Réseaux - Cours 5

Datagrammes IP, ARP et ICMP

Cyril Pain-Barre

IUT Informatique Aix-en-Provence

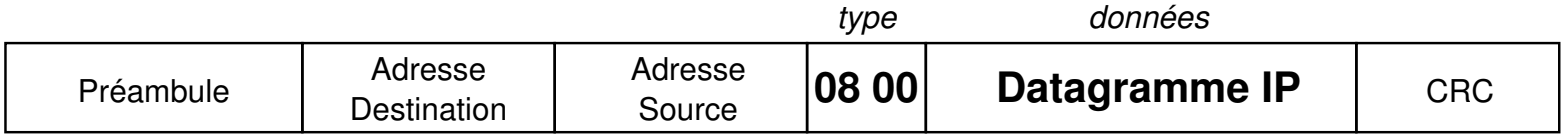
Semestre 1 - version du 13/11/2009

Datagrammes IP

(RFC 791)

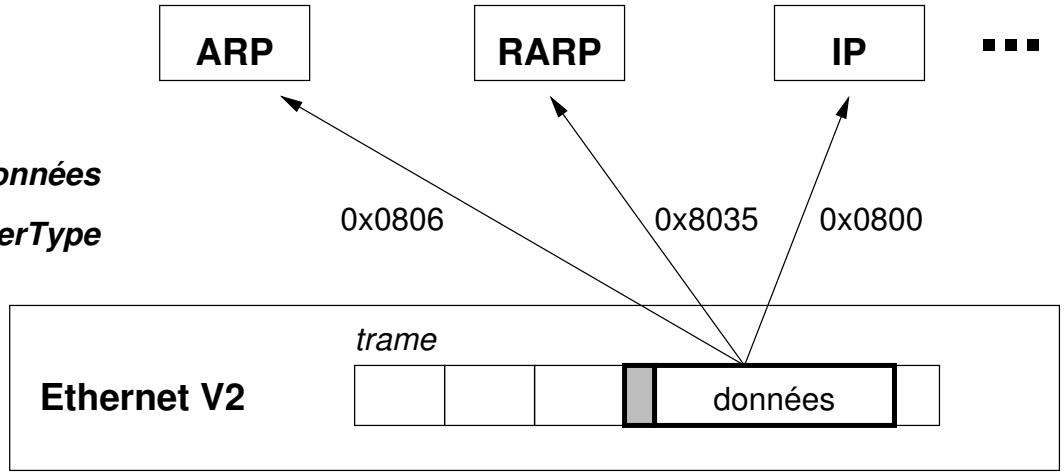
Datagramme IP sur Ethernet V2

- trame Ethernet v2 contenant un datagramme IP (*EtherType* en Hexa) :



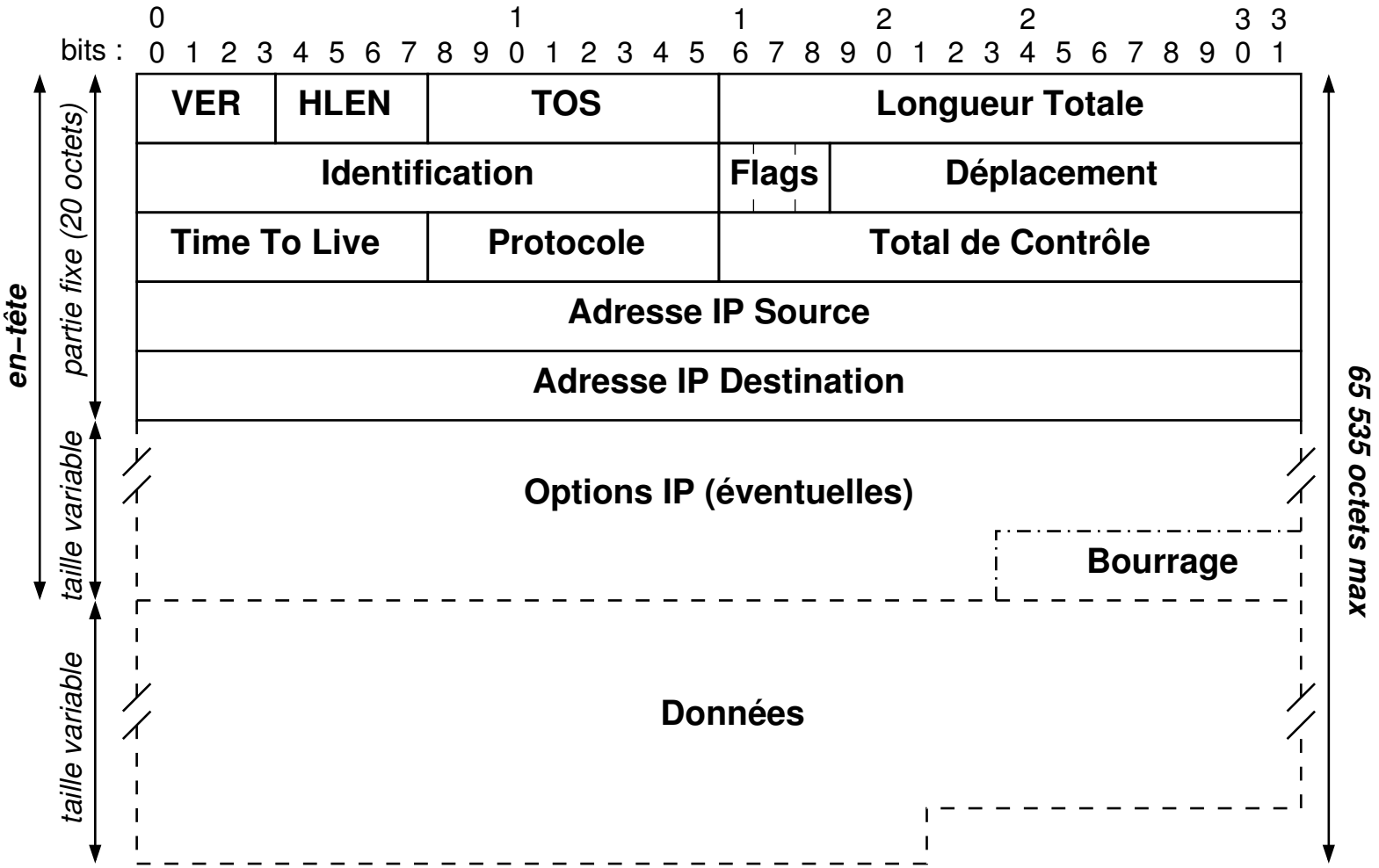
- (dé)multiplexage Ethernet v2 :

le protocole destinataire des données est indiqué par le champ EtherType

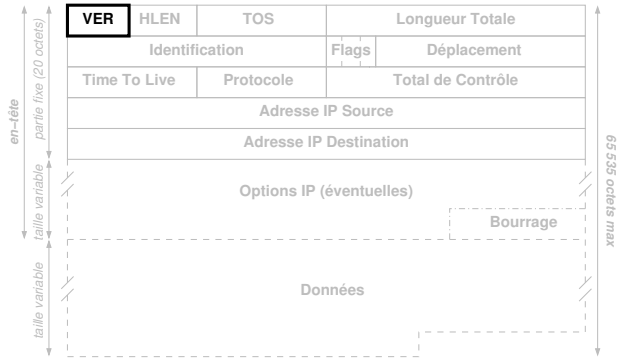


Format du datagramme IP

- en-tête : nombre variable d'octets (multiple de 4)
- données : nombre quelconque d'octets (limité à 65 315)

