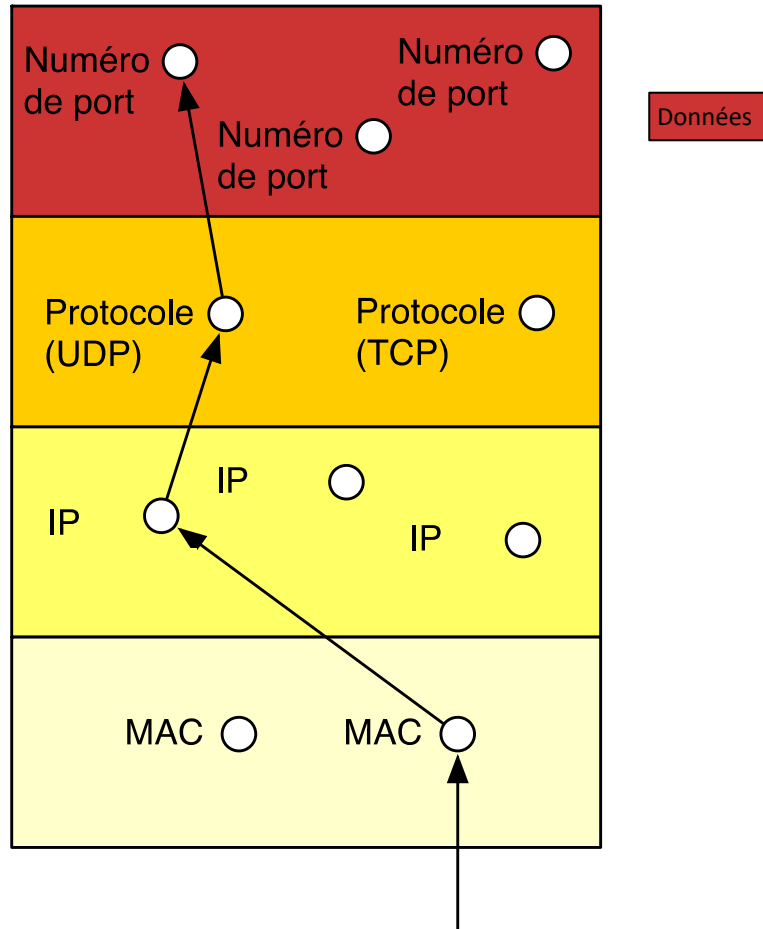
- L'entête de la couche transport contient le port de destination
- L'entité de la couche transport (TCP ou UDP) consulte ce numéro de port pour identifier l'entité supérieure qui doit recevoir les données
- La couche transport passe le reste du paquet à cette entité



Adressage dans le modèle TCP/IP

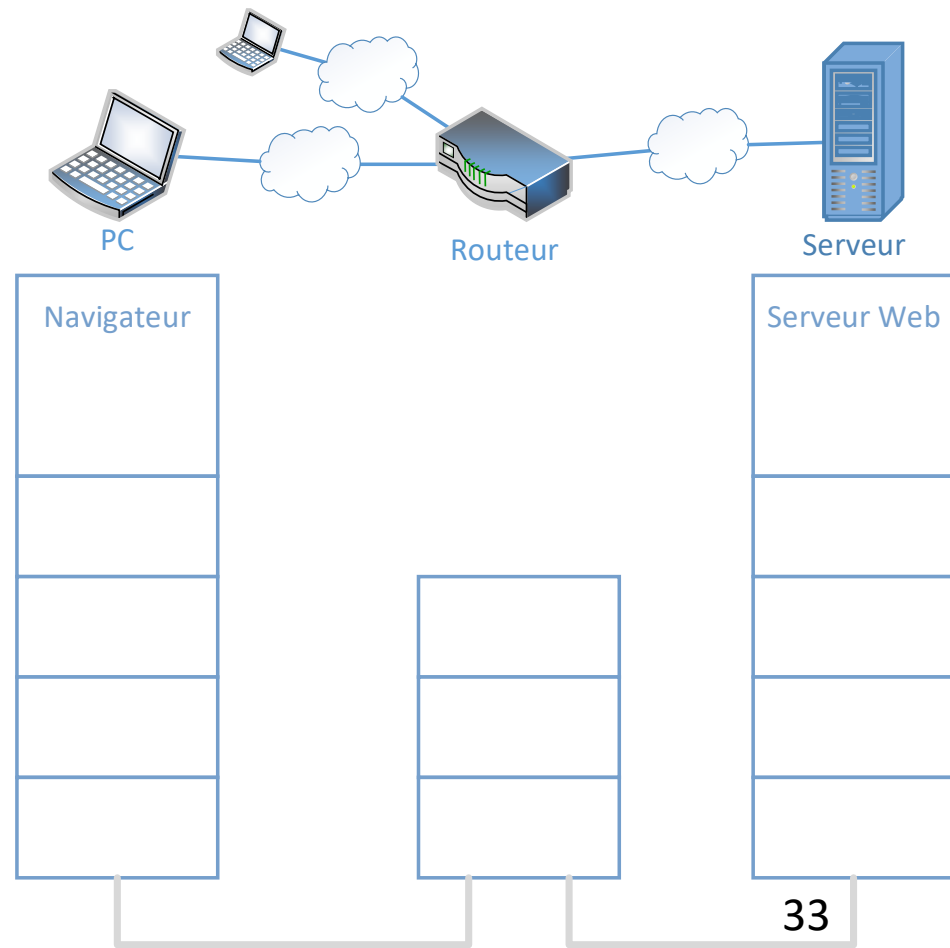
Couche transport

- L'entête de la couche transport contient le port de destination
- L'entité de la couche transport (TCP ou UDP) consulte ce numéro de port pour identifier l'entité supérieure qui doit recevoir les données
- La couche transport passe le reste du paquet à cette entité



