

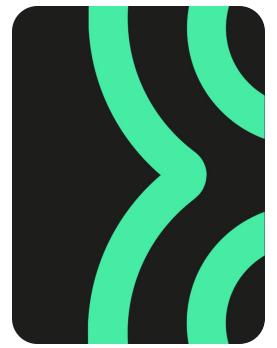
# **Internet Protocol version 4**

Adresse et paquet



**Ethernet c'est quoi ?**

**Quels sont les services rendus par ce protocole ?**



---

# Sommaire

---

- 01** Introduction
- 02** Les adresses
- 03** Configurer son réseau
- 04** Le paquet
- 05** Protocoles connexes

# Introduction



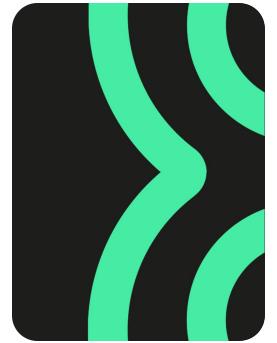


# Le protocole IP

---

IP pour *Internet Protocol* :

- Protocole d'interconnexion de réseaux physiques
- Standard IETF
- Couche 3 du modèle OSI (couche réseau)
- 2 versions actuellement en activité
  - IP version 4
  - IP version 6
- Permet [Internet](#) : réseau mondial accessible à tous



# C'est quoi l'IETF

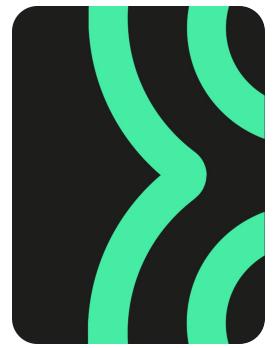
- *Internet Engineering Task Force*
- Groupe international ouvert à tout individu
- Objectif : élaborer les protocoles d'internet (couche 3 et +)
- Produit : *Request For Comments (RFC)* :
  - Documents numérotés - RFC <numéro>
  - Décrivent les techniques pour faire de l'internet (interconnexion de réseaux physiques)



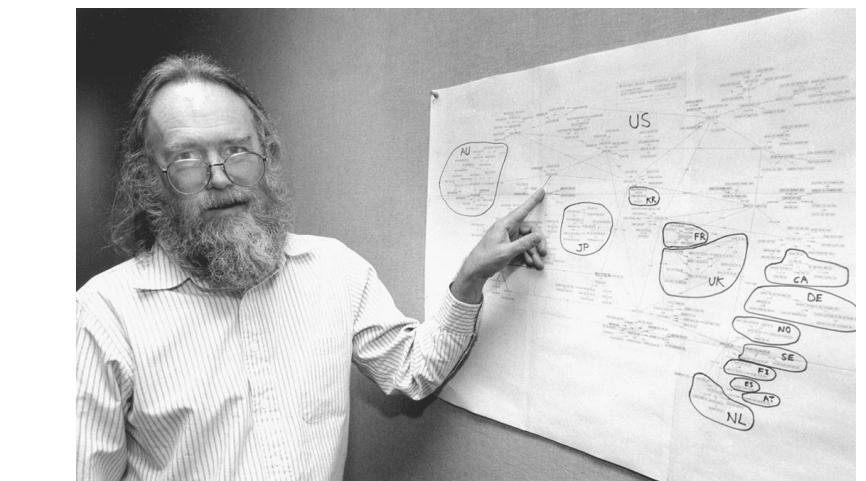
## Les RFC

---

- Spécifications de protocoles visant la standardisation
  - Internet Draft : brouillon, support à discussion
  - Proposed Standard : stable, en général avec au moins 1 implémentation
  - Draft Standard : finale, 2 implémentations
  - Internet Standard (STD) : Standard de fait
- RFC : *Experimental, Informational, Historic*
- Best Current Practice (BCP)
- [RFC 2026](#) (BCP 9) : *The Internet Standards Process - Revision 3*



## Les versions d'IP



1974 : [A Protocol for Packet Network Intercommunication](#)

Vinton G. Cerf, Robert E. Kahn (Mai 1974)

1977 : TCP version 2 ([IEN 5](#)) - Vinton G. Cerf (Mai 1977)

1978 : TCP version 3 ([IEN 21](#)) - Vinton G. Cerf, [Jonathan B. Postel](#)

1980 :

- TCP version 4 - [RFC 761](#) (1980) puis [RFC 793](#) (1981 - STD 7)

- IP version 4 - [RFC 760](#) (1980) puis [RFC 791](#) (1980 - STD 5)

1995 - IP version 6 - [RFC 1883](#) (1995) puis [RFC 2460](#) (1998 - Draft Standard)



## Les prérequis d'IP

---

- IP n'est pas un protocole de niveau 1 (Physique)
- Suppose l'existence de protocoles de réseaux physiques
  - Quelconques (Ethernet, Wifi, ATM...)
  - Caractéristiques :
    - Adresses physiques (ex. : MAC)
    - MTU
    - ...
  - Envoi de trames entre interfaces d'un même réseau physique (directement reliées)



# Glossaire

---

**Noeud** : équipement supportant IP

**Routeur** : noeud transmettant les paquets dont il n'est pas le destinataire

**Hôte** : noeud qui n'est pas un routeur

**Couche supérieure** : protocole transporté par IP (TCP, UDP, ICMP...)

**Lien** : protocole sous IP (Ethernet, WiFi, ATM...)

**Voisins** : noeuds attaché au même lien

**Interface** : moyen d'accès au lien d'un noeud

**Adresse** : identifiant IP d'interface (ou d'un ensemble d'interface)

**Paquet** : entête IP + charge utile



# Objectifs d'IP

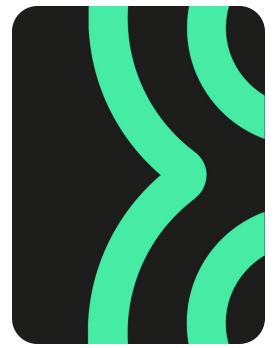
---

Transfert non fiable de paquets indépendants

- Adresses logiques
- Routage
- Qualité de service (QoS)
- Durée de vie des paquets
- Somme de contrôle

Gestion de la fragmentation

- Liens à petit MTU



## Le réseau au sens IP

---

IP distingue :

- Les **liens** (les réseaux physiques) : Ensemble d'**interfaces** directement connectées pouvant communiquer à l'aide d'un protocole de couche 1 et 2
- Les réseaux (logiques) : Ensemble d'**interfaces** appartenant nécessairement au même lien
- Les interfaces de réseaux (logiques) différents peuvent communiquer via une passerelle pour former une interconnexion de réseaux (un internet)

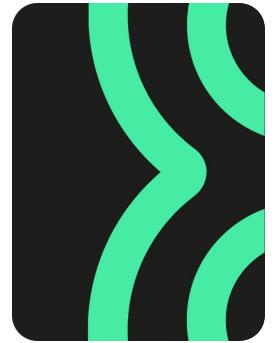


# Architecture réseau

---

Un administrateur va donc :

