

S22 - Architecture des réseaux

Adressage IP

Cédric Wemmert

IUT Robert Schuman – Département Informatique

wemmert@unistra.fr

2022

Problèmes d'Ethernet

- Environ 2^{32} machines dans le monde
 - Soit 0,00734 s d'accès au réseau en Ethernet par an par machine (cf. TD)
 - Des tables de propagation très grosse (1 entrée = 1 adresse MAC)
 - LAN → 1 administrateur, une zone géographique restreinte
- ↪ Ne fournit pas les outils pour communiquer proprement entre différents LAN, d'organisations différentes

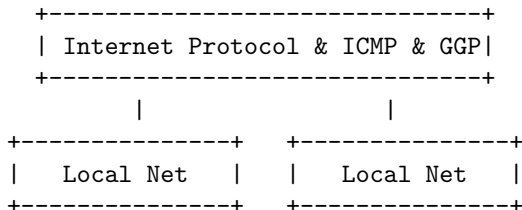


Ethernet ne permet pas de connecter toutes les machines du monde !

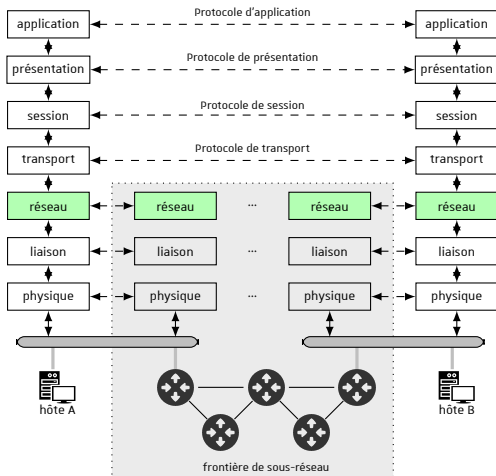
Inter-Network Protocols

Deux niveaux génériques basiques

- Réseau local : Ethernet
- Réseau global : Internet
 - Internet Protocol (IP) décrit dans le RFC 791 (1981)
 - <https://tools.ietf.org/html/rfc791>
 - Objectif : faire communiquer 2 équipements dans des réseaux locaux différents



Gateway Protocols



IP : Internet Protocol

- Réseau de Réseaux
- Implémentation de la couche 'réseau' (modèle OSI)
- Basée sur l'adresse IP :
 - IPv4 ou IPv6
- Échange de **paquets**

IP : Internet Protocol

- Ensemble des règles de communication sur Internet
- Internet = réseau de réseaux
- Communication des réseaux locaux entre eux

Services rendus

- Utilisation du système d'adressage IP
- Fractionnement des messages en paquets; chaque paquet est acheminé indépendamment
- **Pas de contrôle des erreurs de transmission**
- Acheminement des données sur le réseau (routage)...
- ... en mode **NON** connecté !

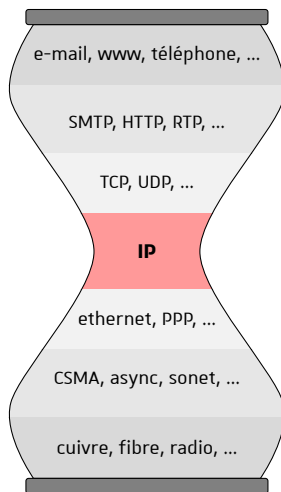
Internet Protocol

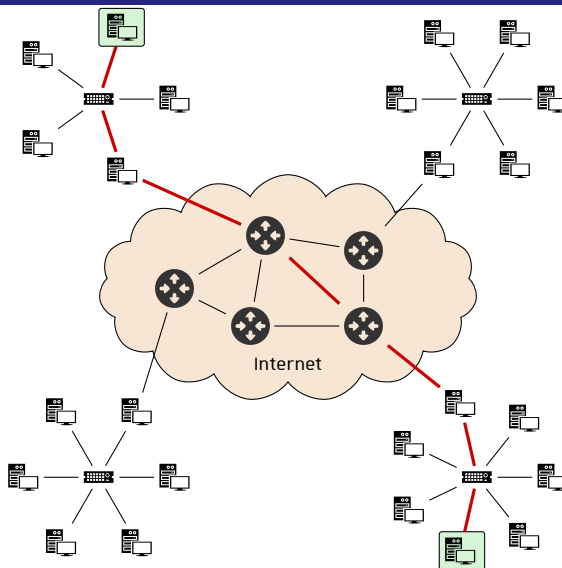
- Envoi de paquets IP :
 - de bout en bout, à travers des réseaux interconnectés (Internet)
 - via des réseaux hétérogènes (débit, taille des trames, adressage)
- Fonctionnement simple au niveau des données échangées :
 - pas de retransmission (non fiable)
 - déséquencement possible
 - pas de contrôle de flux/congestion
 - modèle de service usuel : « best effort »

IP = couche unificatrice

- IP est au dessus de tout protocole de niveau liaison
- Il existe des règles d'encapsulation du paquet IP pour chaque type de liaison

Internet Protocol : la couche unificatrice !