Exemple : transmission d'une page Web

- Exemple pour illustrer l'interaction des protocoles
- **Scénario:**
 - Un navigateur a demandé une page Web à un serveur Web
 - **Le serveur Web transmet la page au client**



Exemple : transmission d'une page Web



Serveur

Serveur Web

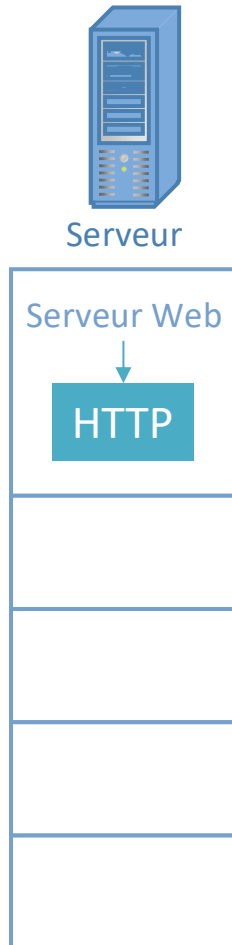


Charge utile

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>
<h1>Ma page</h1>
<p>Bonjour monde.</p>
</body>
</html>
```

- Le serveur Web génère la page Web avec le code HTML

Exemple : transmission d'une page Web



En-tête HTTP

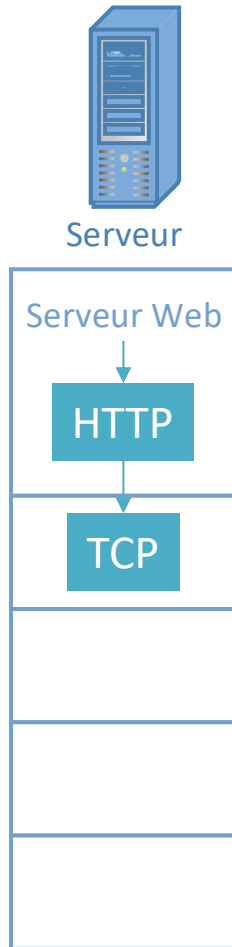
```
HTTP/1.0 200 OK
Date: Fri, 31 Dec 1999
23:59:59 GMT
Content-Type: text/html
Content-Length: 1354
Content-Encoding: gzip
```

Charge utile

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>
<h1>Ma page</h1>
<p>Bonjour monde.</p>
</body>
</html>
```

- Le serveur Web ajoute l'en-tête HTTP
 - Code si OK ou erreur
 - Type (texte, image, ...)
 - Compression ou non
 - ...

Exemple : transmission d'une page Web



En-tête HTTP

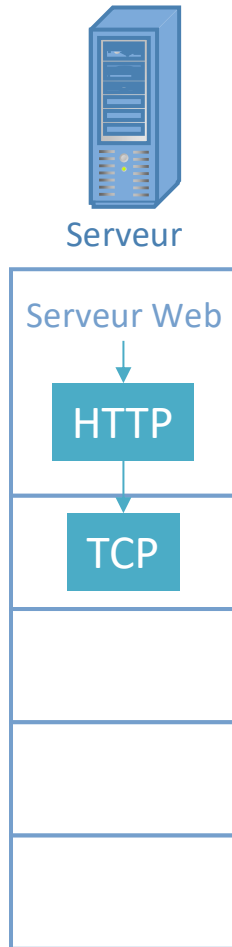
```
HTTP/1.0 200 OK
Date: Fri, 31 Dec 1999
23:59:59 GMT
Content-Type: text/html
Content-Length: 1354
Content-Encoding: gzip
```