- Concevoir ses réseaux IP en fonction de ses réseaux physiques
  - Un réseau IP appartient à un réseau physique
  - Un réseau physique pouvant contenir des réseaux IP
- Interconnecter les réseaux IP devant communiquer à l'aide de passerelles appelées routeurs ayant :
  - 2 interfaces physiques pour le cas de 2 réseaux physiques distincts
  - 2 configurations IP distinctes pouvant être sur 1 même interface physique



## Une notion locale

---

- Pas de coordinateur global => pas de configuration globale
- Chaque interface dispose de sa propre configuration locale
    - Donc de **sa propre vision des réseaux logiques**
    - Pour pouvoir communiquer, ces configurations doivent être compatibles



Introduction

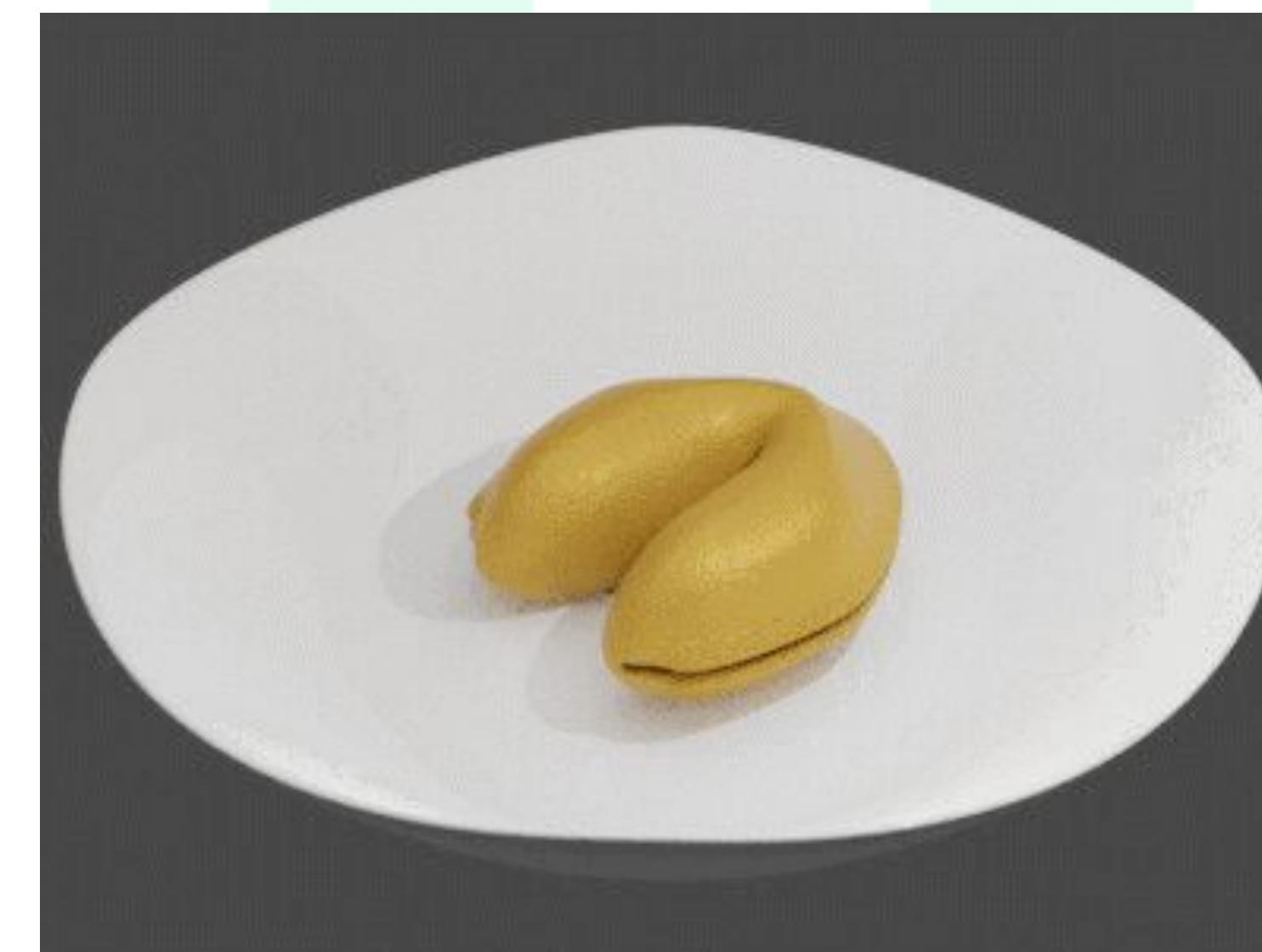
Les adresses

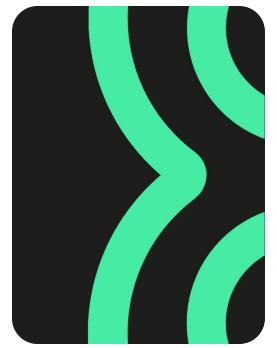
Configurer son  
réseau

Le paquet

Protocoles  
connexes

# Les adresses





## Le modèle d'adressage

---

Le contexte - IPv4 : fin des 70's

- Début du minitel
- Passage du 8086 (4,77 - 10 Mhz) au 80286 (6-20Mhz)
- Le premier Macintosh (128K) apparaîtra en 1984

Adresses d'interfaces

- Une interface physique pourra avoir plusieurs adresses logiques
- Potentiellement plusieurs interfaces par machines



# Adresse IPv4

---

Adresses sur 32 bits (4 octets)

- De l'ordre de  $4,3 \cdot 10^9$  adresses
- En pratique moins car certaines réservées

Adresse comporte 2 parties :

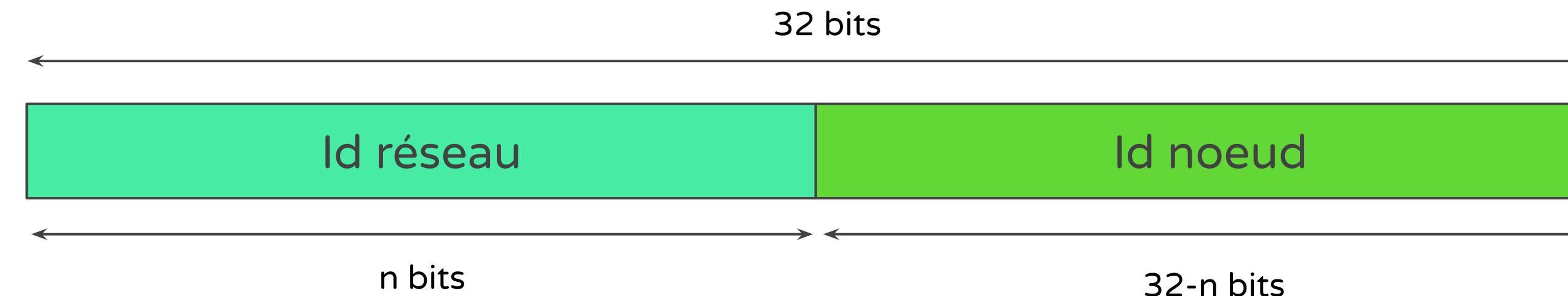
- Identifiant de réseau (préfixe)
- Identifiant d'interface (reste)

