Licence 3 Informatique - SR2

Systèmes et Réseaux II

Chapitre 3

Adressage et routage

Éric Leclercq
Département IEM / uB
Eric.Leclercq@u-bourgogne.fr
Bureau R8 Aile H

19 janvier 2024

Couleurs test

SCred
SCdarkred
SCdarkgray
SCdark
SCgray
SClightgray

Plan du chapitre

TCP/IP et modèle OSI

TCP/IP est suite des protocoles organisés en pile et utilisés par Internet.

Le deux protocoles d'origine sont (RFC 1122) :

- TCP (Transmission Control Protocol)
- IP (Internet Protocol)

Le modèle OSI (Open Systems Interconnection) est une vue conceptuelle des protocoles réseau définie par l'ISO.

Il propose une décomposition des différents protocoles en 7 couches correspondant reflétant les différents niveaux d'abstraction des protocoles.

Notion de couches

Le principe du modèle OSI repose sur le concept d'abstration :

- chaque couche résout un certain nombre de problèmes relatifs à la transmission de données
- chaque couche defini des services pour les couches supérieures
- les couches hautes gèrent des données plus abstraites (proche de l'utilisateur), en utilisant les services des couches basses
- la couche 1 émet les données sur le medium physique

Les sept couches

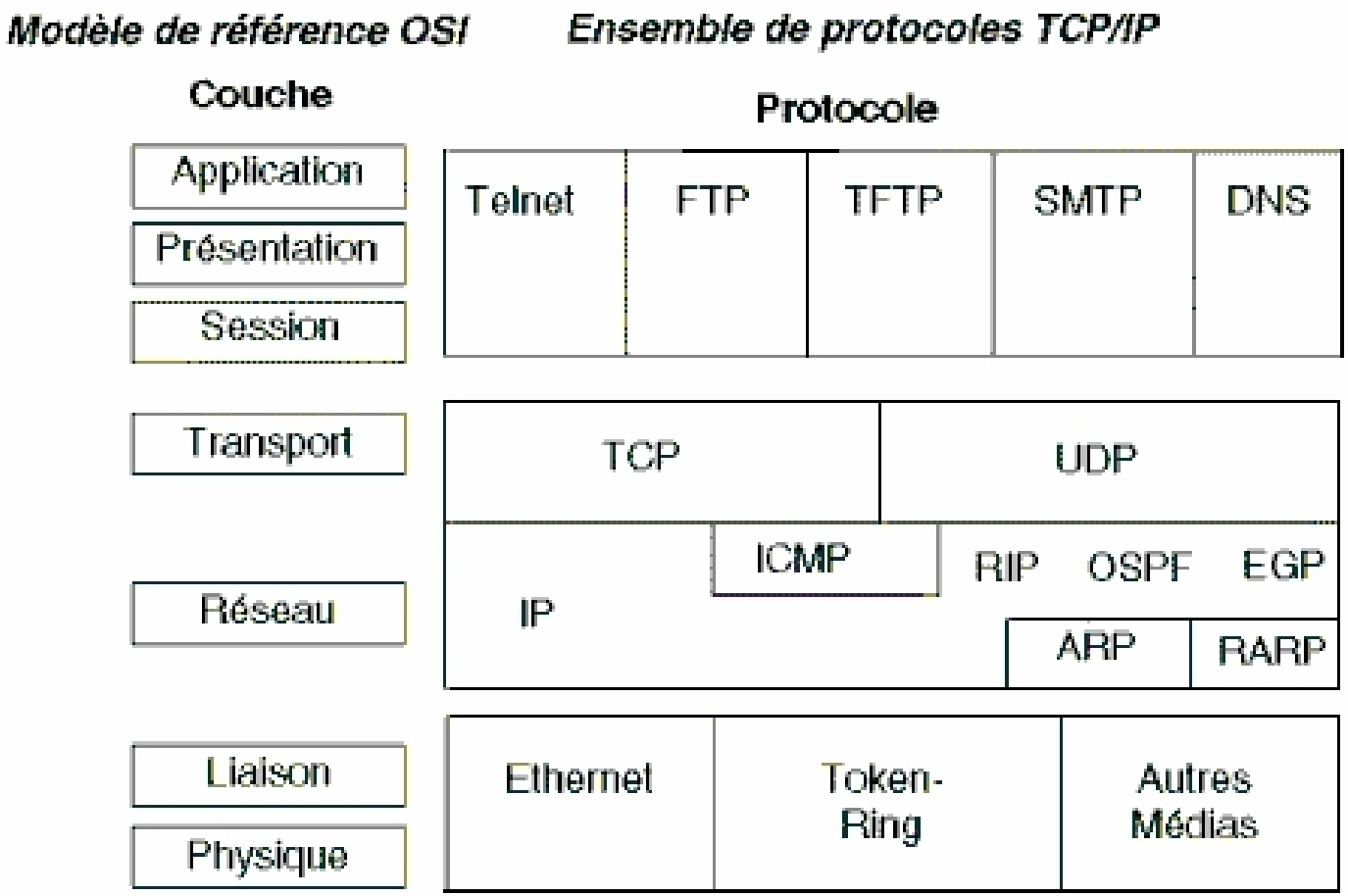
1. la couche physique est chargée de la transmission des signaux entre les interlocuteurs c-à-d l'émission et la réception d'un bit ou d'une suite de bits ;
2. la couche liaison de données gère les communications entre 2 machines adjacentes ;
3. la couche réseau gère les communications de bout en bout, généralement entre machines → routage et adressage des paquets ;
4. la couche transport gère les communications de bout en bout entre processus du système d'exploitation ;
5. la couche session gère la synchronisation des échanges : permet l'ouverture et la fermeture de session ;
6. la couche présentation traite du codage des données applicatives (conversion entre données manipulées au niveau applicatif et suites d'octets transmises) ;
7. la couche application est le point d'accès aux services réseaux, elle n'a pas de service propre spécifié dans le modèle.