Charge utile

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>
<h1>Ma page</h1>
<p>Bonjour monde.</p>
</body>
</html>
```

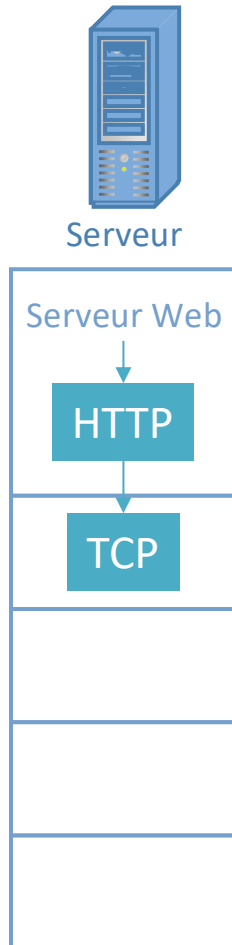
- Le serveur Web passe les données à TCP

Exemple : transmission d'une page Web

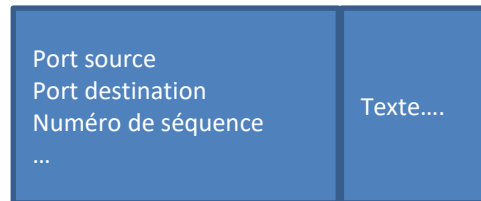


- TCP segmente les données en plusieurs paquets
 - Si les données sont trop longues pour un seul paquet

Exemple : transmission d'une page Web

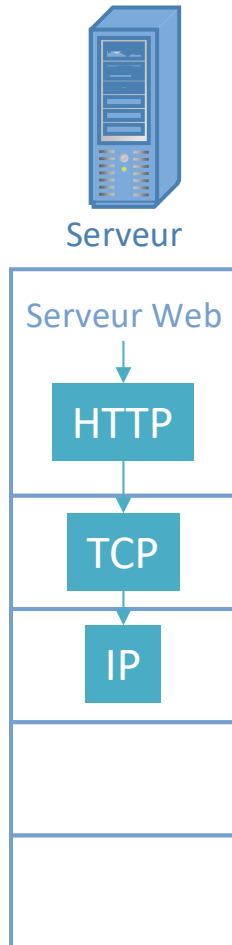


En-tête TCP



- TCP ajoute son en-tête à chaque paquet
 - Numéro de séquence du paquet
 - Numéro de port 80 comme port source (= entité supérieure)
 - ...

Exemple : transmission d'une page Web



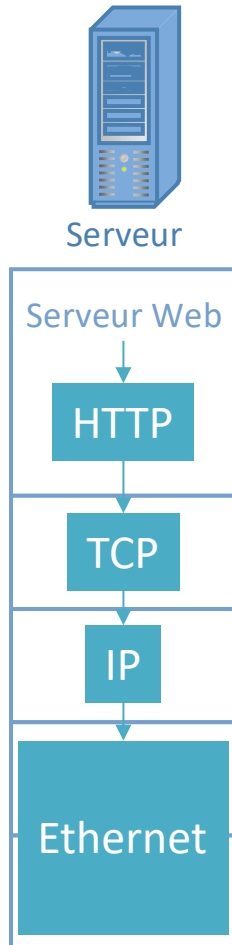
En-tête IP

En-tête TCP

Adresse IP source Adresse IP destination Protocole supérieur = TCP Longueur du paquet ...	Port source Port destination Numéro de séquence ...	Texte....
---	--	-----------

- TCP passe le paquet à IP qui ajoute son en-tête
 - Adresses IP source et destination
 - Protocole de la couche supérieure