Historiquement : 3 classes

- Classe A : premier bit 0 - 8 bits de partie réseau
- Classe B : premiers bits 10 - 16 bits de partie réseau
- Classe C : premiers bits 110 - 24 bits de partie réseau



# Adresse IPv4



Exemples :

- 00000001 00000000 00000000 00000011
  - Id réseau : 00000001
  - Id noeud : 00000000 00000000 00000011
- 11000000 10101000 00000000 11111110
  - Id réseau : 11000000 10101000 00000000
  - Id noeud : 11111110



## La notation

---

Évidemment, on ne manipule pas directement les adresses en binaire...

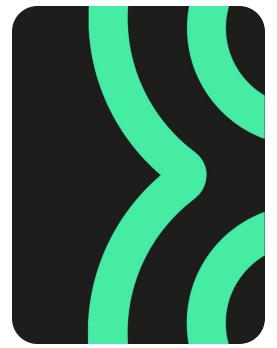
On utilise la **Notation décimal pointée** - [RFC 1166](#) :

- Chaque octet est converti en base 10
- 4 octets = 4 nombres
- Ils sont séparés par des “.”

Ex :

00000001 00000000 00000000 00000011 => 1.0.0.3

11000000 10101000 00000000 11111110 => 192.168.0.254



## Le problème des classes

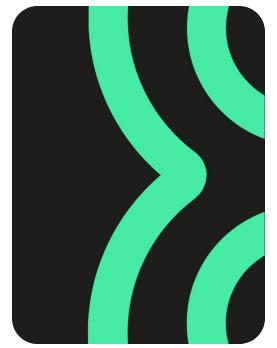
---

La structuration des adresses en classes a engendré des problèmes, notamment une pénurie dans l'attribution des adresses.

- Classe A : 128 grands réseaux (16M d'adresses chacun)
- Classe B : 16 384 réseaux moyens (65 534 adresses chacun)
- Classe C : 2 097 152 petits réseaux (254 adresses chacun)

Pour la plupart des organisations :

- Les classes C sont trop petites
- Les classes B sont trop peu nombreuses (et un peu trop grande)



# Classless Inter-Domain Routing

---

Défini dans [RFC 2632](#) :

- Disparition des classes d'adresses
- Possibilité de découper chaque adresse au besoin (i.e. de choisir la taille du préfixe)
- Notation CIDR : **a.b.c.d/s** (avec s la taille en bits du préfixe réseau)

Exemple : 192.0.2.85/24

- Préfixe réseau : 192.0.2.x
- Id du noeud : 85



# Adresses réservées

---

Au sein d'une plage :

- La première adresse (Id hôte ne contenant que des 0)  
**=> adresse du réseau**

Exemple :

Plage 192.0.2.0/24 => Adresse du réseau : 192.0.2.**0**

11000000 00000000 00000010 **00000000**



## Adresses réservées (suite)

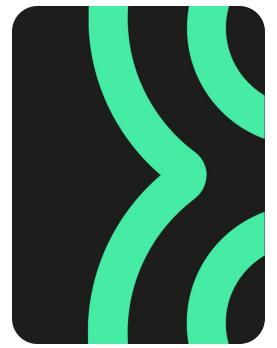
---

- La dernière adresse (Id hôte ne contenant que des 1)  
=> **adresse de diffusion (*broadcast*)**

Exemple :

Plage 192.0.2.0/24 => Adresse de diffusion : 192.0.2.**255**

11000000 00000000 00000010 **11111111**



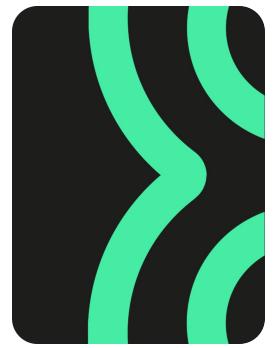
## Les masques

---

Avant CIDR, pour préciser le découpage d'une adresse (le nombre de bits du préfixe réseau), on utilisait la notion de **masque de réseau** :

- Une séquence de 32 bits constituée uniquement de 1 suivi uniquement de 0
- L'opération “ET logique” bit à bit entre l'adresse et le masque permet de récupérer l'adresse du réseau
- Même notation que pour les adresses

[Calcul de  
masque](#)



## Calcul d'adresse réseau

---

Calculée en faisant un ET logique entre l'adresse IP et le masque.

Exemple 1 : 192.0.2.85/24

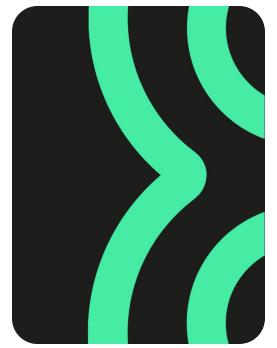
- /24 en CIDR => Masque 255.255.255.0  
⇒ 3 octets réseau et 1 octet hôte

Adresse : 11000000.00000000.00000010.01010101

Masque : 11111111.11111111.11111111.00000000

Réseau : 11000000.00000000.00000010.00000000

⇒ 192.0.2.0



## Calcul d'adresse réseau (suite)

Calculée en faisant un ET logique entre l'adresse IP et le masque.

Exemple 2 : 172.16.10.35/21

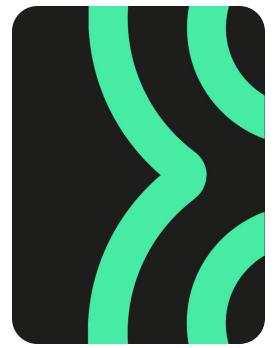
- /21 en CIDR => Masque 255.255.248.0  
⇒ 21 bits réseau et 11 bits hôte

Adresse : 10101100.00010000.00001010.00100011

Masque : 11111111.11111111.11111111000.00000000

Réseau : 10101100.00010000.00001000.00000000

⇒ 172.16.8.0



## Calcul d'adresse de diffusion (méthode 1)

→ C'est la dernière adresse d'une plage IP. Elle est réservée.

Exemple : 172.16.20.19/20 => Masque 255.255.240.0

Adresse : 10101100.00010000.00010100.00010011

Masque : 11111111.11111111.11110000.00000000

Réseau : 10101100.00010000.00010000.00000000

⇒ 172.16.0

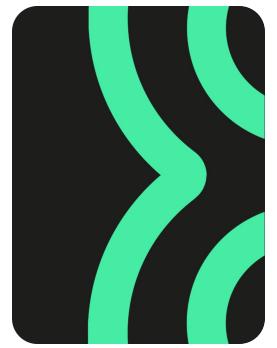
Adresse IP de réseau : 172.16.16.0

Adresse IP de diffusion : 172.16.x.255

256-240 (masque) = 16 ⇒ recherche plus proche supérieur à 16

⇒ 16+16 -1 = 31

adresse IP broadcast : 172.16.31.255



## Calcul du nombre d'hôtes maximum

---

C'est le nombre d'adresses IP disponibles par réseau pouvant être assignées. De base, on enlève toujours 2 adresses par réseaux, les adresses de réseau et de diffusion.

