ANNÉE PASSERELLE EN INGÉNIERIE

Chapitre 7 — Ethernet et IP

Introduction à la Téléinformatique

Vincent Audergon · HEIA-FR

Année académique 2026-2027

Plan du chapitre

HEIA-FR
HTA-FR

01 Adresses MAC et IP
02 Masques de sous-réseau
03 Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion
04 Adresses privées, publiques et réservées
05 Trame Ethernet et paquet IPv4
06 IPv6

Objectifs du chapitre

HEIA-FR
HTA-FR

À l'issue de ce chapitre, vous saurez :

- **définir** les adresses IP et MAC et leur rôle dans le modèle en couches ;
- **expliquer** comment ces adresses permettent la communication entre périphériques ;
- **décrire** les adresses IPv4 et IPv6 et leurs caractéristiques ;
- **calculer** un masque de sous-réseau, une adresse de sous-réseau et une adresse de diffusion ;
- **décrire** les champs d'une trame Ethernet et d'un paquet IP.

SECTION

01 —

Adresses MAC et IP

01 **Adresses MAC et IP**
02 Masques de sous-réseau
03 Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion
04 Adresses privées, publiques et réservées
05 Trame Ethernet et paquet IPv4
06 IPv6

Deux adresses, deux rôles

DÉFINITION · ADRESSE MAC

Adresse **physique**, sur 48 bits, gravée dans le matériel par le fabricant. Identifie un périphérique sur son réseau **local** (couche liaison de données, **L2**).

DÉFINITION · ADRESSE IP

Adresse **logique**, attribuée au niveau réseau. Identifie un périphérique de façon **hiérarchisée** (réseau + hôte), y compris sur un réseau distant (couche réseau, **L3**).

Structure d'une adresse MAC

6 octets, représentés en hexadécimal

Exemple : `00:1A:2B:3C:4D:5E`

- Chaque octet est représenté par 2 symboles hexadécimaux (0–9, A–F).
- Les octets sont séparés par `:` ou `-`.
- Les **3 premiers octets** (OUI, *Organizationally Unique Identifier*) identifient le **fabricant**.
- Les **3 derniers octets** identifient le **périphérique**, de façon unique.

EXEMPLE · ADRESSE DE DIFFUSION

`FF:FF:FF:FF:FF:FF` désigne **tous** les périphériques du domaine de diffusion.

Structure d'une adresse IP

32 bits, représentés en décimal pointé

Exemple : `192.168.1.1`

- Chaque nombre (octet) est compris entre `0` et `255`.
- Hiérarchie : les bits de gauche identifient le **réseau**, ceux de droite l'**hôte**.
- La limite entre réseau et hôte est définie par le **masque de sous-réseau**

MAC et IP, en un tableau

Caractéristique	Adresse MAC	Adresse IP
Nature	Physique, non hiérarchisée	Logique, hiérarchisée
Couche OSI	Liaison de données (L2)	Réseau (L3)
Format	Hexadécimal, 6 octets, séparés par `:` ou `-` `01:23:45:67:89:AB`	Décimal pointé, 4 octets (IPv4) `123.456.789.0`
Portée	Réseau local	Local ou distant

? QUESTION 1

Pour chaque adresse, s'agit-il d'une adresse MAC, IP, ou est-elle invalide ?

1. `00:1A:2B:3C:4D:5E`
2. `192.168.1.1`
3. `123.456.789.0`
4. `0Z:1A:2B:3C:4D:5E`

> **RÉPONSE**
> 1. **MAC** (hexadécimal, 6 octets). 2. **IP** (décimal pointé, 4 octets). 3. **IP invalide** (octets > 255). 4. **MAC invalide** (`Z` hors de la plage hexadécimale).

SECTION

02 —

Masques de sous-réseau

01 Adresses MAC et IP
02 **Masques de sous-réseau**
03 Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion
04 Adresses privées, publiques et réservées
05 Trame Ethernet et paquet IPv4
06 IPv6

Masque de sous-réseau

DÉFINITION · MASQUE DE SOUS-RÉSEAU

Suite **continue** de n bits à `1` (identifiant réseau) suivie de m bits à `0` (identifiant hôte), avec $n + m = 32$.

EXEMPLE · MASQUE /24

`255.255.255.0` en binaire : `11111111.11111111.11111111.00000000`. 24 bits à `1`.