 - Longueur du paquet
 - ...

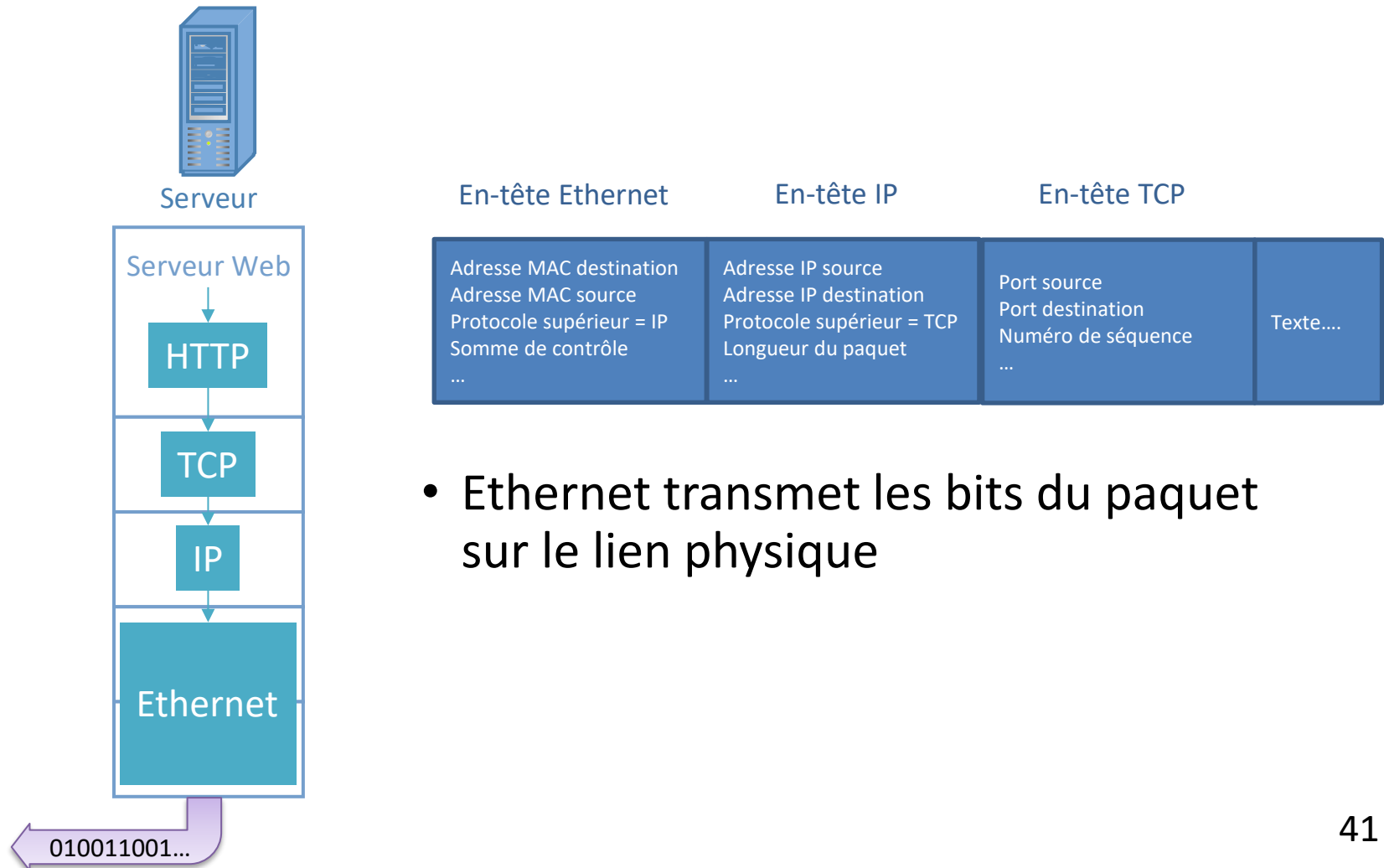
Exemple : transmission d'une page Web



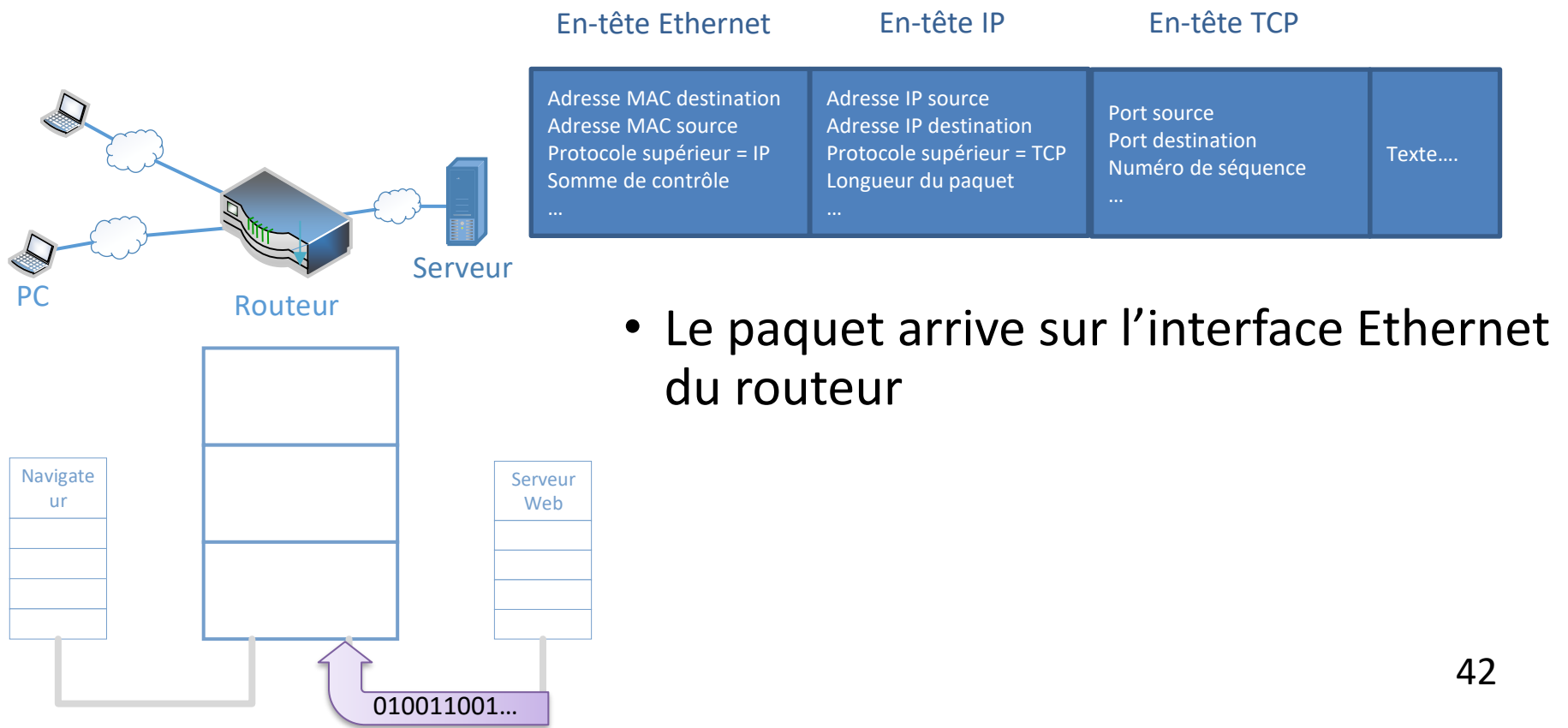
En-tête Ethernet	En-tête IP	En-tête TCP	
Adresse MAC destination Adresse MAC source Protocole supérieur = IP Somme de contrôle ...	Adresse IP source Adresse IP destination Protocole supérieur = TCP Longueur du paquet ...	Port source Port destination Numéro de séquence ...	Texte....

- Ethernet ajoute son en-tête
 - Adresses MAC source et destination
 - Protocole de la couche supérieure
 - Somme de contrôle
 - ...

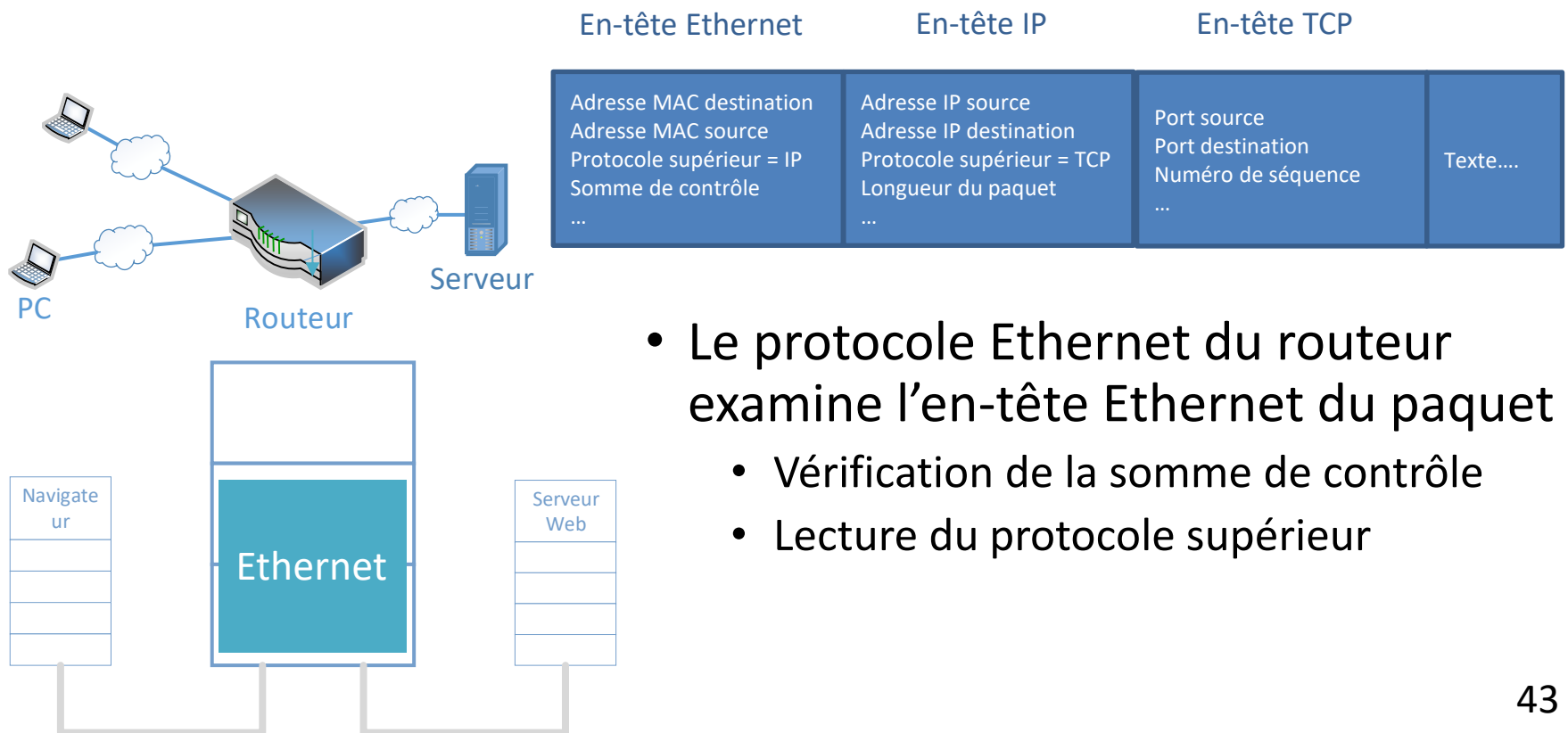
Exemple : transmission d'une page Web



Exemple : transmission d'une page Web

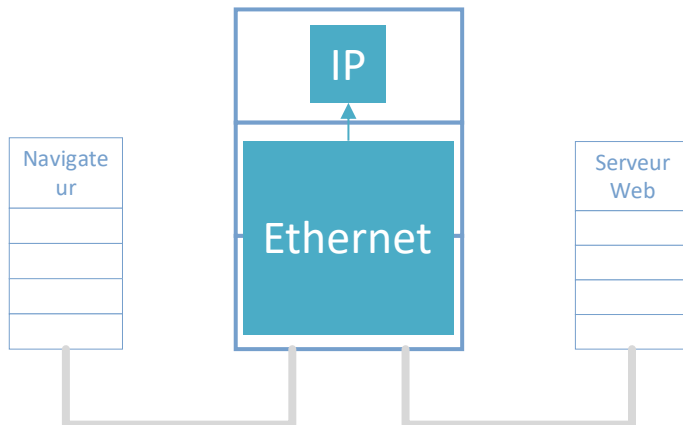
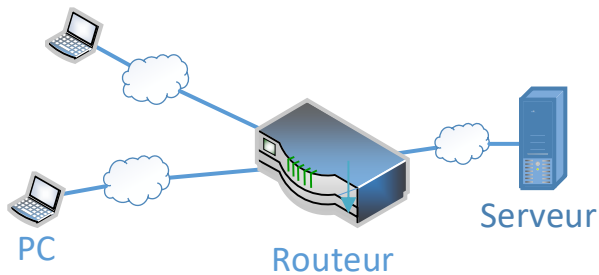


Exemple : transmission d'une page Web



- Le protocole Ethernet du routeur examine l'en-tête Ethernet du paquet
 - Vérification de la somme de contrôle
 - Lecture du protocole supérieur

Exemple : transmission d'une page Web



En-tête IP

En-tête TCP

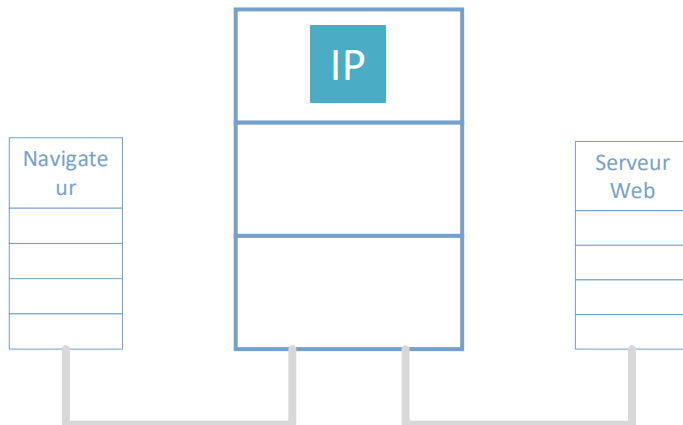