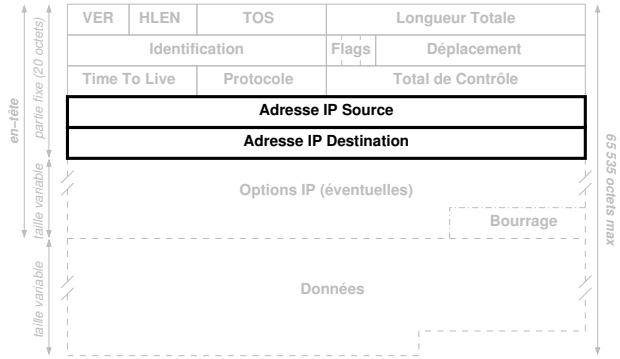


Champ Version

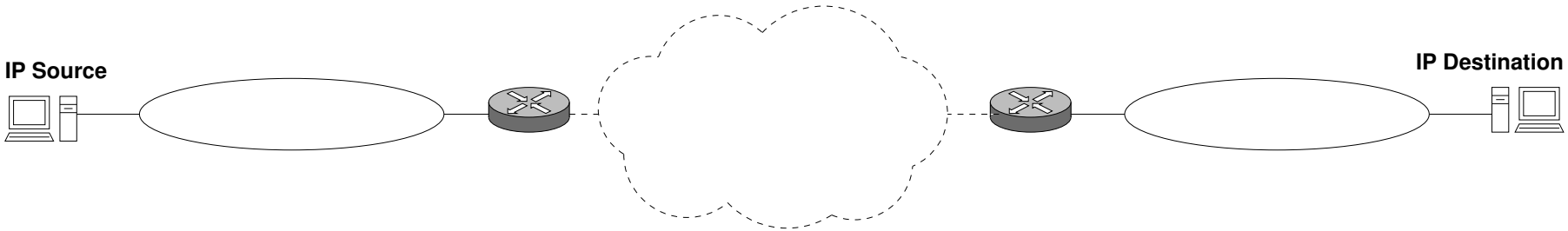


- codé sur 4 bits
- identifie la version du (format du) datagramme
- actuellement, la version est 4 (codée 0100 en binaire)
- dans le datagramme IPv6, ce champ est maintenu et vaut 6
- permet de s'assurer que le datagramme sera correctement interprété

Champs Adresses

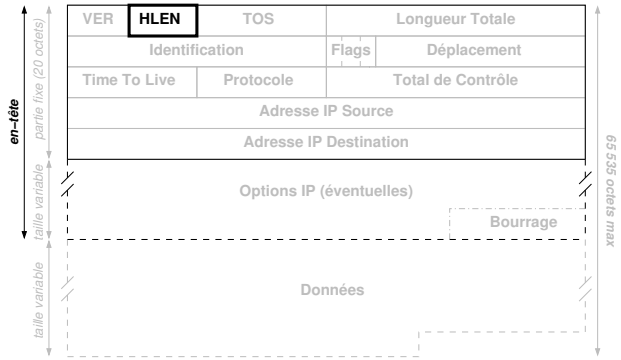


- *adresse IP Source* : (32 bits)
  identifie l'**hôte à l'origine du datagramme**
- *adresse IP Destination* : (32 bits)
  identifie le **destinataire final du datagramme**



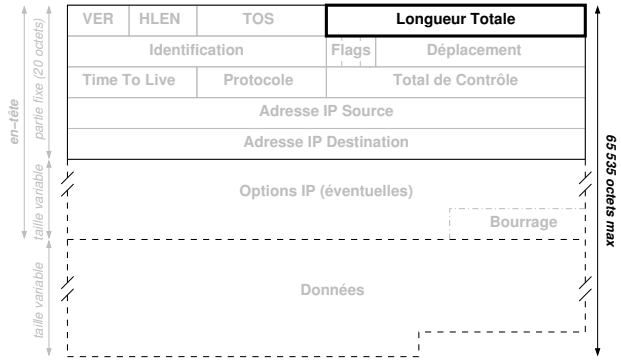
Ces adresses ne sont pas modifiées par les routeurs. Toutefois, en cas de NAT/NAPT (translation d'adresse), la NATbox peut les modifier (voir second semestre).

Champ Longueur d'en-tête (HLEN)



- *(internet) Header LENgth*
- codée sur 4 bits
- indique le nombre de mots de 32 bits de l'en-tête (comprenant les options) :
  - en-tête de 20 à 60 octets
  - $5 \leq HLEN \leq 15$
- si $HLEN > 5$ alors il y a des options

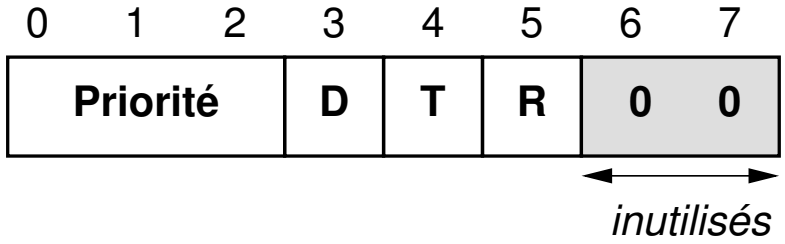
Champ Longueur Totale

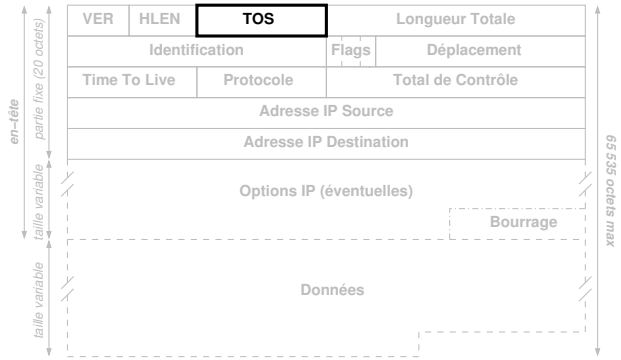


- codée sur 16 bits
- indique le nombre de total d'octets du datagramme (en-tête + données)
- comprise entre 20 et 65 535

Champ Type Of Service (TOS)

- codé sur 8 bits :

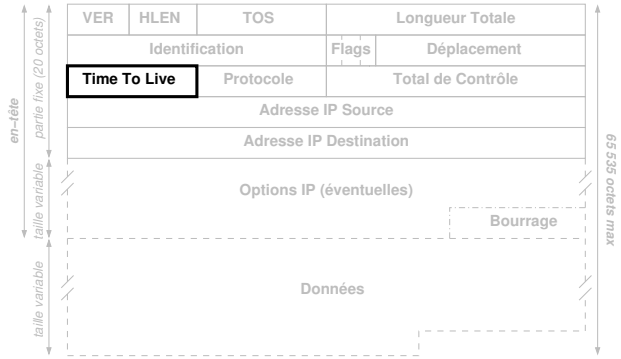




- **Priorité** : de 0 à 7
  - distinction entre "normal" et "controle"
  - routeurs : infos trafic 6 et 7
- bits **D**, **T** et **R** : type d'acheminement **désiré** :
  - **D**(elay) : delai d'acheminement court
  - **T**(hroughput) : débit de transmission élevé
  - **R**(eliability) : grande fiabilité
- le *TOS* constitue un **souhait**, souvent ignoré