Le nombre de bits à `1` détermine la **taille du réseau** et le nombre d'hôtes possibles. On note le masque par `/n` (notation CIDR, *Classless Inter-Domain Routing*).

Notation CIDR et nombre d'hôtes

Nombre d'hôtes utilisables dans un réseau `/n` :

$$2^{32-n} - 2$$

REMARQUE

On soustrait **2** : l'adresse réseau (hôte à `0`) et l'adresse de diffusion (hôte à `1`) sont réservées.

EXEMPLE · QUELQUES TAILLES COURANTES

/24 → $2^8 - 2 = 254$ hôtes

/26 → $2^6 - 2 = 62$ hôtes

/30 → $2^2 - 2 = 2$ hôtes

? QUESTION 2

Combien d’hôtes disponibles pour un masque `/23` ? Et pour `255.255.240.0` ?

RÉPONSE

- /23 → $2^{32-23} - 2 = 2^9 - 2 = 510$ hôtes.
- `255.255.240.0` correspond à un `/20` → $2^{32-20} - 2 = 2^{12} - 2 = 4094$ hôtes.

SECTION
03

Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion

01 Adresses MAC et IP
02 Masques de sous-réseau
03 Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion
04 Adresses privées, publiques et réservées
05 Trame Ethernet et paquet IPv4
06 IPv6

Adresse de sous-réseau (AND binaire)

Adresse IP `AND` masque = adresse de sous-réseau.

```
IP      192.168.0.158   = 11000000.10101000.00000000.10011110
Masque        /25       = 11111111.11111111.11111111.10000000
AND                     = 11000000.10101000.00000000.10000000
                        → 192.168.0.128
```

REMARQUE
On garde les bits de l'adresse IP là où le masque vaut `1`, on met à `0` le reste.

Adresse de diffusion (OR binaire)

Adresse de sous-réseau `OR` masque inversé (*wildcard mask*) = adresse de diffusion.

```
Sous-réseau 192.168.0.0 = 11000000.10101000.00000000.00000000
Wildcard         /24    = 00000000.00000000.00000000.11111111
OR                      = 11000000.10101000.00000000.11111111
                        → 192.168.0.255
```

EXEMPLE

Tous les bits de l'identifiant d'hôte passent à `1` : l'adresse résultante joint **tous** les périphériques du sous-réseau.

? QUESTION 3

Adresse IP `10.0.64.23`, masque `255.255.254.0`. Calculez l'adresse de sous-réseau et l'adresse de diffusion.

> **RÉPONSE**
> Masque `/23`. Adresse de sous-réseau : `10.0.64.0`. Adresse de diffusion : `10.0.65.255`.

SECTION

04 —

Adresses privées, publiques et réservées

01 Adresses MAC et IP
02 Masques de sous-réseau
03 Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion
04 **Adresses privées, publiques et réservées**
05 Trame Ethernet et paquet IPv4
06 IPv6

Adresses privées (RFC 1918)

Classe historique	Bloc CIDR	Plage d'adresses
A	10.0.0.0/8	10.0.0.0 – 10.255.255.255
B	172.16.0.0/12	172.16.0.0 – 172.31.255.255
C	192.168.0.0/16	192.168.0.0 – 192.168.255.255

REMARQUE

Non **routables** sur Internet : réservées aux réseaux internes. Tout le reste (hors adresses réservées) est **public**.

Adresses réservées

Adresse	Usage	Description
127.0.0.1	Loopback	L'hôte local (localhost)
0.0.0.0	This network	Désigne le réseau lui-même
169.254.0.0/16	APIPA	Auto-attribuée si le DHCP échoue
255.255.255.255	Broadcast	Diffusion limitée, jamais routée

? QUESTION 4

`172.20.0.0/14` : plage privée ou publique ? Calculez l'adresse de diffusion et le nombre d'hôtes.

> **RÉPONSE**
> **Privée** (dans 172.16.0.0/12). Broadcast : `172.23.255.255` . $2^{32-14} - 2 = 2^{18} - 2 = 262142$ hôtes.