référence ISO 7498)

Modèle OSI		TCP/IP
7	Application	*Applications* *Services Internet*
6	Présentation	
5	Session	
4	Transport	*Transport (TCP)*
3	Réseau	*Internet (IP)*
2	Liaison	*Accès au Réseau*
1	Physique	

Les couches du modèle OSI

Couches du modèles OSI et couches éléments de la pile de protocoles TCP/IP :



Les protocoles importants de la famille TCP/IP

Définition : (ARP)

Le protocole de résolution d'adresse (Adress Resoltion Protocol) spécifie comment déterminer l'adresse physique (MAC) correspondant à une adresse IP. Il fonctionne au niveau de la couche d'accès reseau.

La commande `arp` des SE Unix et Windows permet de manipuler la table de correspondances adresses MAC, adresses IP.

Définition : (IP)

Le protocole IP gère la transmission le routage, la fragmentation et le réassemblage des données au niveau de la couche Internet.

Les protocoles importants de la famille TCP/IP

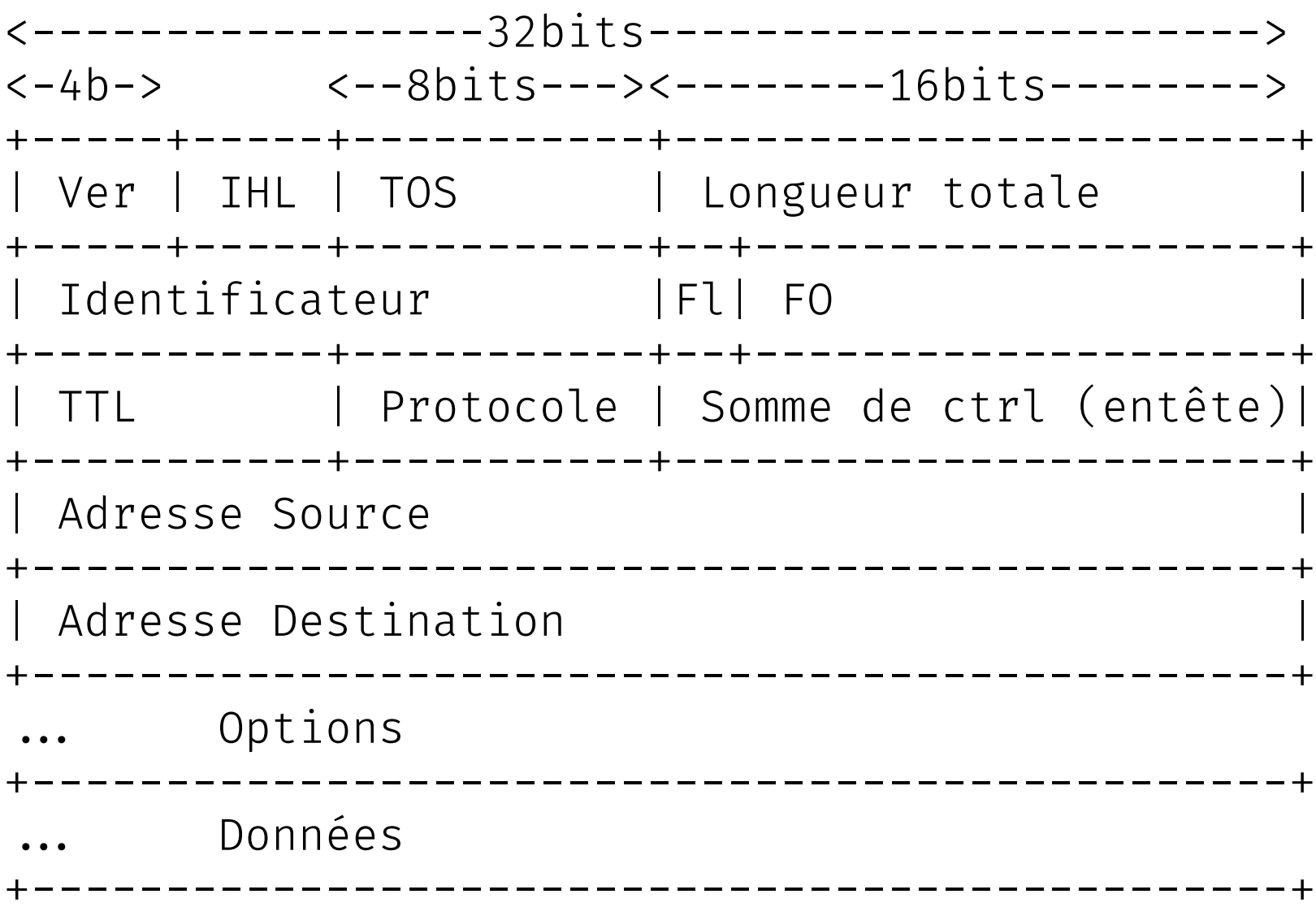
Définition : (TCP)