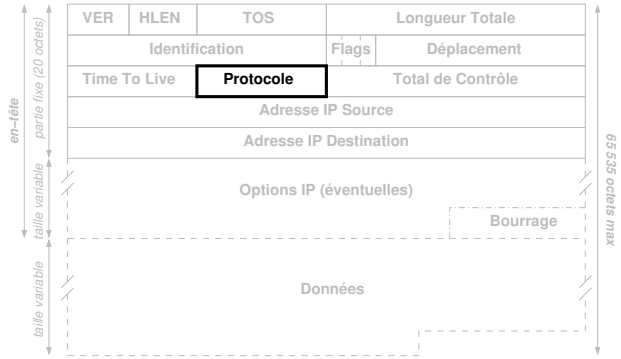
Priorité	
val_2	**signification**
000	routine
001	priority
010	immediate
011	flash
100	flash override
101	critic
110	internetwork control
111	network control

Champ Time To Live (TTL)



- codé sur 8 bits
- indiqué par l'émetteur pour limiter :
  - la "durée de vie" du datagramme (en secondes)
  - le nombre de routeurs traversés par le datagramme
- décrémenté par routeurs et stations traitant le datagramme :
  - de 1 à chaque traversée d'un routeur
  - du temps passé en file d'attente
- si atteint 0, le datagramme est détruit, et l'émetteur est informé par un message ICMP
- évite qu'un datagramme ne circule indéfiniment
- évite que des *fragments* ne soient gardés inutilement

Champ Protocole

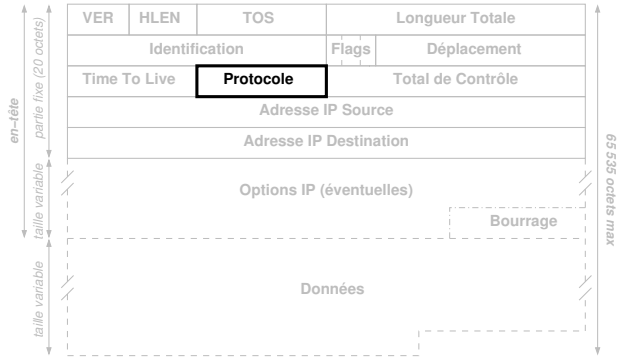


- codé sur 8 bits
- indique le protocole devant recevoir les données du datagramme
- les valeurs de ce champ sont gérées par l'autorité centrale et accessibles sur le site `www.iana.org`

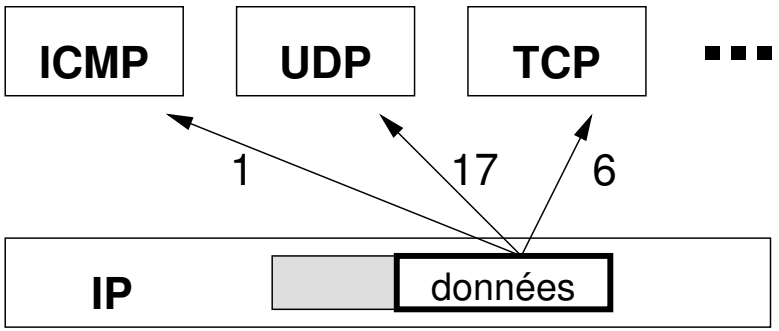
Champ Protocole

- quelques valeurs officielles :

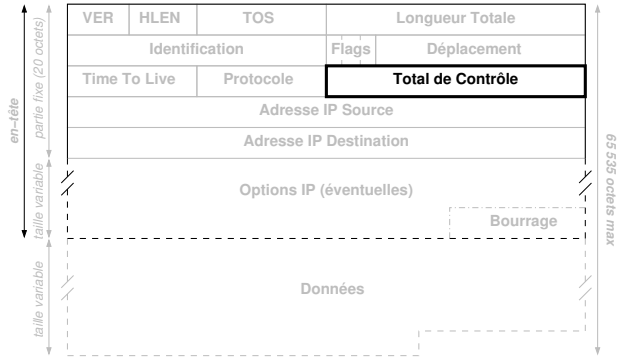
$\mathbf{val}_{10}$	**protocole**
0	IP
1	ICMP
2	IGMP
6	TCP
17	UDP
89	OSPF



- démultiplexage IP :



Champ Total de Contrôle d'en-tête (checksum)

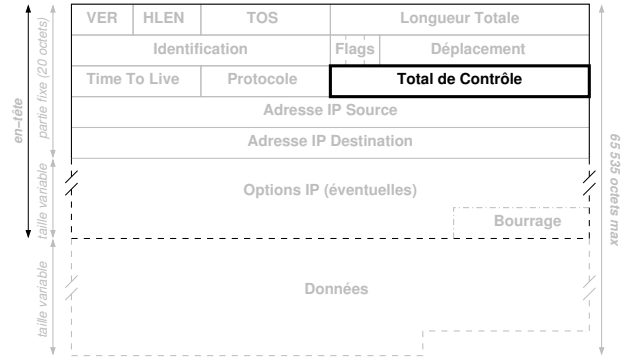


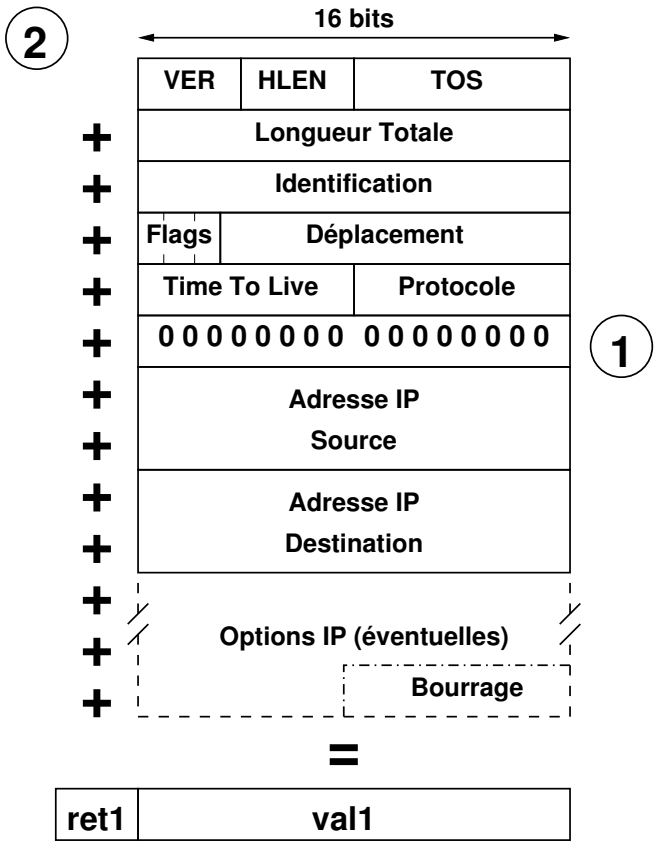
- codé sur 16 bits
- contrôle l'intégrité de l'en-tête **uniquement**