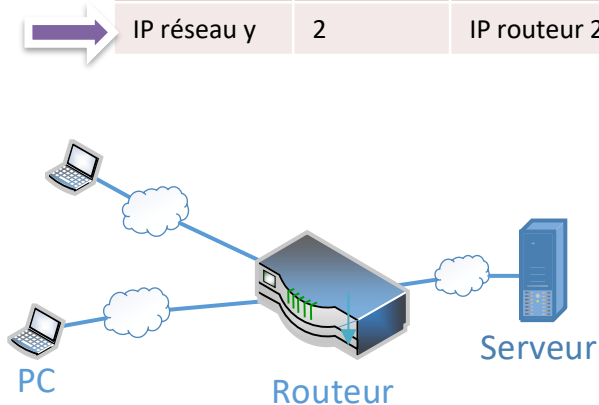
Adresse IP source Adresse IP destination Protocole supérieur = TCP Longueur du paquet ...	Port source Port destination Numéro de séquence ...	Texte....
---	--	-----------

- Ethernet enlève son en-tête et passe le reste du paquet à la couche supérieure

Exemple : transmission d'une page Web

Table de routage

Réseau	Interface	Prochain routeur
IP réseau x	1	IP routeur 1
IP réseau y	2	IP routeur 2



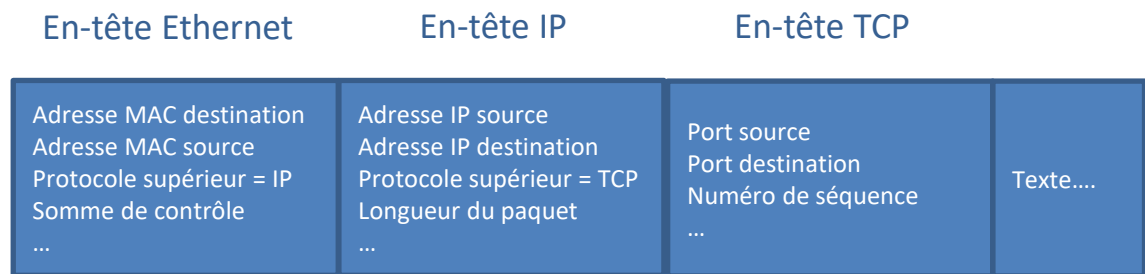
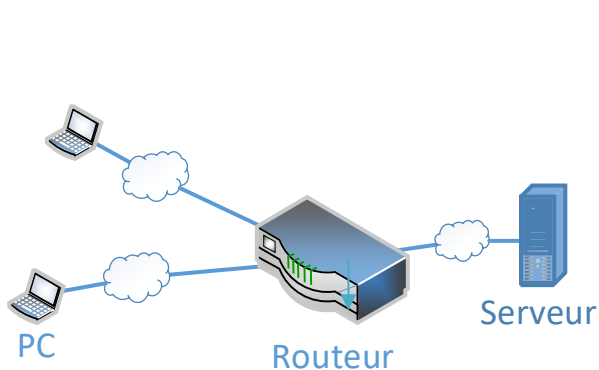
En-tête IP

En-tête TCP

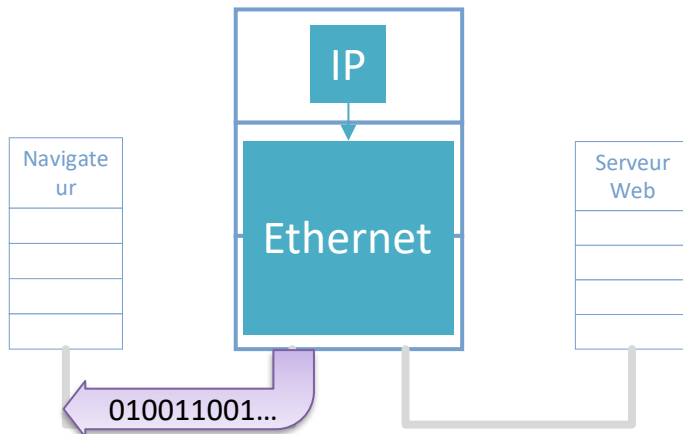
Adresse IP source Adresse IP destination Protocole supérieur = TCP Longueur du paquet ...	Port source Port destination Numéro de séquence ...	Texte....
---	--	-----------

- IP inspecte l'en-tête IP
 - Adresse de destination
- IP cherche dans sa table de routage la route vers le réseau du destinataire
- IP décide l'interface de sortie vers le prochain nœud

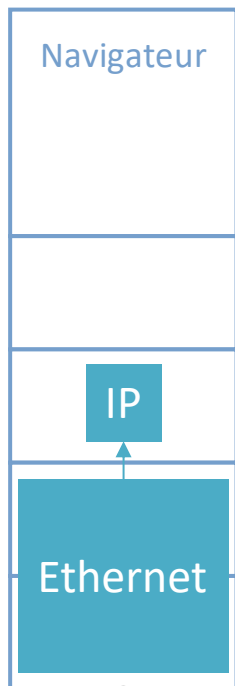
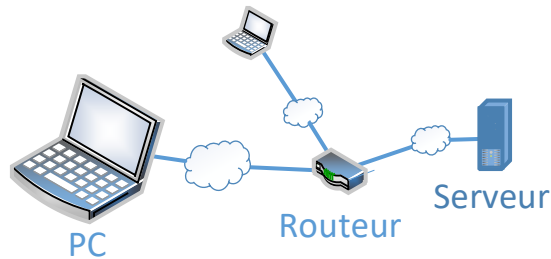