Le protocole TCP apporte la gestion des session de communication entre application (c-à-d sur un réseau fiable). Il propose un contrôle de flux, la détection et la correction des erreurs au niveau de la couche transport.

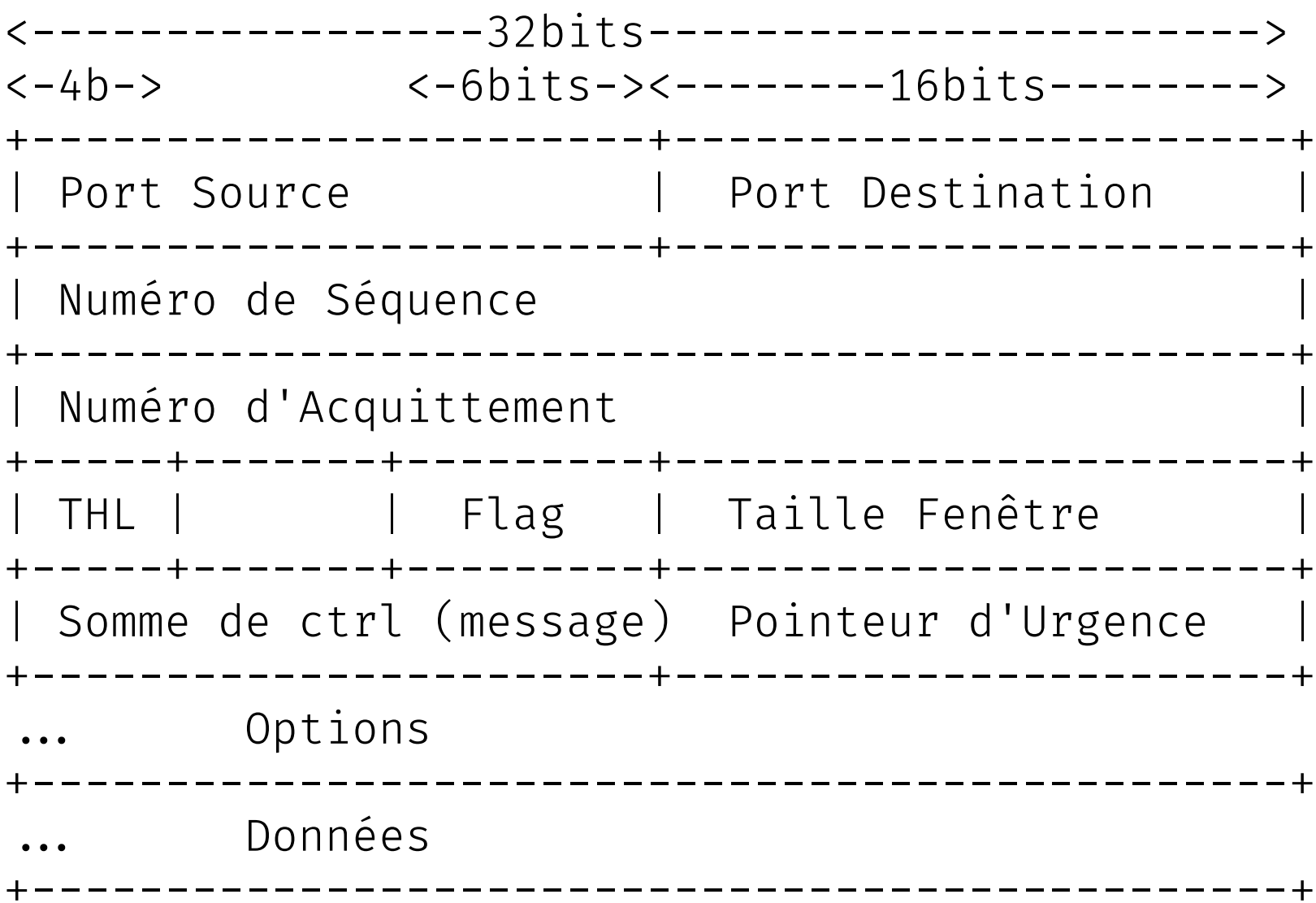
Définition : (UDP)