Le nombre d'hôtes est  $2^n - 2$  avec  $n = 32-m$  (avec m le CIDR).

Ex. : Pour un réseau avec un masque 255.255.248.0 soit un CIDR de 21 :

Le nombre d'hôtes est :  $2^{32-21}-2 = 2^{11}-2 = 2048-2 = \textcolor{red}{2046}$



## Calcul d'adresse de diffusion (méthode 2)

---

Exemple : 172.16.20.19/20

- /20 en CIDR => Masque 255.255.240.0

Adresse : 10101100.00010000.00010100.00010011

Masque : 11111111.11111111.11110000.00000000

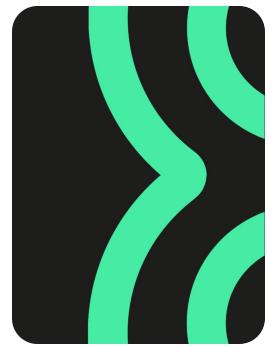
Réseau : 10101100.00010000.00010000.00000000

⇒ 172.16.16.0

Nombre maximum d'hôtes :  $2^n - 2$  avec n = 32-m (avec m le CIDR) =>  $2^{32-20} - 2 = 2^{12} - 2 = 4094$

Ajouter 4094 à 172.16.16.0 => 4096/256 = 16

=> 172.16.31.255



## Plages réservées

---

Plages d'adresses IP réservées à des usages particuliers :

- Adresses réservées pour les réseaux privés [RFC 1918](#)
- 10.0.0.0/8
- 172.16.0.0/12 (172.16.0.0 - 172.31.255.255)
- 192.168.0.0/16
- Adresses de bouclage (localhost) : 127.0.0.0/8
- Adresse du réseau actuel (si inconnu) : 0.0.0.0/8
- Adresses multicast : 224.0.0.0/4
- Ad. de diffusion (locale) sur réseau inconnu : 255.255.255.255/32
- D'autres : [Liste sur Wikipédia](#)

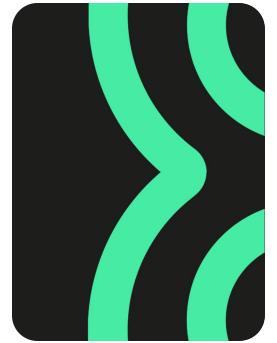


## Attribution des adresses publiques

---

Pour assurer l'unicité : Organismes d'attribution

- ICANN : Composante IANA
  - Attribution de préfixes réseau aux RIR (Registre Internet Régionaux)
  - RIR : 5 (par continent) - Europe et Moyen-orient : RIPE NCC
    - Attribution de préfixes (de sous-)réseau dans leurs plages au LIR
    - **LIR** (*Local Internet Registry*) : Constituant d'internet
      - Entreprise pour leur usage
      - FAI pour leurs clients



## Un exemple

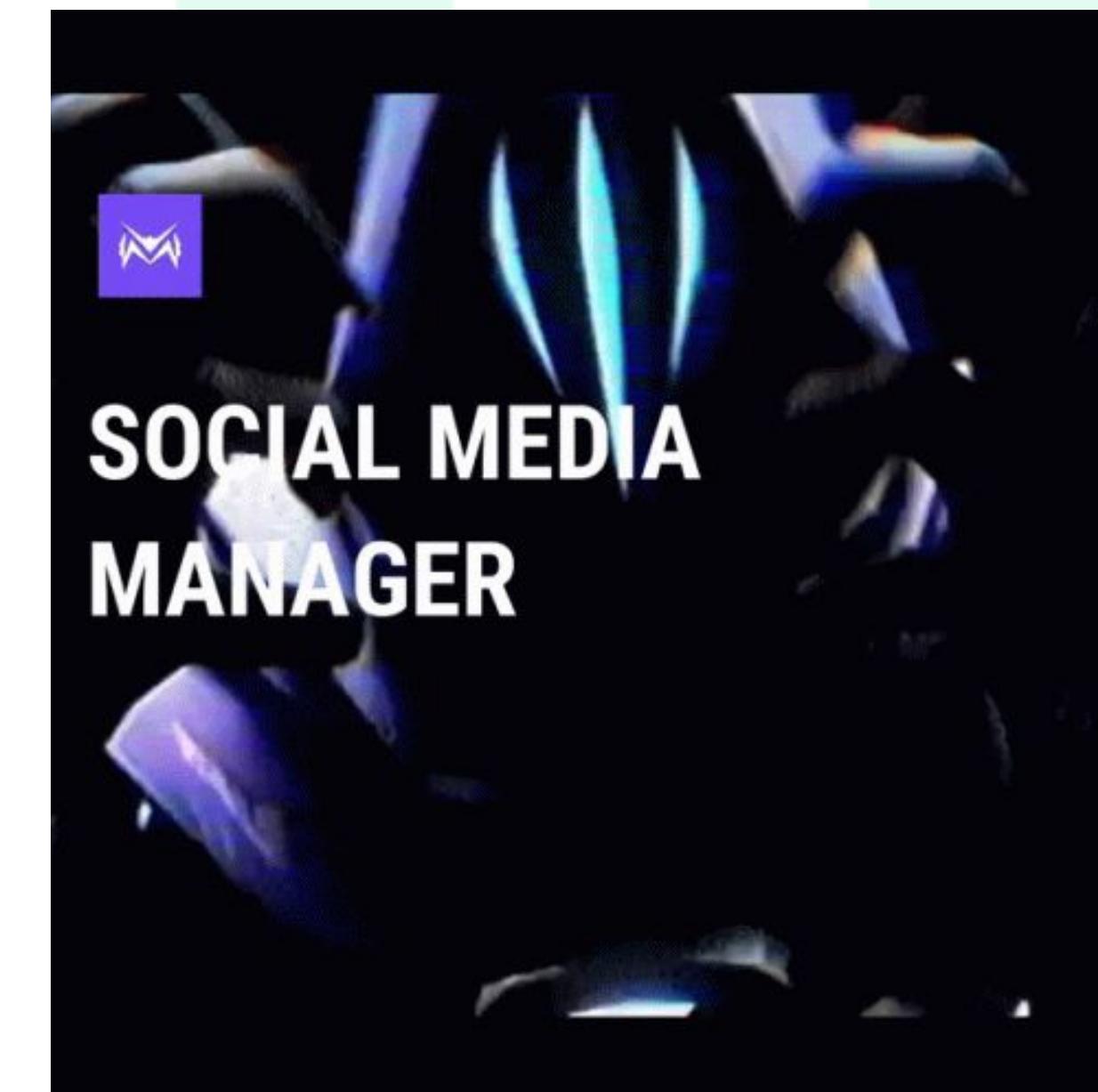


88.0.0.0/8 => RIPE NCC

88.160.0.0/11 => free

88.[160-191].x.x/32 => un abonné

# Configurer son réseau





## Le plan d'adressage

---

Du fait de la pénurie d'adresses IPv4, on réserve en général les adresses publiques aux serveurs devant être accessibles sur Internet car c'est une denrée très rare (en général, on en a pas assez).