Exemple : transmission d'une page Web



- IP passe le paquet à Ethernet
- Ethernet ajoute son en-tête
- Ethernet transmet les bits sur l'interface de sortie



Exemple : transmission d'une page Web



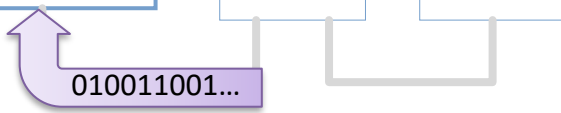
En-tête Ethernet

En-tête IP

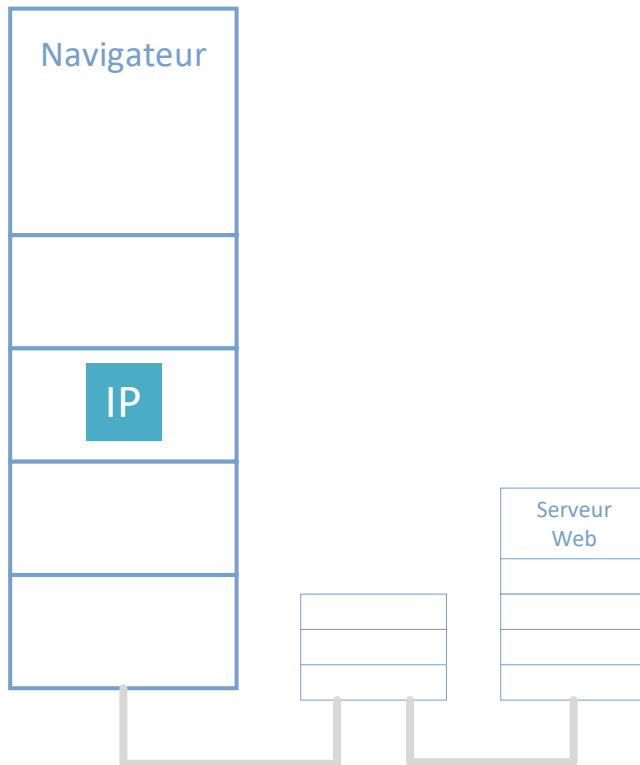
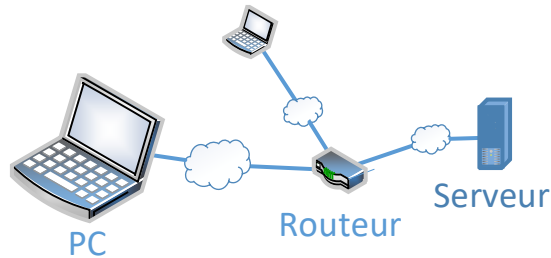
En-tête TCP

Adresse MAC destination Adresse MAC source Protocole supérieur = IP Somme de contrôle ...	Adresse IP source Adresse IP destination Protocole supérieur = TCP Longueur du paquet ...	Port source Port destination Numéro de séquence ...	Texte....
---	---	--	-----------

- Le paquet arrive sur l'interface Ethernet du PC client
- Ethernet examine son en-tête
- Ethernet enlève son en-tête et passe le paquet à IP



Exemple : transmission d'une page Web



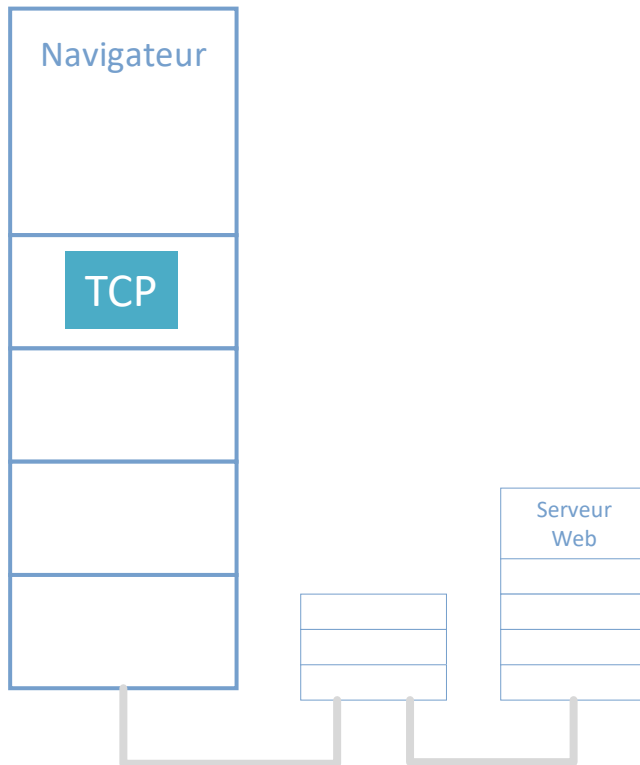
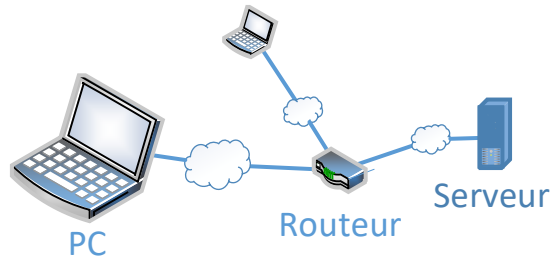
En-tête IP

En-tête TCP

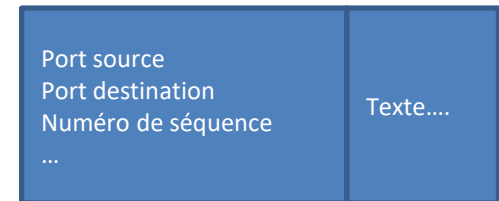