Le protcole UDP (User Datagram Protocol) suuporte les communications entre applications sans connexion au niveau de la couche transport. Les données transmisses ne sont pas contrôlées c'est à l'application de faire les contrôles.

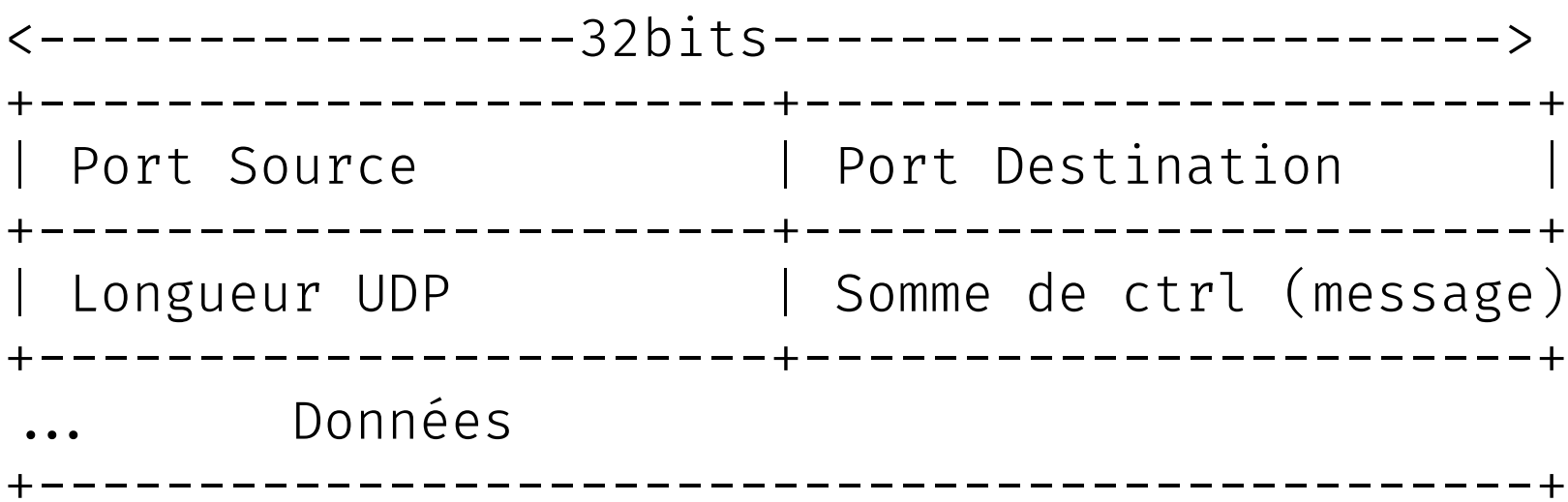
Exemple de datagramme IP



Structure de segment TCP



Structure de datagramme UDP



Où en sommes nous ?

1. Principes fondamentaux de TCP/IP

2. **Adressage**
   - Codage des adresses
   - Division en classes
   - Classes d'adresse particulières
   - Classes d'adresses

Adressage

- le protocole TCP/IP utilise des nombres de 32 bits pour adresser les machines (adresse IP)
- les adresses sont structurées sous la forme de 4 nombres entre 0 à 255 séparès par des points (4×8 bits)
- on distingue deux parties dans l'adresse IP :
  - la partie des nombres à gauche désigne le réseau (on l'appelle net-id)
  - la partie des nombres de droite restants désignent les ordinateurs du réseau détermine par net-id (on l'appelle host-id)
- IANA (Internet Assigned Numbers Agency) est chargée d'attribuer ces adresses
- il ne doit pas exister deux ordinateurs joignables sur le réseau ayant la même adresse IP

Adressage (notion de classe)

Définition : (classe)

Une classe est une subdivision de l'espace d'adressage

- l'espace d'adressage est divisé en une partie pour désigner un réseau et une partie pour les machines de ce réseau (host-id et net-id)
- plus le nombre de bits réservé au réseau est petit, plus ceux-ci peuvent contenir de machines

Exemple :