Pour les autres machines :

- Adresses privées

Pour les machines clientes devant accéder à Internet : utilisation de NAT.



## Le plan d'adressage (suite)

---

Pour les machines internes :

- Qui doit communiquer avec qui
- En lien avec les réseaux physiques (ou les VLAN)

Combien d'hôtes le réseau va-t-il accueillir ? (et à l'avenir)

- Choix des plages en fonction



# Configuration GNU/Linux

---

La configuration réseau d'une machine GNU/linux peut-être faite :

- À la volée : changement jusqu'au prochain démarrage
  - Avec la commande **ip** (ou **ifconfig** sur des vieux systèmes)
- Permanente : configuration appliquée à chaque démarrage
  - Dans **/etc/network/interfaces**
  - Ou dans des fichiers dans **/etc/network/interfaces.d** pour les configurations complexes
- Plus d'info : **man interfaces**



## La commande ip

---

La commande **ip** attend un **objet** qu'elle va configurer :

- **link** => configuration du lien (Ethernet)
- **address** => configuration IP
- **neighbour** => gestion des voisins (ARP)

Puis des commandes à appliquer à cet objet :

- Souvent add/del/set/show
- Mais dépend de l'objet
- Une page de man par objet (ex. : man ip-address)



## Des exemples

---

```
wilder@host:~$ ip -4 address show dev enp0s3 # Show the IPv4 configuration of the enp0s3 device
2: enp0s3: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UP group default
    qlen 1000
        link/ether 08:00:27:5d:0f:fc brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
        inet 192.168.0.10/24 brd 192.168.0.255 scope global dynamic noprefixroute enp0s3
            valid-lft 43195sec preferred-lft 43195sec
wilder@host:~$ ip address show                      # Show all interfaces and ip configuration
wilder@host:~$ sudo ip address add 192.168.0.212/24 dev enp0s3  # Add a new IP address
wilder@host:~$ sudo ip address del 192.168.0.212/24 dev enp0s3 # Delete an IP address
wilder@host:~$ ip a  # Show all ip configurations of every devices on the system (a short for address)
```



# Configuration Windows

Quelques cmdlets pour interagir avec le réseau :

- **Get-NetIPConfiguration**
- **Get-NetAdapter**
- **New-NetIPAddress**

Les configurations sont sauvegardées

Exemples :

```
PS C:\>New-NetIPAddress -InterfaceIndex 2 -IPAddress 192.168.0.24 -PrefixLength "24" -  
DefaultGateway 192.168.0.1
```

# Le paquet

**this dog sniffs packets**





## Le paquet IP

---

IP découpe l'information qu'il doit transmettre

- Reçu de la couche supérieure (Protocole de couche 4 : TCP, UDP...)
- Pour transmission au lien (Protocole de couche 1 et 2 : Ethernet)

Chaque paquet comporte un entête

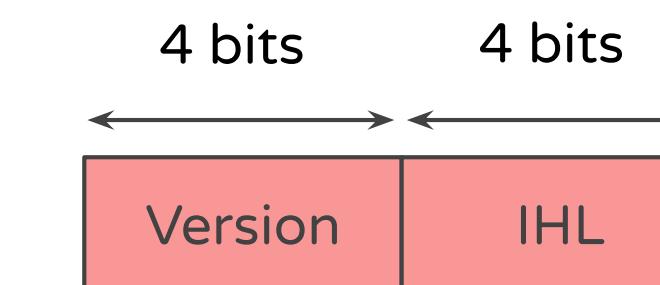
- Contient les informations nécessaire à IP
- Ajouter avant le PDU à transmettre



## L'entête - premier octet

### Version (4 bits) :

- Bits 0 à 3
- IP version 4 => Toujours 4 (0100)



### Internet Header Length - IHL (4 bits) :

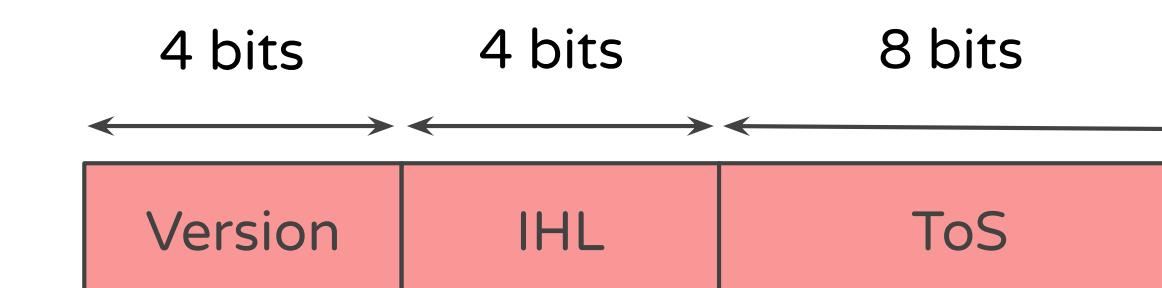
- Bits 4 à 7
- Taille de l'entête en mots de 32 bits
- En-tête ipv4 de taille variable - options
- Valeur comprise entre 5 et 15



## L'entête - Qualité de service

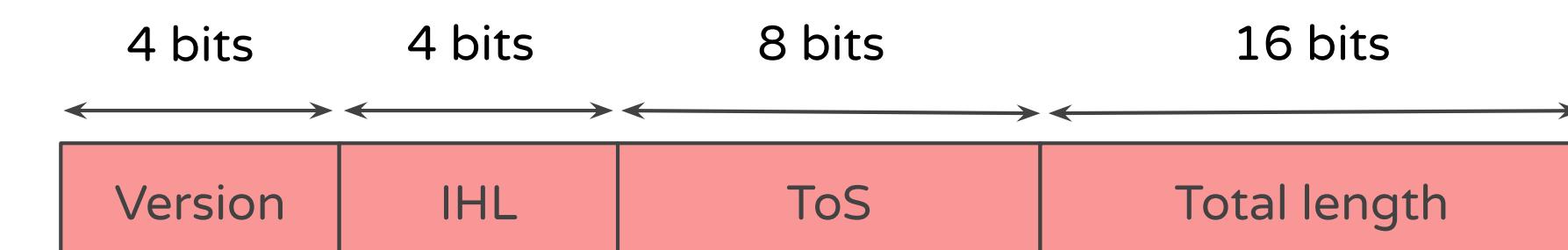
### Type of Service (8 bits) :