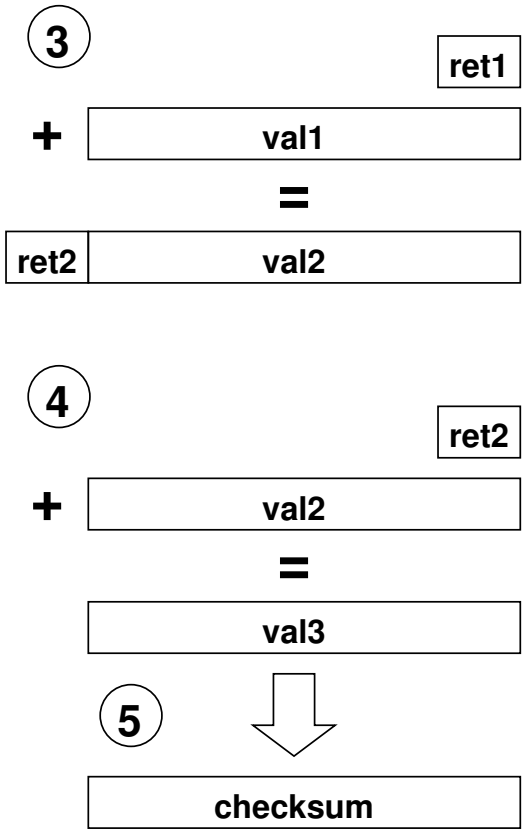
> **IP ne vérifie pas si les données ont subi des erreurs de transmission**

- calculé par l'émetteur
- vérifié lors dela réception (routeurs et destinataire) :
  - stocker le *checksum*
  - calculer le *checksum*
  - si différents alors détruire le datagramme
- recalculé et modifié par les routeurs (car modifient au moins le TTL)

Champ Total de Contrôle d'en-tête : calcul



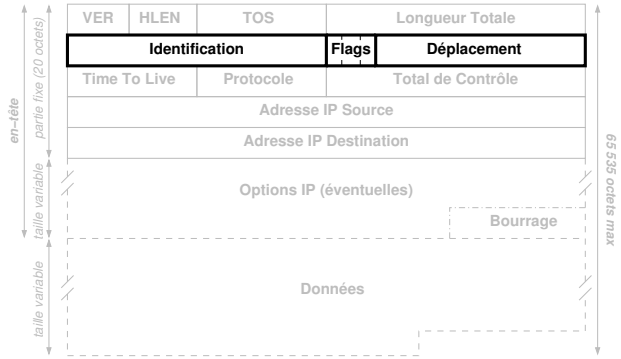




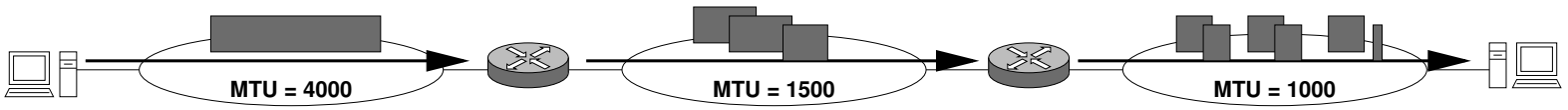
1. mettre checksum à 0
2. calculer somme des mots de 16 bits de l'en–tête
3. ajouter ret1 à val1
4. ajouter ret2 à val2
5. checksum = complément à 1 de val3

MTU et fragmentation

- Maximum Transfer Unit (MTU) :
  - taille max des données (charge utile) transportées sur un réseau physique
    - Ethernet : 1 500 octets
    - Token Ring : 4 ou 16 Ko
    - X.25 : 128 octets recommandés (max 255)
    - SMDS : 9 188 octets
    - Frame Relay : 1 600 octets
  - . . . et donc des datagrammes

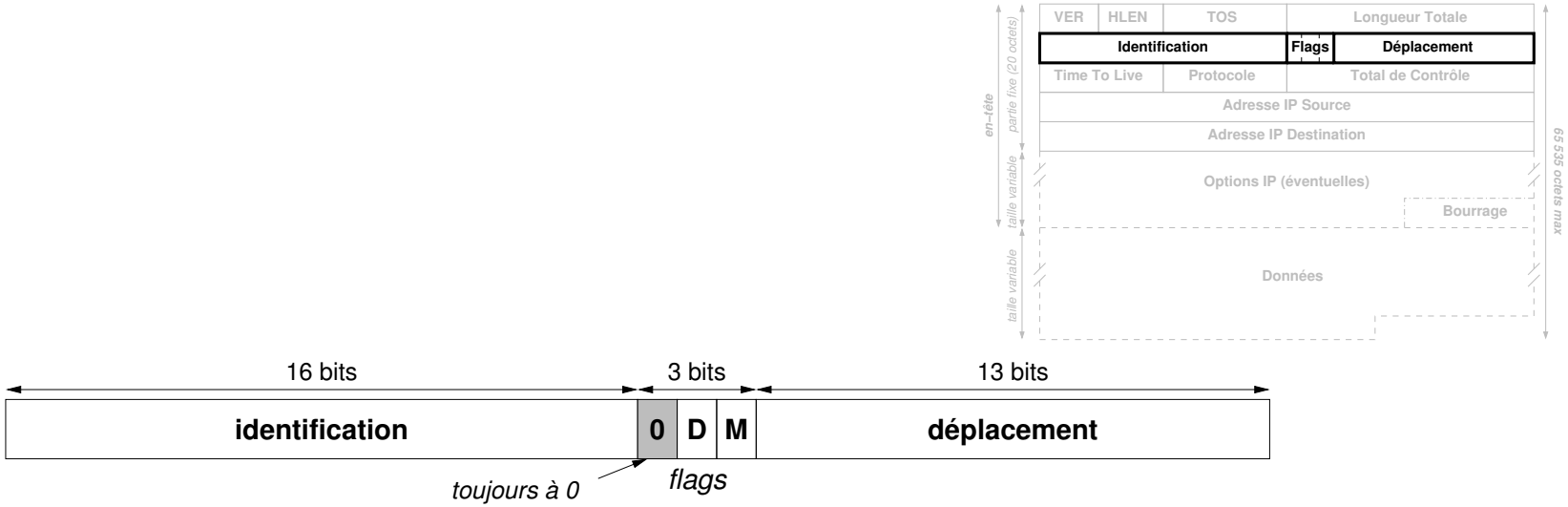


- IP **fragmente** tout datagramme plus grand que le MTU du réseau qui doit le transporter :



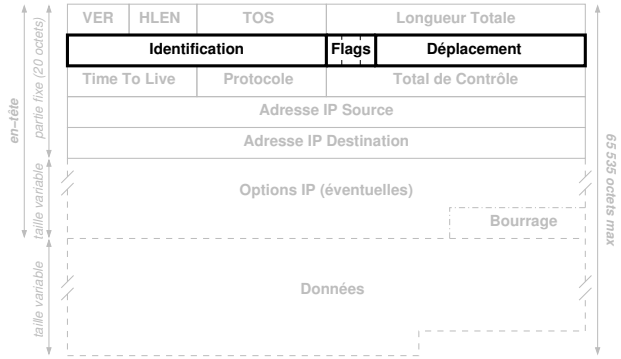
- chaque **fragment est un datagramme** acheminé indépendamment (peut suivre une route différente des autres fragments) et peut être à son tour fragmenté