Adresse IP source Adresse IP destination Protocole supérieur = TCP Longueur du paquet ...	Port source Port destination Numéro de séquence ...	Texte....
---	--	-----------

- IP examine l'en-tête IP
 - Il observe que l'adresse IP de destination est la sienne
 - Il observe que le protocole supérieur est TCP
 - IP enlève son en-tête et passe le reste à TCP

Exemple : transmission d'une page Web

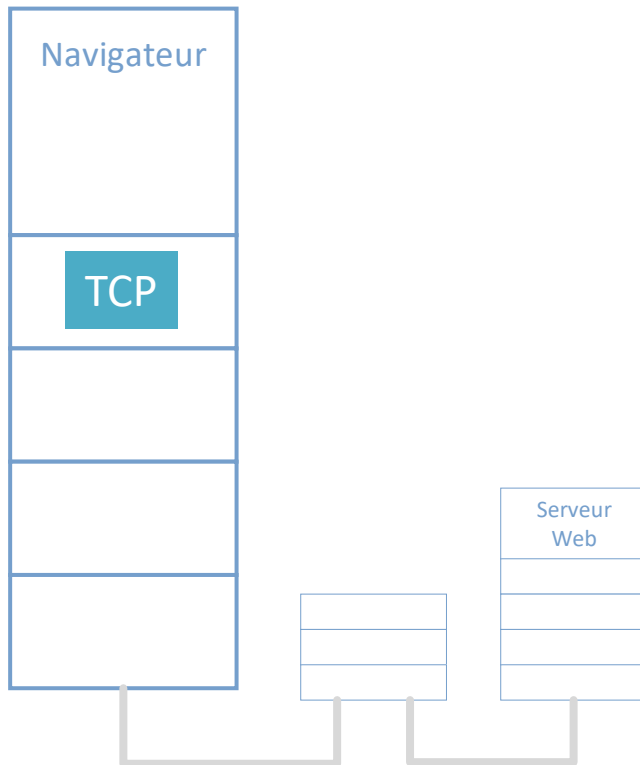
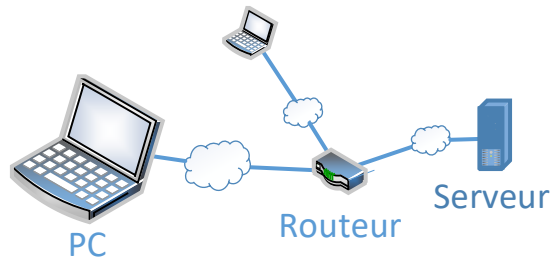


En-tête TCP



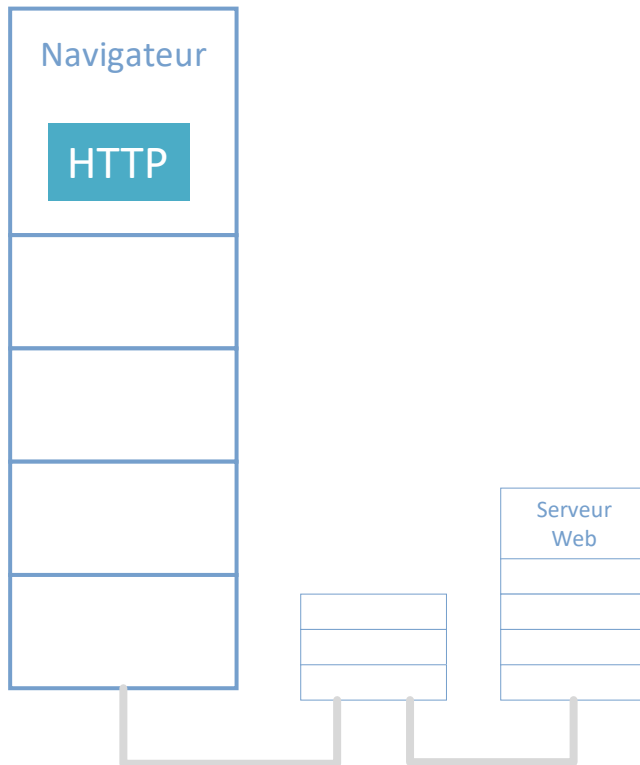
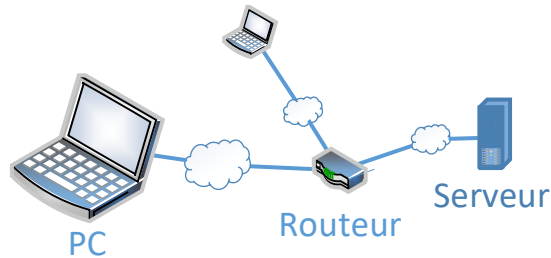
- TCP examine l'en-tête TCP
 - Il contrôle le numéro de séquence pour remettre les paquets dans l'ordre correcte et détecter des paquets perdus (ou dupliqués)
 - TCP examine le port de destination et trouve le processus à qui il appartient, en l'occurrence le navigateur

Exemple : transmission d'une page Web



- TCP reçoit ainsi tous les paquets et recompose les données originales envoyées par le serveur Web
- TCP avertit le processus « Navigateur » qu'il peut lire les données reçues

Exemple : transmission d'une page Web



En-tête HTTP