- un réseau noté X peut contenir des ordinateurs dont l'adresse IP peut aller de `X.0.0.1` à `X.255.255.254`
  soit (256×256×256)-2=16777214 possibilités

Adressage (adresses particulières)

Exemple :

- un réseau noté XYZ.TUV ne pourra contenir que des ordinateurs dont l'adresse IP sera comprise entre `X.Y.0.1` et `X.Y.255.254`
  soit (256×256)-2=65534 possibilités

- Lorsque la partie host-id=0 (lorsque l'on remplace les bits réservés aux machines du réseau), on obtient l'adresse réseau
- **Exemple :** 192.68.12.0 est une adresse réseau ⇒ on ne peut donc pas l'attribuer à un des machines du réseau
- Lorsque la partie net-id=0, c'est-à-dire lorsque l'on remplace les bits réservés au réseau, on obtient ce que l'on appelle l'adresse machine (dans le réseau).

Adressage (adresses particulières)

- Lorsque tous les bits de la partie host-id sont à 1, on obtient **l'adresse de diffusion** (en anglais broadcast), c'est-à-dire une adresse qui permettra d'envoyer le message à toutes les machines situées sur le réseau spécifié par le net-id.
- Lorsque tous les bits de la partie net-id sont à 1, on obtient l'adresse de diffusion limitée (multicast).
- L'adresse 127.0.0.1 est appelée adresse de boucle locale (loopback) : désigne la machine locale (localhost).
- Le réseau 127.0.0.0 est réservé.

Adressage — Classe A

Les adresses IP sont réparties en classes définies selon le nombre d'octets qui représentent le réseau.

- Pour une adresse IP de **classe A** : le premier octet représente le réseau.
- Le bit de poids fort (le premier bit, celui de gauche) est à zéro, ce qui signifie qu'il y a 2^7 (00000000 à 01111111) possibilités de réseaux, soit 128 mais :
  - le réseau 0 (00000000) n'existe pas et le nombre 127 est réservé pour la machine locale
- Les réseaux de classe A disponibles sont donc les réseaux allant de 1.0.0.0 à 126.0.0.0
- Les trois octets de droite représentant les machines du réseaux, un réseau de classe A peut donc contenir : $2^{24} - 2 = 16777214$ ordinateurs.

Adressage — Classe B

- Pour une adresse IP de **classe B** : les deux premiers octets représentent le réseau.
- Les deux premiers bits sont 1 et 0, ce qui signifie qu'il y a 2^{14} (10 000000 00000000 à 10 111111 11111111) possibilités de réseaux, soit 16384 réseaux possibles.
- Les réseaux disponibles de classe B sont donc les réseaux allant de 128.0.0.0 à 191.255.0.0
- Les deux octets de droite représentant les machines du réseau, le réseau peut donc contenir un nombre de machines égal à : $2^{16} - 2 = 65534$.
- En binaire, une adresse IP de classe B, a la forme suivante : 10xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx

Adressage — Classe C

- Pour une adresse IP de **classe C** : les trois premiers octets représentent le réseau.
- Les trois premiers bits sont 1,1 et 0, ce qui signifie qu'il y a 2^{21} possibilités de réseaux, c'est-à-dire 2097152.
- Les réseaux disponibles de classe C sont donc les réseaux allant de 192.0.0.0 à 223.255.255.0
- L'octet de droite représente les ordinateurs du réseau, le réseau peut donc contenir un nombre de machines égal à : $2^8 - 2 = 254$.
- En binaire, une adresse IP de classe C, a la forme suivante : 110 xxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx

Masque de sous-réseau

Définition : (Masque de sous-réseau)

Le masque réseau (netmask) est une suite 32 bits présentée généralement sous la forme de 4 octets séparés par des points (comme une adresse IP) dont un certain nombre de bits de poids fort consécutifs sont à 1 et qui sert à délimiter la portion réservée au net-id et celle réservée au host-id

- On construit un masque en plaçant des 1 aux emplacements des bits que l'on désire conserver, et des 0 pour ceux que l'on veut annuler.
- Une fois ce masque défini faire un ET logique entre une valeur et le masque afin de garder intacte la partie que l'on souhaite et annuler le reste.
- Un masque de sous-réseau est de permet d'identifier simplement le réseau associé à une adresse IP.