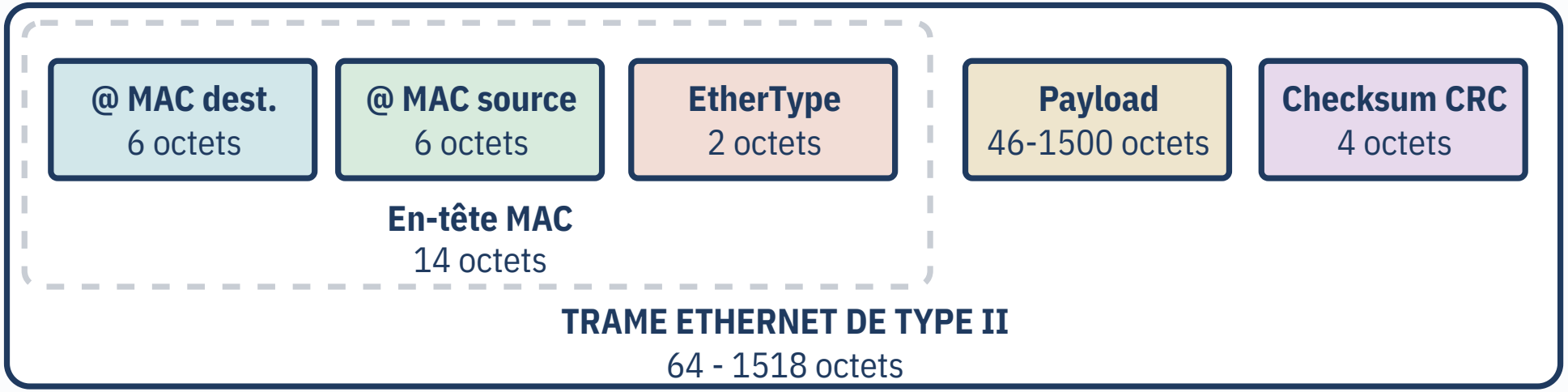
SECTION

05

Trame Ethernet et paquet IPv4

01 Adresses MAC et IP
02 Masques de sous-réseau
03 Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion
04 Adresses privées, publiques et réservées
05 **Trame Ethernet et paquet IPv4**
06 IPv6