- Protocole de bout en bout!

Adresses IPv4

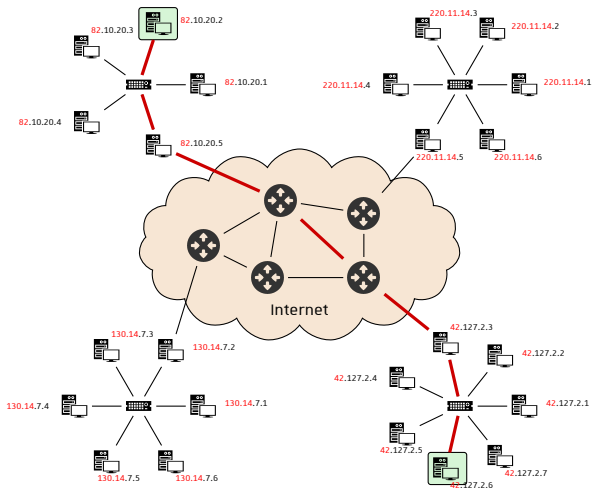
- Identifie une interface :
 - Plusieurs interfaces → plusieurs adresses IP
- Adresses IP gérées et vendues par l'ICANN :
 - Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
 - remplace l'IANA, Internet Assigned Numbers Agency (1998) qui en devient un département

Suite de 4 octets / 32 bits séparés par des « . »

91	.	198	.	174	.	2
01011011	.	11000110	.	10101110	.	00000010

Adresses IPv4 : deux parties

- **réseau** (*en rouge*) : routage sur internet
- **hôte** (*en noir*) : routage à l'intérieur du réseau local



Réseau : classes d'adresse IPv4

Organisation par classes :

- La classe définit la longueur des parties réseau et hôte
- On achète une plage d'adresses définie par la partie réseau

Classes

Classe A	: 1 octet réseau	commence par 0...
Classe B	: 2 octets réseau	commence par 10...
Classe C	: 3 octets réseau	commence par 110...
Classe D	: multicast	commence par 1110...
Classe E	: expérimental/non-utilisée	le reste 1111...

Réseau : classes d'adresse IPv4

Organisation par classes :

- La classe définit la longueur des parties réseau et hôte
- On achète une plage d'adresses définie par la partie réseau

Classes

Classe A : 0.0.0.0 - 127.255.255.255

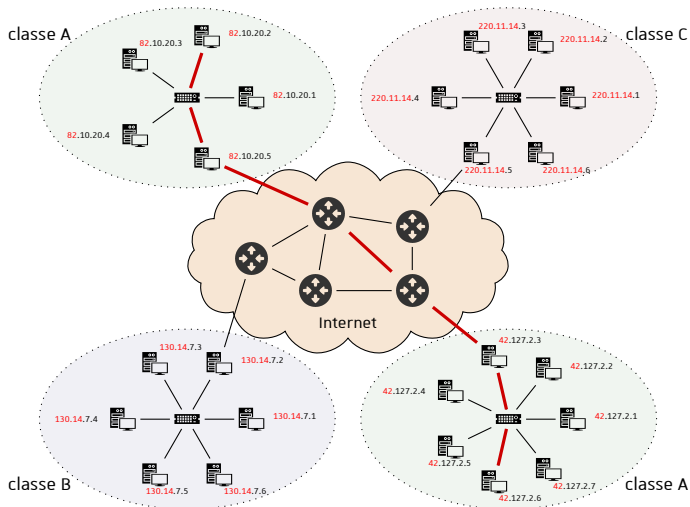
Classe B : 128.0.0.0 - 191.255.255.255

Classe C : 192.0.0.0 - 223.255.255.255

Classe D : 224.0.0.0 - 239.255.255.255

Classe E : 240.0.0.0 - 247.255.255.255

Réseau : classes d'adresse IPv4



Réseau : classes d'adresse IPv4

Problème

Comment un ordinateur peut-il séparer de manière efficace la partie réseau et la partie hôte connaissant simplement l'adresse IP ?