Masques des classes usuelles

Classe	binaire	décimal
classe A	11111111.00000000.00000000.00000000	255.0.0.0
classe B	11111111.11111111.00000000.00000000	255.255.0.0
classe C	11111111.11111111.11111111.00000000	255.255.255.0

Découpage des réseaux

Il est possible d'étendre le masque d'une adresse de classe donnée.
Ceci permet de découper un réseau donné en sous-réseaux : subneting

Exemple :

subnet d'une classe A définie par le masque 11111111.11000000.00000000.00000000 c-à-d 255.192.0.0
Ce qui donne pour la classe A, numéro 38.0.0.0, 4 sous-réseaux :

- les deux premiers bits du deuxième octet sont 00, le réseau est 38.0.0.0
- les deux premiers bits du deuxième octet sont 01, le réseau est 38.64.0.0
- les deux premiers bits du deuxième octet sont 10, le réseau est 38.128.0.0
- les deux premiers bits du deuxième octet sont 11, le réseau est 38.192.0.0

Classes d'adresses pour les réseaux privés

- Définies dans la RFC 1918
- Utilisées lors de la mise en œuvre d'un mécanisme de translation d'adresse

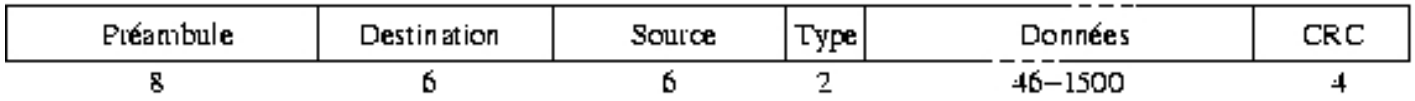
Classe	de	jusqu'à	CIDR
classe A	10.0.0.0	10.255.255.255	10.0.0.0/8
classe B	172.16.0.0	172.31.255.255	172.16.0.0/12
classe C	192.168.0.0	192.168.255.255	192.168.0.0/16

Les réseau sont donnés dans la notation CIDR (Classless Inter-Domain Routing)

Où en sommes nous ?

1. Principes fondamentaux de TCP/IP
2. Adressage
3. **Routage**

La liaison de données sur Ethernet



- Préambule
- Destination : adresse Ethernet de destination
- Source : adresse Ethernet source de la trame
- Type : type de données transportées
- Données : taille maximum 1500 octets. Les données sont complétées par des octets de bourrage pour avoir une taille minimum de 46 octets
- CRC : somme de contrôle sur la trame

Les adresses Ethernet sont composées de 8 octets et sont habituellement notées en hexadécimal sous la forme 12 :34 :56 :78 :9a :bc. Les 3 premiers octets de l'adresse sont fixes pour un constructeur et les 3 derniers servent à assurer l'unicité.

Principe du routage

- La communication entre machines ne peut avoir lieu que lorsque celles-ci connaissent leurs adresses physiques (MAC).
- Pour envoyer des paquets IP vers les autres noeuds du réseau, un noeud qui utilise TCP/IP traduit les adresses IP de destination en adresses MAC.
- Quand une machine cherche l'adresse physique correspondant à l'adresse IP qu'il connaît, le protocole ARP se met en œuvre :
  1. broadcast sur le réseau en demandant à qui correspond l'adresse IP à résoudre (paquet ARP qui contient l'adresse IP du destinataire) ;
  2. les machines du réseau comparent l'adresse demandée à leur adresse et le noeud correspondant renvoie son adresse physique au noeud qui a émis la requête ;
  3. stockage de l'adresse physique lorsque le destinataire répond dans le cache ARP de la machine

Principe du routage

Lorsque le noeud envoie un autre paquet IP, il cherche l'adresse IP dans son cache. S'il la trouve, il utilise alors l'adresse physique correspondante pour son paquet.
Le noeud diffuse une requête ARP seulement s'il ne trouve pas l'adresse IP dans son cache.

Problématique des réseaux à diffusion :

- nombres de machines (saturation du réseau)
- segmentation des zones par catégories de service (impossible)
- comment savoir si une adresse est sur le réseau a diffusion ?

Équipement de couche 2 et 3.

Le routage

- Processus permettant de rediriger les packets vers leur destination
- Algorithme fonctionnant de proche en proche (autres méthodes ?)
- Utilisation de règles de routage : pour rejoindre le réseau R envoyer les packets à la machine M
- Il est possible de définir une seule route par défaut
- Les informations de routage sont stockées dans une table de routage au niveau des données du noyau
- S'il n'y a pas de route le SE retourne un message ICMP "network unreachable" (à l'envoyeur)

Table de routage : visualisation

- Pour afficher la table de routage, on utilise la commande `netstat -r` sur SysV ou `route get sur` BSD

Exemple :

```
ufrsciencestech : netstat -r -n
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
193.50.49.0     0.0.0.0         255.255.255.0   U        40 0          0 eth0
172.21.0.0      0.0.0.0         255.255.0.0     U        40 0          0 eth1
0.0.0.0         193.50.49.1     0.0.0.0         UG       40 0          0 eth0

depinfo : netstat -rn
Routing Table : IPv4
  Destination           Gateway           Flags  Ref   Use   Interface
-------------------- -------------------- ----- ----- ------ ---------
193.50.49.0          193.50.49.95         U         1   1203  hme1
172.21.0.0           172.21.16.30         U         1  66983  hme0
172.16.0.0           172.21.0.1           UG        1     14
224.0.0.0            172.21.16.30         U         1      0  hme0
default              193.50.49.1          UG        1  41853
127.0.0.1            127.0.0.1            UH        4 400350  lo0
```