Structure d'une trame Ethernet de type II

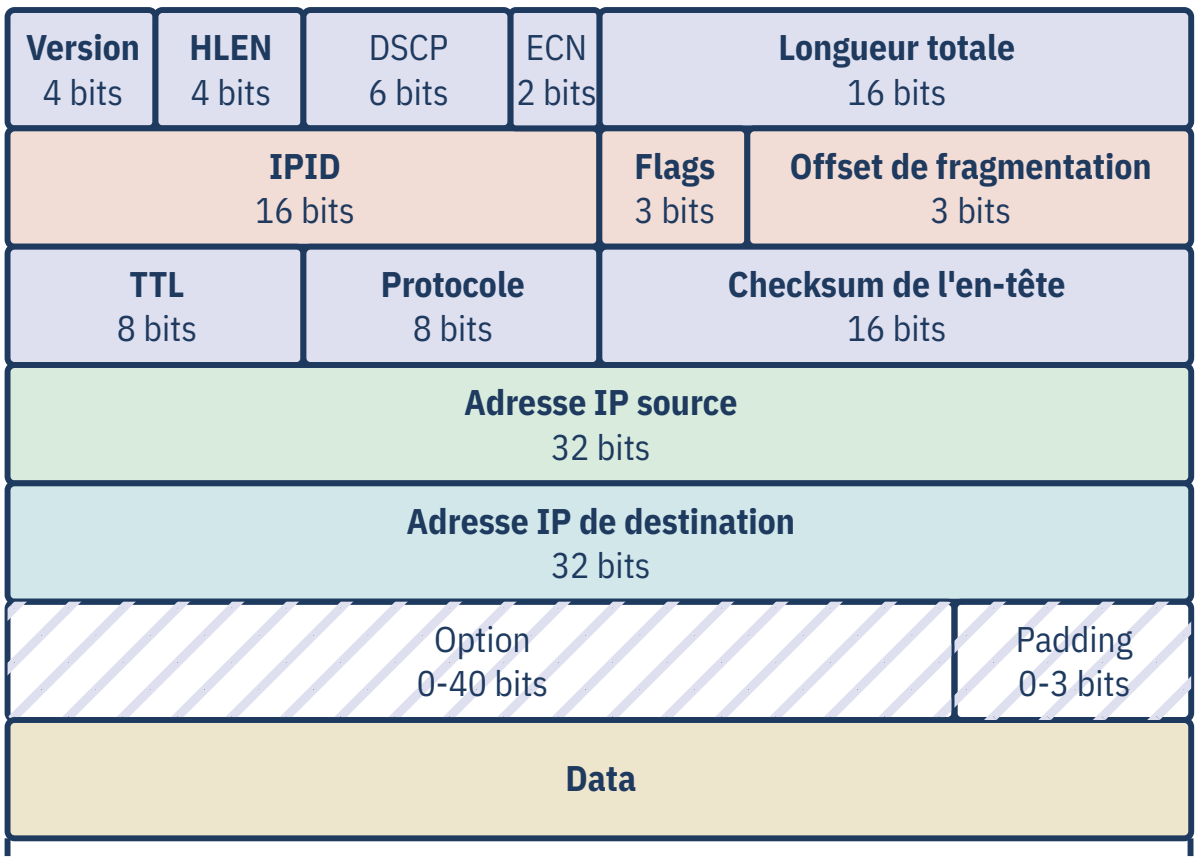


IEEE 802.3, UTILISÉE AVEC LE MODÈLE TCP/IP

Champs clés de la trame Ethernet

- **Adresses MAC** source et destination.
- **EtherType** : protocole de couche supérieure — `0x0800` pour IPv4, `0x86DD` pour IPv6.
- **Données (payload)** : de 46 à 1500 octets (padding si trop court).
- **FCS** (checksum, CRC) : détecte les erreurs de transmission.

Structure d'un paquet IPv4



Champs clés du paquet IPv4

HEIA-FR
HTA-FR

- **TTL** (Time to Live) : décrémenté à chaque routeur ; à `0`, le paquet est rejeté (ICMP *Time Exceeded*).
- **Protocole** : `0x06` pour TCP, `0x11` pour UDP.
- **Adresses source et destination** : 32 bits chacune.

> **ATTENTION**
> Un paquet plus grand que la **MTU** (1500 octets sur Ethernet) doit être **fragmenté**. En pratique, on l'évite grâce au *Path MTU Discovery*.

? QUESTION 5

Un paquet part avec un TTL de 64 et traverse 5 routeurs avant d'atteindre sa destination. Quel est son TTL à l'arrivée ? Que se passerait-il s'il traversait 64 routeurs ?

RÉPONSE

TTL à l'arrivée : $64 - 5 = 59$. Après 64 sauts, le TTL atteindrait `0` : le paquet serait **rejeté** par le dernier routeur, qui enverrait un message ICMP **Time Exceeded** à l'émetteur.

SECTION

06 —

IPv6

01 Adresses MAC et IP
02 Masques de sous-réseau
03 Calculer une adresse de sous-réseau et de diffusion
04 Adresses privées, publiques et réservées
05 Trame Ethernet et paquet IPv4
06 **IPv6**

Pourquoi IPv6 ?

IPv4 : 32 bits → environ 4.3×10^9 adresses. **Insuffisant** face à la croissance d'Internet et de l'IoT.

IPv6 : 128 bits → environ 3.4×10^{38} adresses.

> **REMARQUE**
> Plus que le nombre estimé de bactéries sur Terre ($\approx 10^{30}$) : chaque périphérique connecté peut avoir une adresse **unique**.

Notation d'une adresse IPv6

8 groupes de 4 chiffres hexadécimaux, séparés par `:`.

Par exemple `2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334`.

- Les zéros initiaux d'un groupe peuvent être omis.
- Une suite de groupes nuls peut être remplacée par `::`.

> **ATTENTION**
> Le raccourci `::` ne peut apparaître qu'**une seule fois** dans une adresse, sinon le nombre de blocs omis serait ambigu.