- Bits 8 à 15
- Support à la qualité de service
- Indique comment le paquet devrait être traité par les routeurs
- Indicatif : peut ne pas être pris en compte
- Défini dans [RFC 2474](#) commun à IPv6





## L'entête - Taille du paquet



### Total length (16 bits) :

- Bits 16 à 31
- Taille du paquet IP en octet
- Entête + charge utile
- 65 535 octets max



## L'entête - Fragmentation

### Identification (8 bits) :

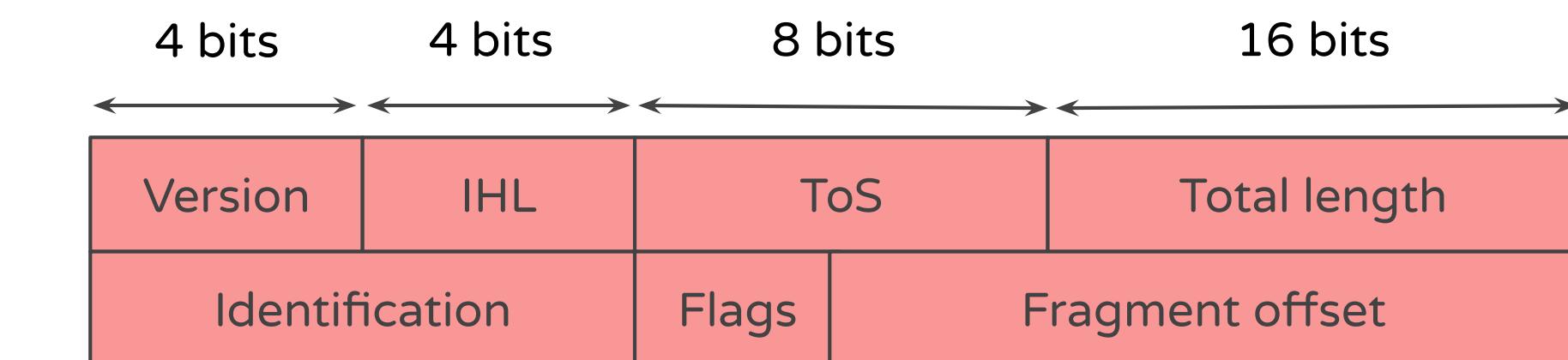
- Bits 32 à 39
- Ident. paquet fixé par émetteur

### Drapeaux - Flags (3 bits) :

- Bit 40 : 0 (Toujours)
- Bit 41 (Don't fragment) 1 si frag.int.
- Bit 42 : (More fra.) : 1 si frag. à suivre

### Fragment offset (29 bits) :

- Bits 43 à 63
- Position du fragment - 0 pour le 1er





## La fragmentation

---

Le paquet IP doit être transmis dans la trame du lien sous-jacent. Cette trame a un MTU en général très inférieure à la limite de 65 535 d'IP.

Les passerelles IP (routeurs) peuvent parfois recevoir un paquet IP sur un lien. Donc dans une trame avec un MTU donné et devoir le transférer sur un autre lien avec un autre MTU, éventuellement plus petit.

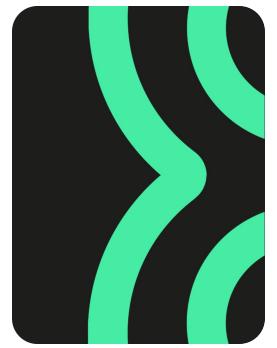


## La fragmentation (suite)

---

Elle ne peut donc pas transmettre le paquet en l'état => elle doit fragmenter

Cette fragmentation peut avoir lieu plusieurs fois sur le chemin



## La fragmentation - Le mécanisme

---

Dans le cas où le MTU est trop petit pour transmettre le paquet  
Si **Don't fragment** est à 1 : le paquet est jeté et l'émetteur est averti via ICMP. Sinon :

- Découpe du paquet
- Recopie de l'entête
  - Changement de la taille à la taille de la partie
  - 1ère partie : **More Fragment** = 1
  - 2ème partie : **Fragment Offset** = Taille entête + taille partie 1

Le réassemblage du paquet se fera uniquement par le destinataire final.



## L'entête

### Time To Live (8 bits) :

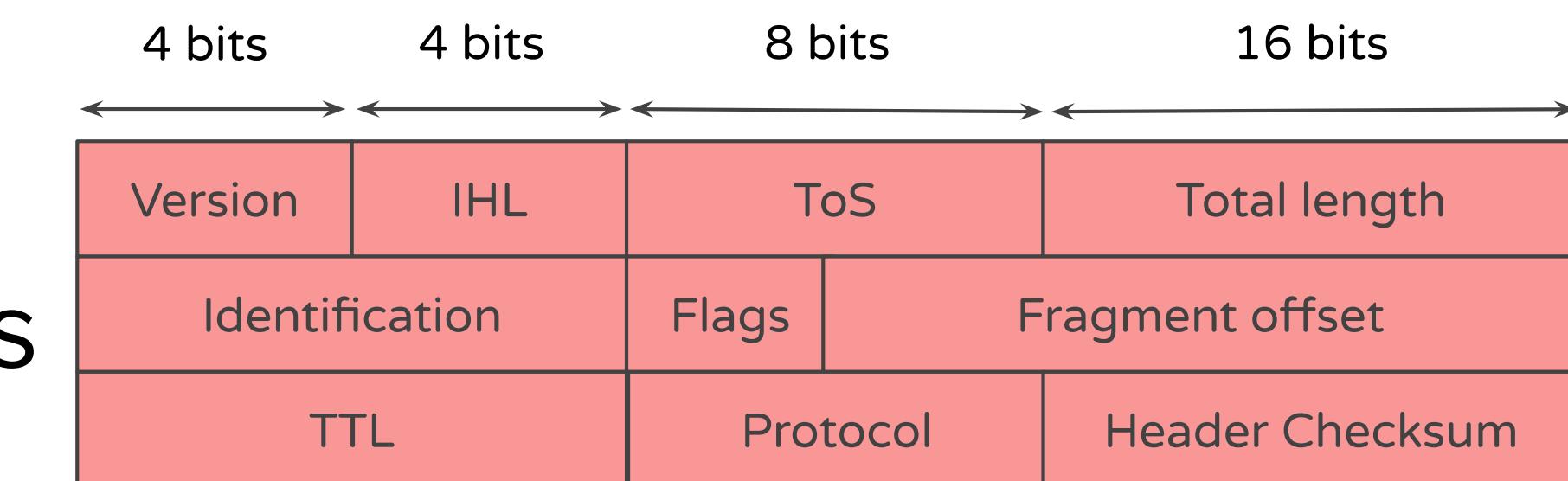
- Bits 64 à 71
- Durée de vie du paquets - nb. sauts