Réseau : masque d'adresses IPv4

Définition d'un masque par défaut :

- Le masque est codé sur 32 bits : les **premiers** sont positionnés à 1, et les suivants sont à 0
- Connaissant la classe, définie par le nombre de bits à 1, on peut retrouver :
 - la partie réseau par un **ET** bit à bit
 - la partie hôte par un **ET** avec le complément bit à bit du masque

Classe A : Masque de 8 bits (1 octet)

Adresse IPv4	01011011.11000110.10101110.00000010	91.198.174. 2
Masque par défaut	11111111.00000000.00000000.00000000	255. 0. 0. 0
Complément du masque	00000000.11111111.11111111.11111111	0.255.255.255

Réseau	01011011.00000000.00000000.00000000	91. 0. 0. 0
Hôte	00000000.11000110.10101110.00000010	0.198.174. 2

Adresse IPv4	01011011.11000110.10101110.00000010	91.198.174. 2
--------------	-------------------------------------	---------------

Réseau : masque d'adresses IPv4

Définition d'un masque par défaut :

- Le masque est codé sur 32 bits : les **premiers** sont positionnés à 1, et les suivants sont à 0
- Connaissant la classe, définie par le nombre de bits à 1, on peut retrouver :
 - la partie réseau par un **ET** bit à bit
 - la partie hôte par un **ET** avec le complément bit à bit du masque

Classe B : Masque de 16 bits (2 octets)

Adresse IPv4	10000010.11000110.10101110.00000010	130.198.174. 2
Masque par défaut	11111111.11111111.00000000.00000000	255.255. 0. 0
Complément du masque	00000000.00000000.11111111.11111111	0. 0.255.255
Réseau	10000010.11000110.00000000.00000000	130.198. 0. 0
Hôte	00000000.00000000.10101110.00000010	0. 0.174. 2
Adresse IPv4	10000010.11000110.10101110.00000010	130.198.174. 2

Réseau : masque d'adresses IPv4

Définition d'un masque par défaut :

- Le masque est codé sur 32 bits : les **premiers** sont positionnés à 1, et les suivants sont à 0
- Connaissant la classe, définie par le nombre de bits à 1, on peut retrouver :
 - la partie réseau par un **ET** bit à bit
 - la partie hôte par un **ET** avec le complément bit à bit du masque

Classe C : Masque de 24 bits (3 octets)

Adresse IPv4	11001000.11000110.10101110.00000010	200.198.174.	2
Masque par défaut	11111111.11111111.11111111.00000000	255.255.255.	0
Complément du masque	00000000.00000000.00000000.11111111	0. 0. 0.	255
Réseau	11001000.11000110.10101110.00000000	200.198.174.	0
Hôte	00000000.00000000.00000000.00000010	0. 0. 0.	2
Adresse IPv4	11001000.11000110.10101110.00000010	200.198.174.	2

Classe A	<p>00000000.00000000.00000000.00000000</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>01111111.11111111.11111111.11111111</p>	<p>0. 0. 0. 0</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>127.255.255.255</p>
Classe B	<p>10000000.00000000.00000000.00000000</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>10111111.11111111.11111111.11111111</p>	<p>128. 0. 0. 0</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>.</p> <p>191.255.255.255</p>
Classe C	<p>11000000.00000000.00000000.00000000</p> <p>.</p> <p>11011111.11111111.11111111.11111111</p>	<p>192. 0. 0. 0</p> <p>.</p> <p>223.255.255.255</p>
Classe D&E	<p>11100000.00000000.00000000.00000000</p> <p>11111111.11111111.11111111.11111111</p>	<p>224. 0. 0. 0</p> <p>255.255.255.255</p>

Adresses spéciales

Par réseau (p.ex. classe A)

- **X . 0 . 0 . 0** : adresse du réseau (tous les bits hôte mis à 0)
- **X . 255 . 255 . 255** : *broadcast* dans un réseau (tous les bits hôte mis à 1) - adresse multicast pour toutes les machines du réseau
- **0 . X . X . X** : adresse hôte dans le réseau courant (tous les bits réseau mis à 0)
- **255 . 255 . 255 . 255** : adresse *broadcast* (tous les bits mis à 1) - limitée au même sous-réseau que la liaison locale utilisée

Adresses privées

- Non routables à travers Internet
- Peuvent être ré-utilisées indépendamment sur divers sites
 - Classe A 10.0.0.0 -- 10.255.255.255
 - Classe B 172.16.0.0 -- 172.31.255.255
 - Classe C 192.168.0.0 -- 192.168.255.255

Adresses spéciales (suite)