Champs Fragmentation



- *identification* : valeur identifiant le datagramme d'origine relativement à l'adresse IP Source
- bit *D(on't Fragment)* : le datagramme ne doit pas être fragmenté (détruit et message ICMP si impossible)
- bit *M(ore)* : à 0 si ce datagramme est le dernier (ou seul) fragment
- *déplacement* (*Offset*) : indique la position du premier octet de données dans le datagramme d'origine. Cette position est *déplacement* $\times 8$. Vaut 0 si pas de fragmentation

Réassemblage

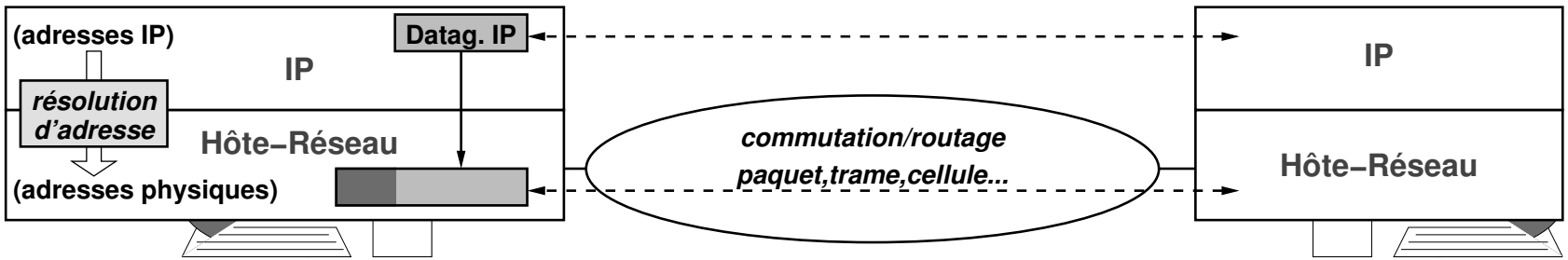


- réalisé par le destinataire final :
  - met en attente les fragments des datagrammes incomplets
  - les réordonne
  - détruit tous les fragments d'un datagramme si le TTL de l'un d'eux passe à 0 (et envoie un message ICMP à l'émetteur)

Résolution d'adresse

Nécessité de la résolution d'adresse

situation : une station/routeur S a un datagramme à transmettre à une station/routeur D du même réseau. D est l'adresse IP de la destination finale du datagramme (remise directe) ou celle d'un routeur obtenue par consultation de la table de routage (remise indirecte)



- la transmission doit se faire en utilisant le service de la couche hôte-réseau (réseau physique)
- la couche hôte-réseau n'utilise pas les adresses IP mais des adresses physiques (adresses MAC)
- la **résolution d'adresse** est le mécanisme permettant d'obtenir l'adresse physique (de l'interface/carte réseau) de la station possédant une certaine adresse IP

Méthodes possibles pour la résolution d'adresse

résolution directe

- l'adresse physique est déterminée comme une fonction de l'adresse IP
- méthode simple à mettre en œuvre si les adresses physiques sont configurables

interrogation d'un serveur

- un serveur est chargé de collecter les adresses physiques et IP des hôtes du réseau
- les stations interrogent le serveur pour résoudre les adresses
- méthode souvent utilisée lorsque le réseau ne permet pas la diffusion
- mais la résolution n'est plus possible si le serveur devient injoignable...

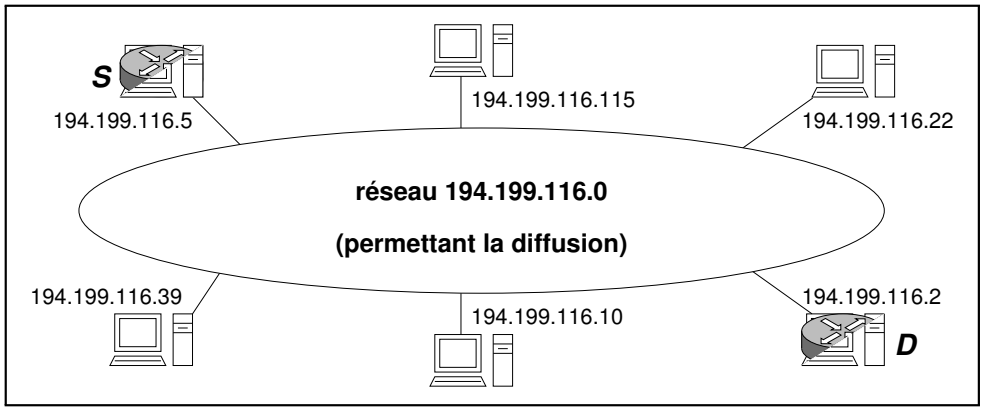
Résolution dynamique par ARP

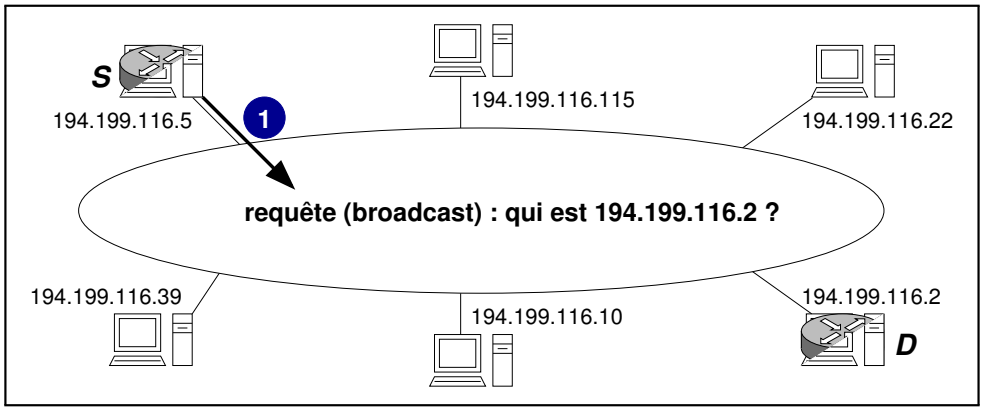
Pour les réseaux permettant la diffusion, la méthode privilégiée est ARP (*Address Resolution Protocol*), définie dans la RFC 826.