### Protocol (8 bits) :

- Bit 72 à 79
- Num. protocole encapsulé dans IP

### Header Checksum (16 bits) :

- Bits 80 à 95
- Somme de contrôle de l'entête IP
- Recalculé à chaque chang. (TTL)





## L'entête

**Source Address (32 bits) :**

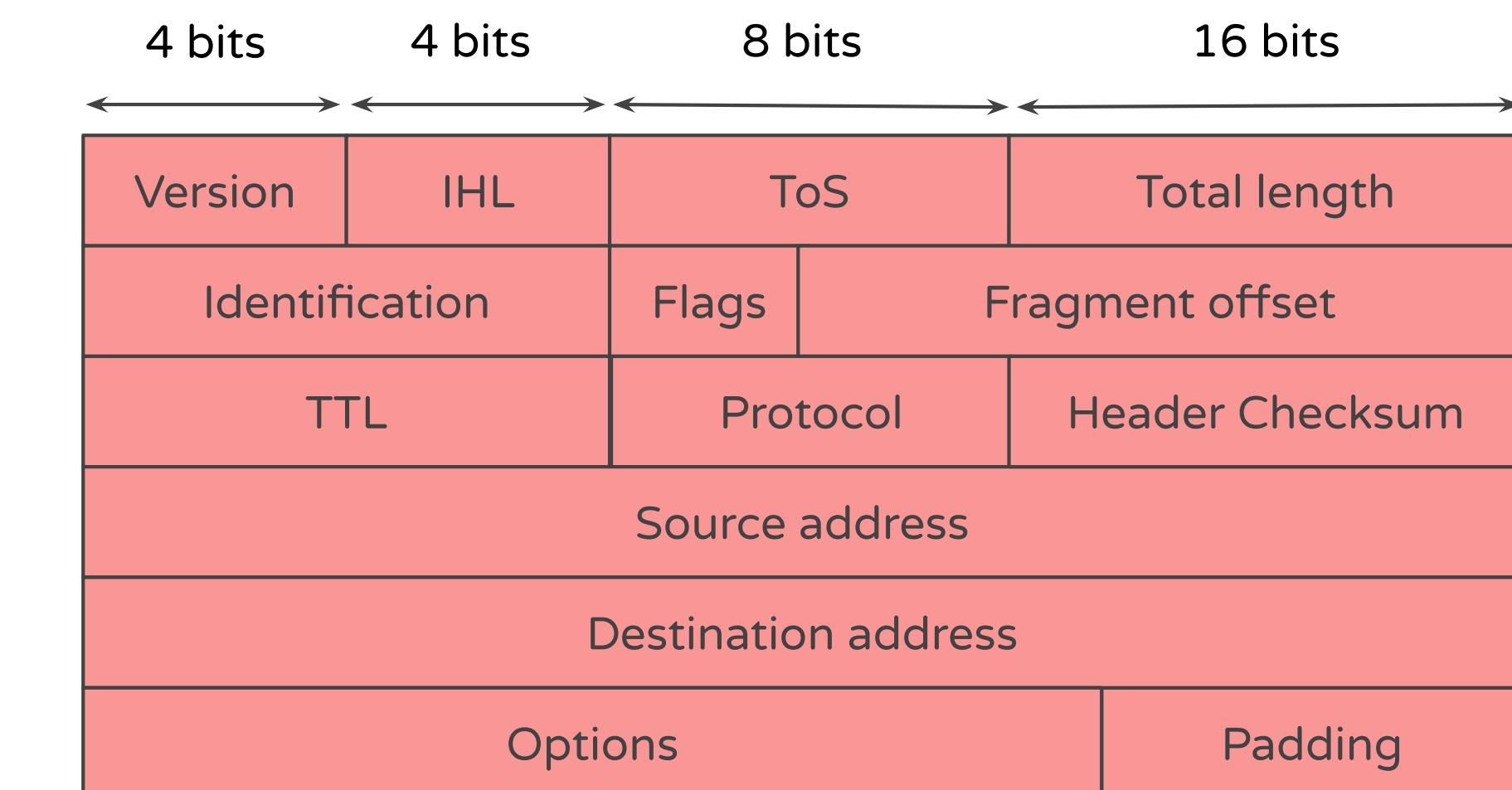
- Bits 96 à 127

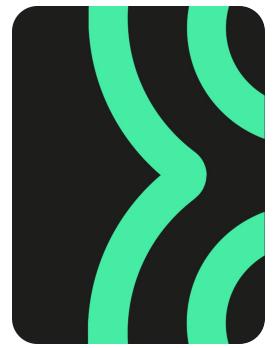
**Destination Address (32 bits) :**

- Bit 128 à 159

**Options :**

- L'entête IP peut comporter des options
- Le cas échéant on ajoute du bourrage (padding) pour que l'entête soit un multiple de 32 bits





## Les numéro de protocoles

Le champs **protocol** contient le numéro du protocol encapsulé. Ces numéros sont standardisés et maintenu par l'IANA (Composante ICANN). Par exemple :

- ICMP = 1
- IPv4 = 4
- TCP = 6
- UDP = 17

Voir [la liste](#).

On retrouve cette même numérotation dans les entêtes IPv6 ainsi qu'en général chaque fois qu'un protocole IETF a besoin de référencer un protocole.<sup>51</sup>

# Protocoles connexes





# ICMP



*Internet Control Message Protocol* - [RFC 792](#) est le protocole de contrôle associé à IP.

Quand IP a besoin de communiquer un message d'erreur => paquet ICMP.

ICMP circule dans IP (**Protocol 3**).



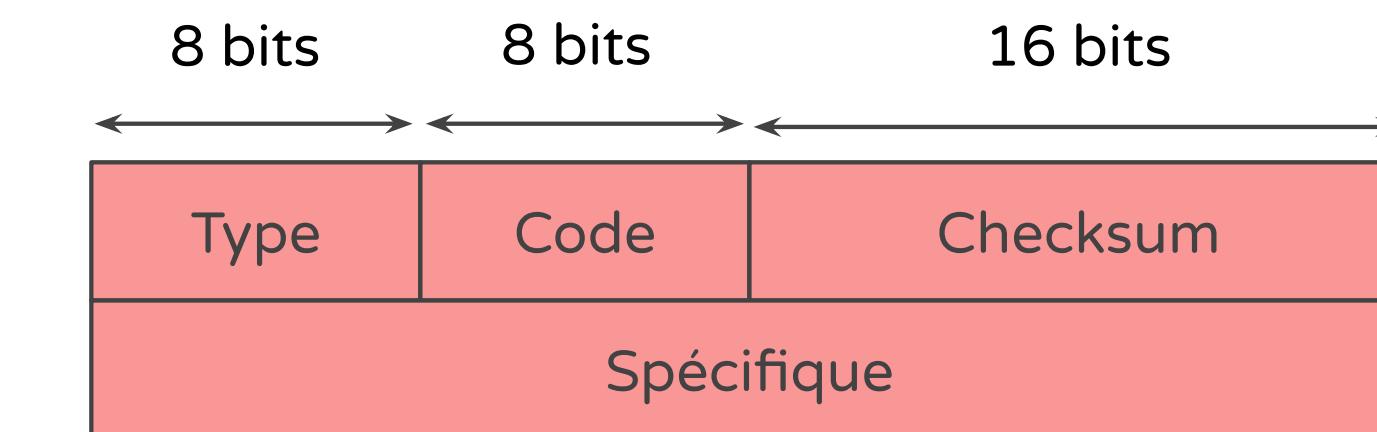
## ICMP (suite)

---

Exemple de Type ICMP :

- 0 : Echo Reply
- 2 : Destination Unreachable
- 8 : Echo Request
- 11 : Time Exceeded

Liste complète : site de l'[IANA](#).