Boucle locale

- adresses de la forme **127**. X. X. X
- **127.0.0.1** = *loopback*
- adresse reconnue localement par tout hôte utilisant IP, même non connecté à un réseau
- utilité uniquement locale :
 - pas de circulation sur le réseau
 - servent à la communication de processus utilisant IP sur une même machine

Adresses spéciales (suite)

Multicast

- **224.** X. X. X : adresse *multicast*
 - Représente un groupe de machines
 - Nécessite un protocole d'adhésion (IGMP)

Spécifiques au lien

- **169.254.** X. X = *link local*
 - Adresses réservées à un processus (Automatic Private Internet Protocol Addressing - APIPA) qui permet à un système d'exploitation de s'attribuer automatiquement une adresse IP, lorsque le serveur DHCP est hors service ou injoignable
 - Non routables à travers Internet

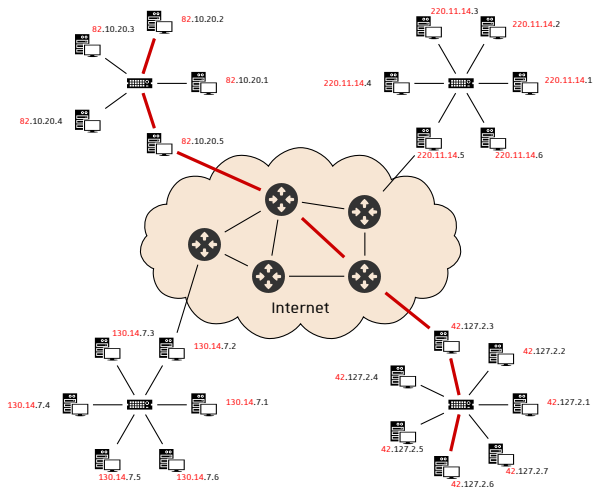
Sous-réseau

- Un réseau est potentiellement grand :
 - par exemple, en classe A : 16 millions d'hôtes par réseau
- Impossible de fonctionner en réseau local
- Besoin de pouvoir découper un réseau en sous-parties

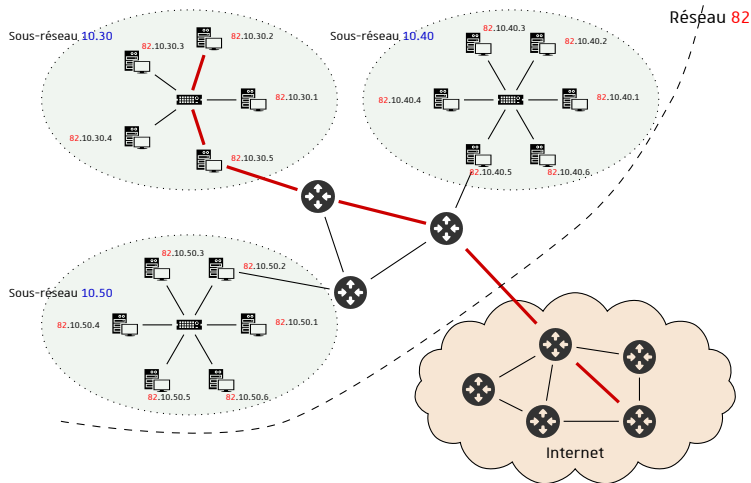
Notion de sous-réseau

- Permet de découper un réseau donné en plusieurs sous-réseaux
- Permet le routage à l'intérieur d'un réseau

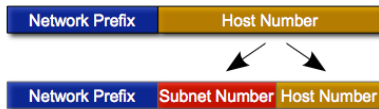
Adresses IPv4 : réseau



Adresses IPv4 : sous-réseaux



Adresses IPv4 : sous-réseaux



- Adresse découpée en 3 parties :

réseau R	sous-réseau S	hôte H
----------	---------------	--------
- Cela permet un découpage plus fin
- Le découpage ne peut être deviné à partir de l'adresse et nécessite un masque de (sous-)réseau : netmask
 - Les bits à 1 désignent réseau + sous-réseau : R+S
 - Ceux à 0 le numéro de l'hôte dans le sous-réseau : H

Classless Inter-Domain Routing

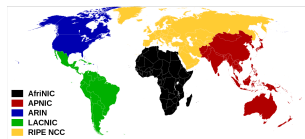
- 1993 : Système de classe génère gaspillage important (surtout des classes A)
- ↳ Remplacement du système de classe par **CIDR**.
- Réseau + sous-réseau sont représentés par un préfixe :
 - p. ex. 200.16.0.0/14
 - /14 ↔ 14 bits à 1 dans le masque de sous-réseau
- Meilleure utilisation des adresses disponibles :
 - 1 réseau ↔ 1 préfixe (au lieu de plusieurs classes C)
 - Table de routage plus petite