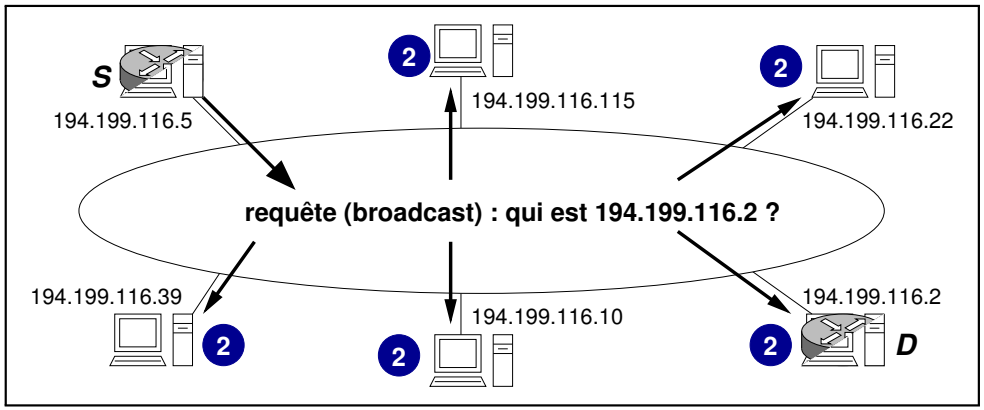
- ARP a l'avantage d'être à la fois dynamique et décentralisée :
  - les changements d'association adresse IP/adresse MAC sont automatiquement et rapidement pris en compte
  - aucun serveur n'est nécessaire et une panne d'une station n'a aucun impact global
- ARP a été originellement défini pour IP et Ethernet. Mais il est plus général et peut être utilisé sur tout type de réseau permettant la diffusion, pour le compte de différents protocoles réseau (dont IP)

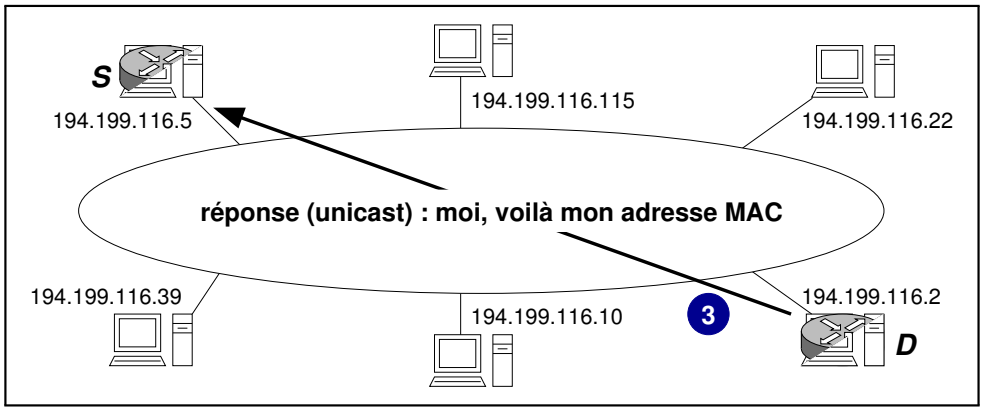
IP sur Ethernet utilise systématiquement ARP

Principe de la résolution par ARP



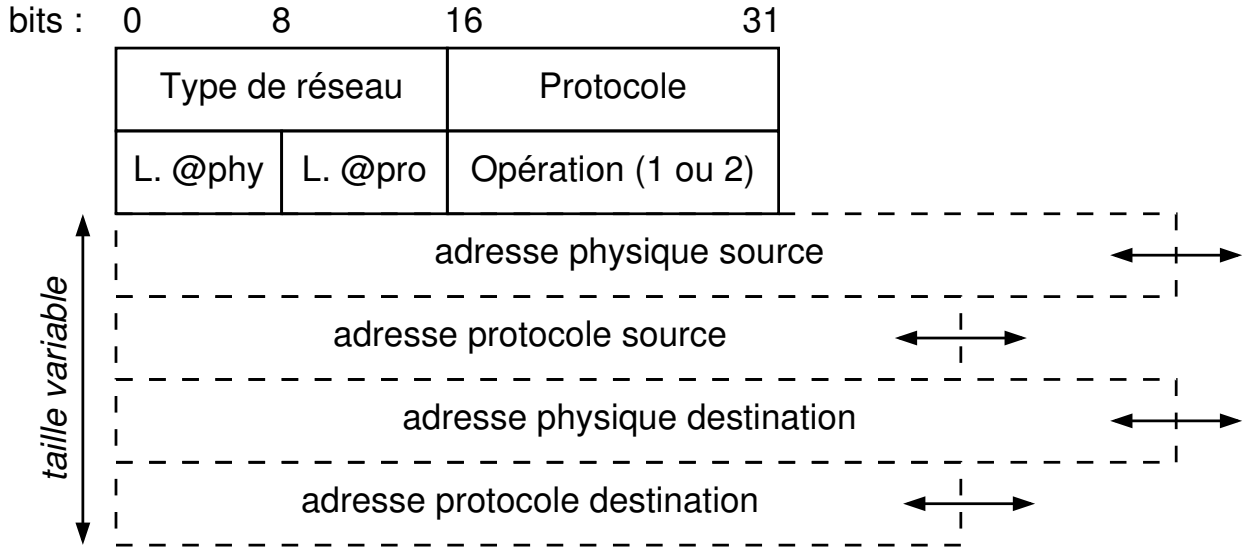






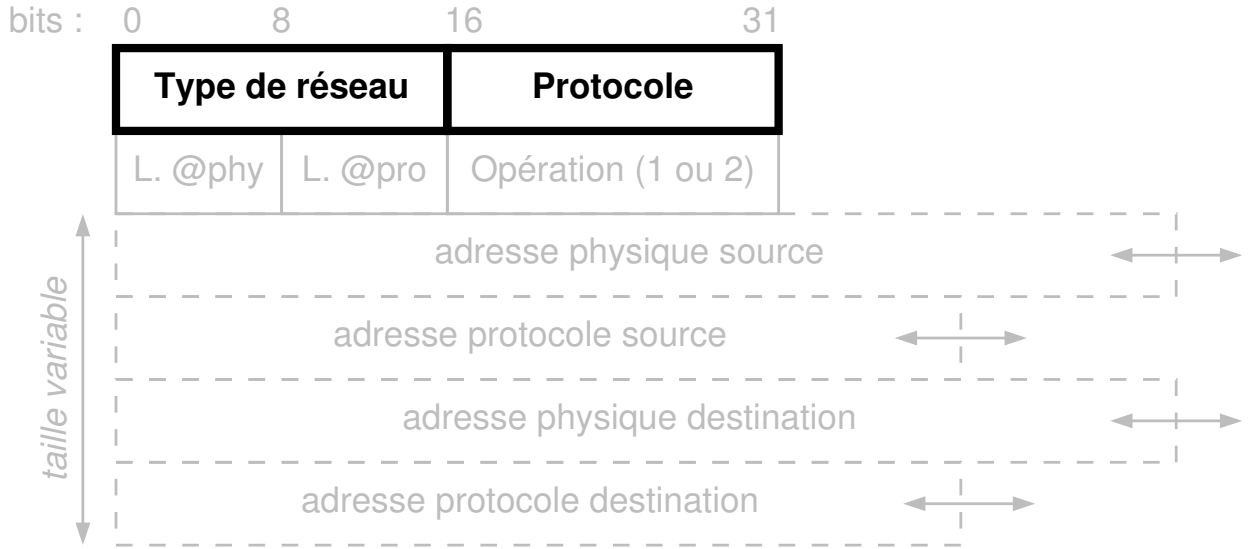
1. *S* envoie en **broadcast** une **requête ARP** signifiant qu'il souhaite obtenir l'adresse physique correspondant à *D*
2. la requête est reçue et traitée par toutes les stations du réseau
3. seule la station d'adresse *D* répond en envoyant en **unicast** à *S* une **réponse ARP** contenant l'adresse physique demandée