Le paquet ICMP



# ARP

*Address Resolution Protocol - [RFC 826](#)*

Lors d'une communication, l'adresse IP de destination doit être connue.

Pour la réponse, l'adresse est la source de la requête.

Mais pour insérer le paquet IP dans une trame ethernet, il faut l'adresse MAC de destination !

ARP : Lien entre la couche 2 et 3.



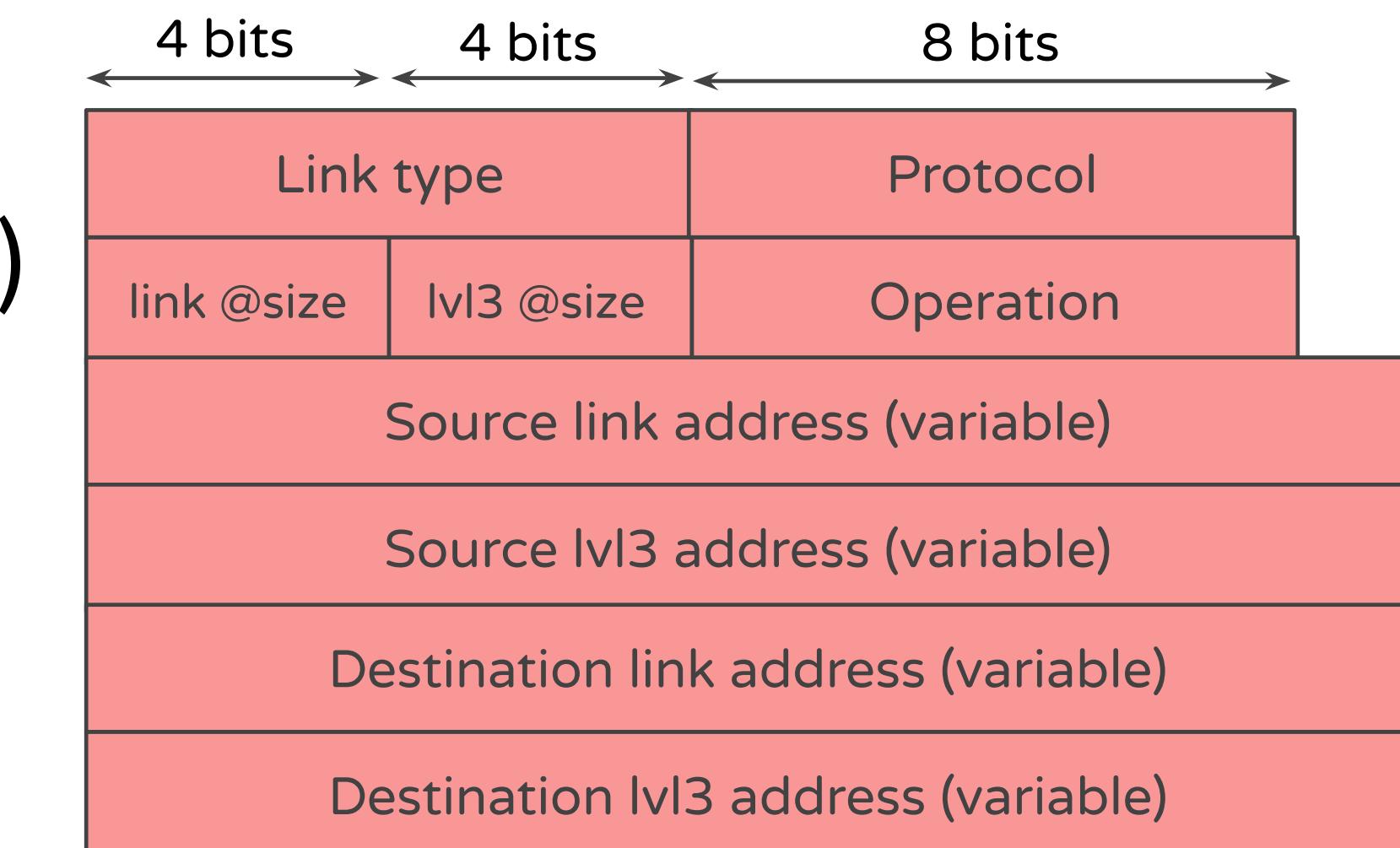
## ARP - Le paquet

Encapsulé directement dans Ethernet

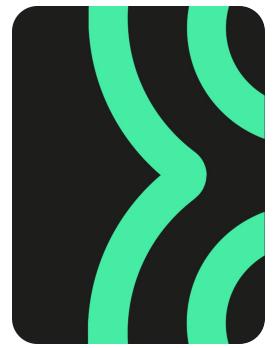
- Ethertype : 0x806

Adapté à différent protocole réseau (3)  
sur différents liens (2)

- Link type : code du réseau physique
  - Ex : Ethernet = 1
- Protocol : code du protocole réseau (3)
  - Ex : IPv4 = 0x800
- Adresse lien destinataire 0 pour les requêtes



Le paquet ARP



## ARP - Fonctionnement général

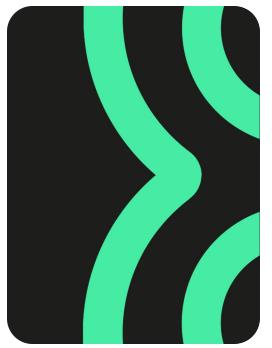
---

Pour envoyer un paquet IP à Ethernet, il faut fournir l'adresse MAC

- ARP envoie une requête en broadcast sur le réseau (Qui a l'adresse IP a.b.c.d) ?
- Le possesseur de l'adresse MAC est censé répondre
- ARP enregistre la réponse dans un cache pour ne pas demander à chaque fois

Pour aller plus loin et voir les problèmes de sécurité lié à ARP :

- Voir cet excellent mais [ancien site](#).



---

## En résumé

---

A retenir

Adresse et Réseau IP version 4

Le paquet IPv4, les différents champs et leurs utilité  
(fragmentation, encapsulation, contrôle d'erreur)

Protocole complémentaire nécessaire à IP : ICMP et ARP



---

# MERCI

---

pour votre participation.

C'est à vous maintenant.  
Des questions ?  
Des remarques ?