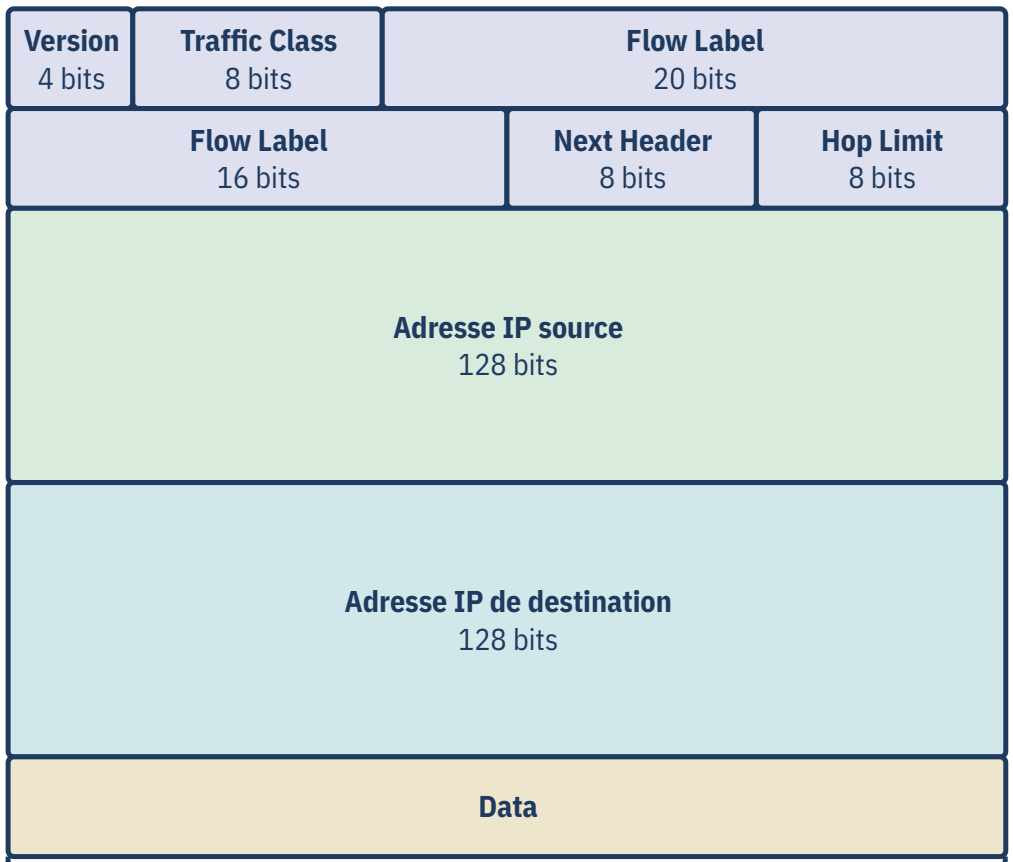
? QUESTION 6

Raccourcissez l’adresse

`fe80:0000:0000:0000:0202:b3ff:fe1e:8329`.

> **RÉPONSE**
> `fe80::202:b3ff:fe1e:8329`

Structure d'un paquet IPv6



Ce qui change avec IPv6

HEIA-FR
HTA-FR

IPv4	IPv6	Remarque
IHL	*Supprimé*	En-tête à taille fixe (40 octets)
DSCP + ECN	Traffic Class	Qualité de service
TTL	Hop Limit	Même mécanisme
Protocole	Next Header	Mêmes valeurs (`0x06` TCP, `0x11` UDP)
Checksum	*Supprimé*	Intégrité déléguée aux couches L2/L4
Adresses (32 bits)	Adresses (128 bits)	Espace multiplié par 2^{96}

Adoption d'IPv6

- Adoption lente : 50% des requêtes vers Google sont IPv6 (2026). Beaucoup de périphériques restent en IPv4.
- Généralement, **dual-stack** : IPv4 et IPv6 coexistent sur le même périphérique.
- Dépend des pays : 83% des périphériques en France sont IPv6 contre 10% en Espagne (2026)

> **REMARQUE**
> Possibilité de visualiser la progression d'IPv6, selon l'APNIC : https://stats.labs.apnic.net/ipv6

Synthèse

HEIA-FR
HTA-FR

CE QU'IL FAUT RETENIR

- **MAC** : adresse physique, locale, non hiérarchisée, L2.
- **IP** : adresse logique, hiérarchisée, routable, L3. Distinctions privée / publique / réservée.
- Masque de sous-réseau, wildcard, etc.
- Trame Ethernet II
- **IPv6** (128 bits) résout la pénurie d'adresses IPv4 (32 bits) et simplifie l'en-tête.

Des questions ?

Sources

Les sources utilisées pour ce cours (normes, documentation officielle, articles, ouvrages de référence) sont citées et listées intégralement dans la **bibliographie du support de cours écrit**, disponible sur le site du cours :

https://api-teleinfo.isc.heia-fr.ch