```
HTTP/1.0 200 OK
Date: Fri, 31 Dec 1999
23:59:59 GMT
Content-Type: text/html
Content-Length: 1354
Content-Encoding: gzip
```

Charge utile

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>
<h1>Ma page</h1>
<p>Bonjour monde.</p>
</body>
</html>
```

- Le navigateur lit les données, qui contiennent l'en-tête HTTP et le texte HTML de la page Web
- Il examine l'en-tête HTTP pour interpréter la réponse (OK ou non, ...)
- Il affiche la page Web

Éléments d'un réseau

- Un réseau informatique comprend des **terminaux**
 - PC, serveurs, ...
- et des **nœuds intermédiaires**
 - Routeurs, switches,
- Les terminaux typiquement implémentent toutes les couches jusqu'à l'application
- Les nœuds intermédiaires implémentent uniquement les couches nécessaires pour leur travail

Types d'équipements

- Switch Ethernet
 - À l'intérieur d'un réseau local d'une entreprise ou à la maison
 - Interconnecte les équipements d'un même 'réseau' avec un débit élevé (100 Mb/s – 10 Gb/s)
 - Implémente Ethernet (couches 1+2), avec quelques fonctions supplémentaires



Types d'équipements

- Point d'accès Wifi
 - Comme un switch Ethernet, mais pour Wifi
 - A l'intérieur d'un réseau local
 - Implémente les couches 1+2



Types d'équipements

- **Routeur**
 - A comme fonction principale de trouver pour chaque paquet le meilleur chemin vers le destinataire
 - Implémente le protocole IP
 - Examine l'adresse IP de destination de chaque paquet
 - Implémente des protocoles de routage
 - Pour remplir la table de routage



Types d'équipements

- «Routeur» Internet (Internet box)
 - Equipements qui combinent plusieurs fonctions
 - Modem pour la connexion à la ligne téléphonique
 - Switch Ethernet avec plusieurs interfaces
 - Point d'accès Wifi
 - Routeur vers le réseau du fournisseur d'accès
 - Serveur DHCP
 - Firewall



Exercices

1.5 Modèle TCP/IP

- a) Classez les protocoles suivants dans les couches du modèle TCP/IP :
HTTP, IPv4, ICMP, DNS, RIP, TCP, Ethernet, UDP, Wifi.
- b) Pour chacune des couches du modèle TCP/IP, indiquez le type d'adresses utilisé pour identifier l'entité de cette couche.

1.6 Retransmission

La retransmission de données peut se faire à la couche liaison et à la couche transport, mais la plupart des couches liaison (p.ex. Ethernet) ne fournissent pas de service fiable avec retransmission. Dans quelle situation est-il préférable d'effectuer les retransmissions déjà à la couche liaison ?