Format du datagramme ARP



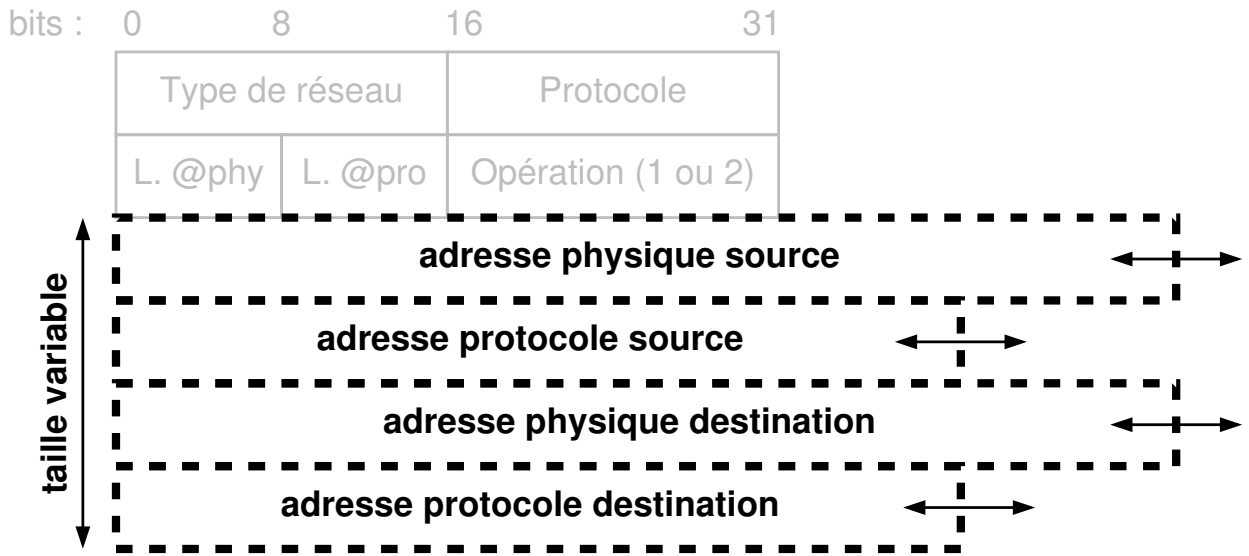
- la taille du datagramme ARP dépend des protocoles en jeu
  - la taille (en octets) des adresses physiques (comme Ethernet) est indiquée par le champ *Longueur adresses physiques* (L. @phy)
  - la taille (en octets) des adresses protocole (comme IP) est indiquée par le champ *Longueur adresses protocole* (L. @pro)
- les requêtes et les réponses ont le même format ; le champ *Opération* indique s'il s'agit d'une requête (*Opération* vaut 1) ou d'une réponse (*Opération* vaut 2)

Datagramme ARP : type de réseau et protocole



- *Type de réseau* précise le réseau physique utilisé et donc le type d'adresse recherchée
- *Protocole* précise la couche réseau utilisée et donc le type d'adresse à partir duquel la résolution doit être opérée
- les valeurs que peuvent prendre ces champs sont définies par l'IANA (`www.iana.org`) :
  - *Type de réseau* vaut 0x0001 pour Ethernet
  - *Protocole* vaut 0x0800 pour IP

Datagramme ARP : adresses



- qu'il s'agisse d'une requête ou d'une réponse :
  - *adresse physique source* contient l'adresse physique de l'émetteur du datagramme
  - *adresse protocole source* contient son adresse réseau
- *adresse physique destination* est inconnue pour une requête (00:00:00:00:00:00 pour Ethernet), et celle du destinataire pour une réponse
- *adresse protocole destination* contient l'adresse réseau du destinataire (dans une requête, c'est l'adresse à résoudre)

Requête ARP pour IP sur Ethernet V2

adresses de l'émetteur

IP : 194.199.116.5

ethernet : 08:00:05:0e:ab:51

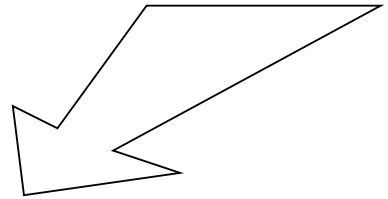
adresses de la cible

IP : 194.199.116.2

ethernet (recherchée) : 08:00:07:5c:10:0a

- Trame Ethernet V2 (en hexadécimal) :

	destination	*source*	*type*	*données*	
préambule	ff:ff:ff:ff:ff:ff	08:00:05:0e:ab:51	**08 06**	**Datagramme ARP (requête)**	CRC
	(broadcast)				



- Requête ARP (en binaire) :

Type réseau : Ethernet (1)	Protocole : IP (0x0800)	L. @ phy : 6	L. @ pro : 4	Opération : requête (1)	
0000000000000001	0000100000000000	00000110	00000100	0000000000000001	
000010000000000000001010000111010101011010010001					← Ethernet source (08:00:05:0e:ab:51)
11000010110001110111010000000101					← IP source (194.199.116.5)
000000000000000000000000000000000000000000000000					← Ethernet destination (inconnue)
11000010110001110111010000000010					← IP destination (194.199.116.2)