Table de routage : exemple

Exemple :

```
# route
Table de routage IP du noyau
Destination Gateway    Genmask        Indic Metric Ref Use Iface
192.0.2.0   192.0.1.2  255.255.255.0 U     1      0   0   eth1
192.0.3.1   192.0.4.2  255.255.255.0 UH    1      0   0   eth2
loopback    *          255.0.0.0     U     0      0   0   lo
default     192.0.1.3  0.0.0.0       UG    1      0   0   eth1
```

- ligne 1 : les paquets destinés au réseau 192.0.2.0 seront envoyés sur l'interface eth1 à la machine 192.0.1.2
- ligne 2 : les paquets destinés à la machine 192.0.3.1 seront envoyés sur l'interface eth2 à la machine 192.0.4.2
- ligne 3 : Loopack (adresse 127.0.0.0) adressage local
- ligne 4 : routage par défaut des paquets, les paquets seront envoyés sur l'interface eth1 à la machine 192.0.1.3 lorsque leur destination est inconnue de la table.

Table de routage : signification

- Destination : adresse du réseau ou de l'hôte de destination
- Gateway : adresse de la passerelle (le routeur) ou * si indéfini
- Genmask : masque de réseau pour le réseau destinataire 255.255.255.255 pour un hôte et 0.0.0.0 pour la route par défaut
- Indicateurs : U (la route est active = up) H (la cible est un hôte) G (utilise comme passerelle) D (dynamiquement configurée)
- Metric : distance à la cible (habituellement comptée en hops)
- Iface : interface vers laquelle les paquets empruntant cette route seront envoyés

Table de routage : manipulation

- La table de routage peut être configurée selon deux modes : statique, dynamique
- Les routes statiques restent dans la table tant que le système est en marche
- On fixe les routes statiques au boot via des scripts mais nécessite une bonne connaissance de la topologie du réseau
- Pour manipuler la table de routage, on utilise la commande `route`
- Pour le routage dynamique, on utilise des démons qui maintiennent et modifient les tables de routage `gated`, `routed`

Table de routage : syntaxe

```
route add|del [-net|-host] destination [netmask Nm] [gw gateway]
              [metric m] [dev itf]
```

- `add del` : permet d'ajouter ou supprimer une entrée dans la table
- `-net` : permet de spécifier une entrée vers un réseau
- `-host` : permet de spécifier une entrée vers une machine
- `destination` : la destination peut être une adresse machine ou une adresse réseau. La destination peut être `default`
- `netmask` : le masque de sous-réseau du réseau (ou de la machine) de destination
- `gw` : addresse du routeur qui permet de faire transiter les paquets d'un réseau à un autre
- `metric` : longueur du chemin (en nombre de routeurs traversés) pour atteindre le réseau de destination (optionnel).
- `dev` : le nom de l'interface par laquelle envoyer les paquets à router (optionnel)

Table de routage : exemple

```
route add -net r1 netmask 255.255.255.0 lnx2 metric 3
```

Permet de rajouter une route dans la table de routage : pour atteindre le réseau r1 (192.0.2.0), il faut passer par la lnx2 (192.0.1.2, qui sert de routeur), et on franchira 3 routeurs au total :

- `r1` est un nom qui doit figurer dans le fichier `/etc/networks`
- `lnx2` doit figurer ddans le fichier `/etc/hosts`

L'option `-f` (flush) qui permet de supprimer tous les chemins qui ont été rajoutés avec la commande `route`

Où en sommes nous ?

1. Principes fondamentaux de TCP/IP
2. Adressage
3. Routage
4. **Configuration des cartes réseau**

Pilote de la carte

- `/sbin/lspci` donnera les informations sur les périphériques connectés
- `ls /lib/modules/*/kernel/drivers/net/` : donne la liste des cartes réseau supportées par le noyau de la distribution. S'il n'y a pas le pilote de la carte recherchée, une recompilation du noyau s'impose
- `/sbin/modprobe nompil` : chargement du pilote
- ajouter le nom à `/etc/modules`

Sous Debian

1. éditer le fichier `/etc/network/interface`
2. arrêter et redémarrer le réseau : `/etc/init.d/networking restart`
3. vérifier la configuration : `/sbin/ifconfig -a`
4. les alias sont permis : `eth0 :0`, `eth0 :1`