Décomposition de l'adresse 82.10.30.2/24 :

Adresse IPv4	01010010.00001010.00011110.00000010	82. 10. 30.2/24
Masque par défaut	11111111.00000000.00000000.00000000	255. 0. 0.0
Masque de S-R	11111111.11111111.11111111.00000000	255.255.255.0
Réseau	01010010.00000000.00000000.00000000	82. 0. 0.0
Réseau étendu	01010010.00001010.00011110.00000000	82. 10. 30.0
Sous-réseau	00000000.00001010.00011110.00000000	0. 10. 30.0
Hôte dans S-R	00000000.00000000.00000000.00000010	0. 0. 0.2

Qui vend des adresses IP ?

- Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) est la société pour l'attribution des noms de domaine et des numéros sur Internet (autorité de régulation de l'Internet - société à but non lucratif)
- Internet Assigned Numbers Authority (IANA) est le département de l'ICANN qui vend des blocs d'@IP au Regional Internet Registries (RIR)
- Les RIR (5 dans le monde) vendent des blocs d'adresses aux Fournisseurs d'Accès Internet (FAI)
- Les FAI vous attribuent une adresse IP



Pénurie d'adresses IPv4

Pénurie d'adresses

- IANA n'a plus d'@IPv4 depuis le 31 janvier 2011
- Au 25 novembre 2019, le RIPE NCC (RIR Europe) a annoncé la pénurie d'IPv4, après avoir effectué sa dernière attribution /22 IPv4 à partir des dernières adresses restantes. "Nous sommes maintenant à court d'adresses IPv4."
(source : arcep.fr)

↪ Invention du CIDR, NAT et IPv6 pour palier cette pénurie

Solution à long terme

IPv6 est la seule solution à long terme !

IPv6

Espace d'adressage sur 128 bits

→ 667 millions de milliards d'adresses par millimètre carré de surface terrestre!

- Notation hexadécimale 2001:0db8:0000:85a3:0000:0000:ac1f:8001
- Possibilité de compresser l'écriture 2001:db8:0:85a3::ac1f:8001
 - « :: » : désigne la plus longue suite de 0
 - « 0 » : résume une suite de 0 consécutifs sur 2 octets

Adresses IPv6

4 familles d'adresses

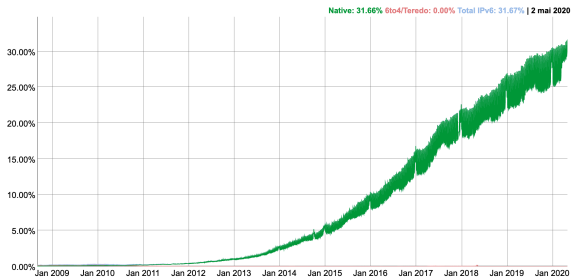
- 2000::/3 : unicast globale - ouverte à la réservation
- fc00::/7 : locale unique - comparable aux adresses privées d'IPv4. ID global sur 40 bits. 64 bits d'ID de l'hôte
- fe80::/10 : lien local - adresse créée automatiquement pour chaque interface IPv6 (avec @MAC). Unique sur un lien
- ff00::/8 : multicast - remplace le broadcast. 112 bits pour l'id. groupe

... et quelques adresses réservées (::/8)

- ::/128 : non spécifiée, quand l'hôte ne connaît pas son IP
- ::1/128 : loopback
- ::ffff:0:0/96 : pour contenir une IPv4 dans une structure IPv6

Déploiement d'IPv6

- Le déploiement d'IPv6 peine à décoller
- La France est à environ 43% derrière l'Allemagne (env. 50%)



Adoption de l'IPv6 au niveau mondial
google.fr/ipv6

- beaucoup de différences entre IPv6 et IPv4 → transition plus difficile
- la promotion d'IPv6 a commencé bien avant qu'une demande réelle existe (impression que l'IPv6 est un échec)
- demande asymétrique (certains acteurs à court d'adresses IPv4 et certains qui en ont suffisamment et n'ont aucune raison de changer)

L'essentiel

- Ethernet ne permet pas de connecter toutes les machines du monde
- IP : Protocole de niveau réseau
 - achemine les paquets indépendamment
 - sans aucun contrôle
 - en mode non-connecté
- IP = couche unificatrice
- @IP possède 2 parties : réseau et hôte
- On détermine ces parties en utilisant un masque
- Pénurie d'@IP :
 - CIDR et IPv6
- IPv6 : LA solution à long terme
 - Augmente laaaaaaaaargement l'espace d'adressage