Exemple :

```
# The loopback interface
auto lo
iface lo inet loopback
# The first network card - this entry was created during the Debian installation
# (network, broadcast and gateway are optional)
auto eth0
iface eth0 inet static
        address 193.50.49.96
        netmask 255.255.255.0
        network 193.50.49.0
        broadcast 193.50.49.255
        gateway 193.50.49.1
```

Sous RedHat

1. éditer le fichier `/etc/sysconfig/network`
2. éditer le fichier `/etc/sysconfig/networking/devices`
3. arrêter et redémarrer le réseau : `/etc/init.d/network restart`
4. vérifier la configuration : `/sbin/ifconfig -a`

Exemple :

```
# 3Com Corporation|3c905C-TX/TX-M [Tornado]
DEVICE=eth0
BOOTPROTO=dhcp
BROADCAST=172.21.255.255
HWADDR=00 :06 :5B :28 :07 :39
IPADDR=172.21.18.82
NETMASK=255.255.0.0
NETWORK=172.21.0.0
ONBOOT=yes
TYPE=Ethernet
USERCTL=no
PEERDNS=yes
GATEWAY=172.21.16.34
IPV6INIT=no
```

La commande ifconfig (n'existe plus depuis Debian 9)

- On peut configurer une interface ethernet à la volée avec la commande :

```
ifconfig eth0 192.168.1.1 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255 up
```

- les options de `ifconfig` sont :
  - `up` : activation de l'interface,
  - `down` : désactivation de l'interface,
  - `[-]arp` : activation/désactivation du protocole ARP sur l'interface,
  - `netmask <addr>` : valeur du masque de réseau,
  - `broadcast <addr>` : valeur de l'adresse de diffusion
  - `hw?`
- remplacée par la commande `ip`

La commande ip (les adresses)

Syntaxe générale :

`ip [OPTION] OBJECT {COMMANDE | help}`

Exemple :

- `ip link`
- `ip addr show`
- `ip addr add 192.168.1.2/24 dev eno1`
- remarque : on peut attribuer plusieurs adresses ip à la même carte
- `ip addr del 192.168.1.2/24 dev eno1`
- `ip link set eth0 up` ou `down`

La commande ip (les routes)

La commande `ip` sert également à manipuler la table de routage :

Exemple :

- `ip route show`
- `ip route add 10.11.12.0/24 via 193.50.50.1 dev eno0`
- `ip route del 10.11.12.0/24`
- `ip route add default via IP 192.168.1.254`

Persistance des routes

Pour les distributions RedHat, Fedora, Centos, un fichier spécifique permet d'ajouter les routes :

Exemple :

- `vi /etc/sysconfig/network-scripts/route-eno0`
- `10.11.12.0/24 via 193.50.50.1 dev eno0`

Pour les distribution Debian like :

Exemple :

- `vi /etc/network/interfaces`
- ```
  auto eno0
  iface eth0 inet static
  address 192.168.50.2
  netmask 255.255.255.0
  gateway 192.168.50.100
  #Static Route
  up ip route add 10.11.12.0/24 via 193.50.50.1 dev eno0
  ```

`/etc/init.d/network restart`
  ```

La résolution des noms

- la résolution des associations (nom de machine, adresse IP) se fait via 3 fichiers :
  1. `/etc/hosts` : associations nom sur le réseau local, adresse ip dans un fichier texte dont les séparateurs sont l'espace ou le tab, le # est réservé pour les commentaires.
     `IPaddress canonical_hostname aliases`
  2. `/etc/resolv.conf` : renseigne le système sur l'utilisation d'un DNS
  3. `/etc/nsswitch.conf` : spécifie les mécanismes à mettre en oeuvre pour la résolution des nom (DNS, files, etc.)

Outils standards pour la résolution des problèmes

- ifconfig
- ping(simple + broadcast combiné à arp)
- arp
- traceroute
- nslookup / dig
- telnet machine port

Avec Debian 9 pour retrouver les commandes standard installer le package `net-tools`. Sinon utiliser la commande générique `ip`.

Étapes de configuration

1. fixer l'IP (statique ou via DHCP)
2. renseigner le fichier `/etc/hosts` et éventuellement le fichier `/etc/networks`
3. donner la route par défaut ou les autres stratégies de routage
4. configurer la résolution des nom `/etc/resolv.conf`
5. configurer les stratégies de résolution `/etc/nsswitch.conf`

Méthodologie générale

Pour concevoir et implanter un réseau suivre les étapes (le détail sera développé en TD) :

- définir l'architecture fonctionnelle (les services)
- définir l'architecture physique (localiser les services, segmenter le réseau afin d'identifier et ou d'obtenir différent réseau IP selon des information sur les communautés d'utilisateur, les besoins en sécurité etc.)
- déterminer un plan d'adressage : choisir les classes et des convention d'immatriculation
- déterminer la table de routage
- déterminer les règles de filtrage : établir une matrice avec les protocoles acceptés entre chacun des réseaux