Réponse ARP pour IP sur Ethernet v2

émetteur de la réponse

IP : 194.199.116.2

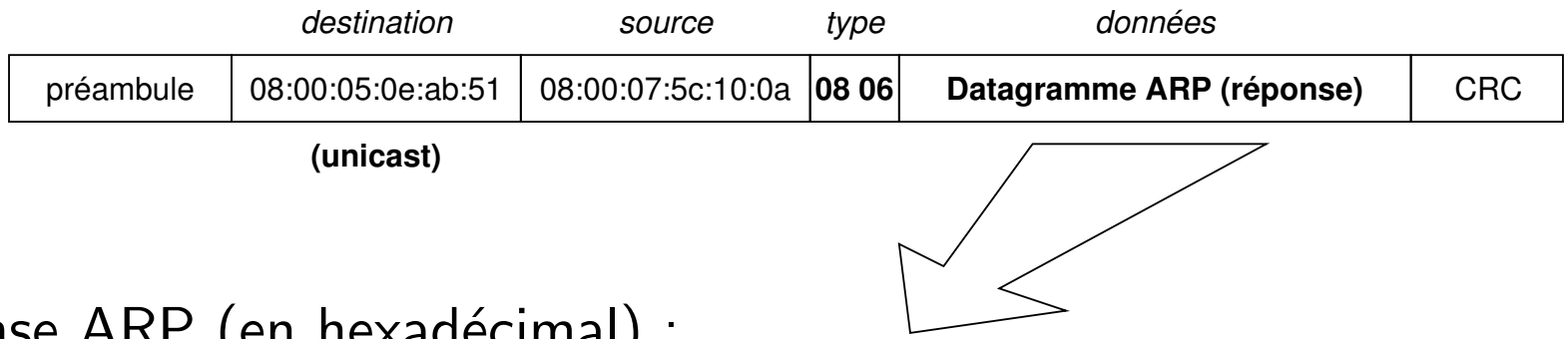
ethernet : 08:00:07:5c:10:0a

destinataire de la réponse

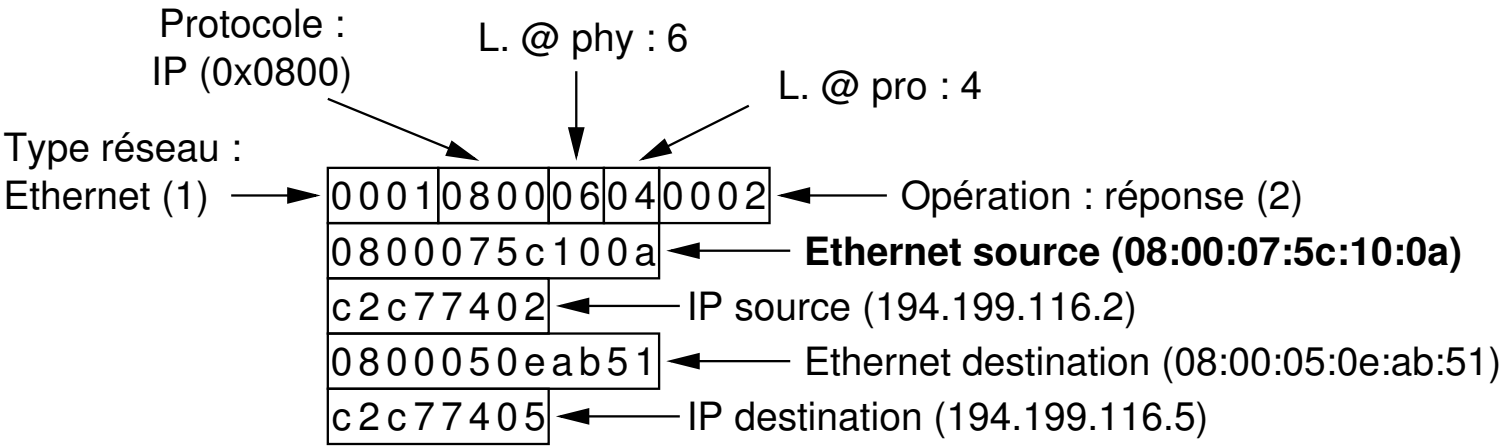
IP : 194.199.116.5

ethernet : 08:00:05:0e:ab:51

- Trame Ethernet V2 (en hexadécimal) :



- Réponse ARP (en hexadécimal) :



Optimisations d'ARP

- **cache** (mémoire temporaire) ARP obligatoire stocké sur les hôtes :
  - contient une liste d'associations $\prec$ adresse MAC, adresse IP $\succ$
  - évite d'émettre une nouvelle requête lorsque l'association a déjà été obtenue
  - une association a une durée de vie limitée (environ 20 minutes)
  - chaque fois qu'une association est confirmée, sa durée de vie est remise à 20 min
  - les associations dont la durée de vie expire sont supprimées
- traitement de la **requête** :
  - les requêtes étant envoyées en broadcast, toutes les stations les traitent
  - or elles incluent l'adresse MAC et l'adresse IP de l'émetteur
  - en recevant une requête, les stations mettent à jour leur cache avec les infos sur l'émetteur
- émission d'une **requête ARP fictive** si changement de carte (et donc d'adresse MAC) :
  - en plaçant sa propre adresse IP comme celle recherchée
  - personne ne répondra mais tout le monde aura mis à jour son cache avec la nouvelle adresse MAC

ICMP :

Internet Control and Error Message Protocol

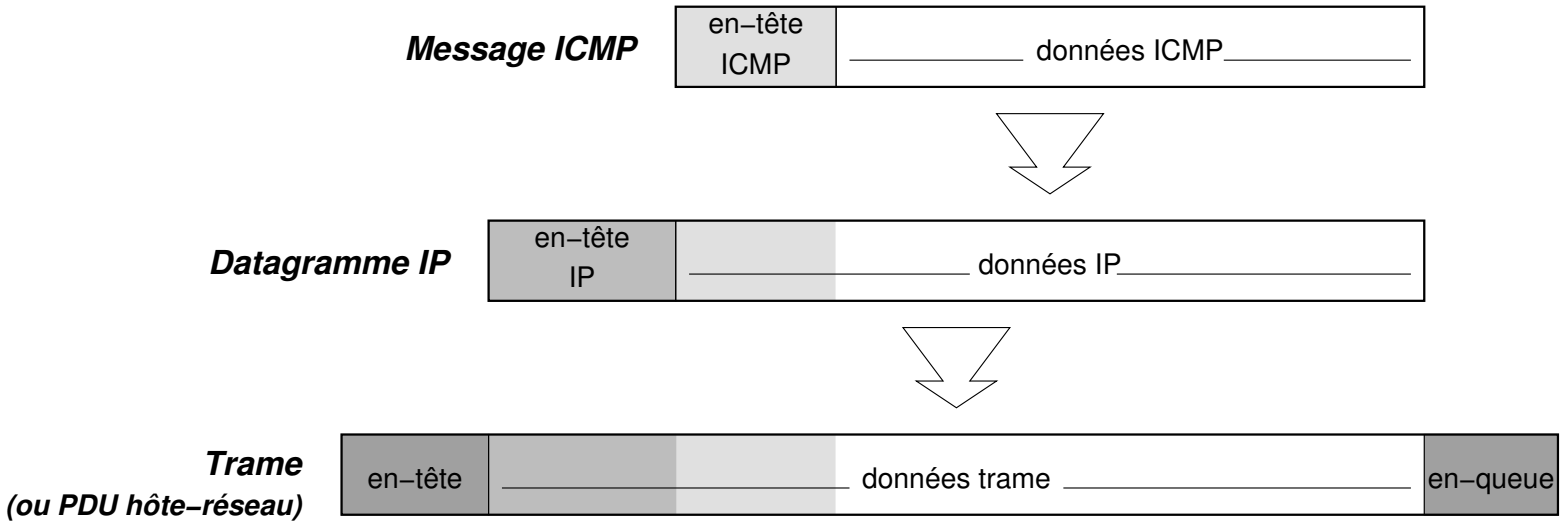
(RFC 792, 1122, 950, 1256)

Statut et rôle d'ICMP

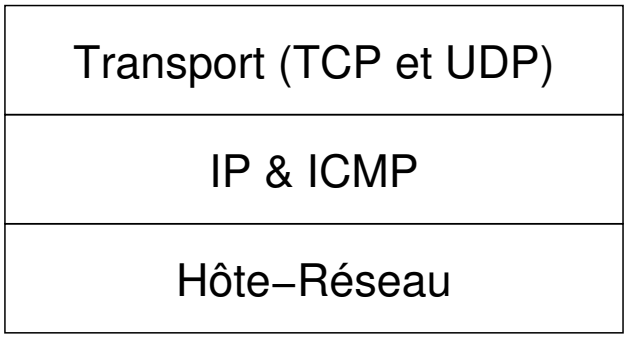
- ICMP est un module obligatoire d'IP
- qui assure deux fonctions principales :
  - rendre compte d'un problème réseau
  - tester l'accessibilité d'une machine
- les messages ICMP sont de deux natures :
  - les messages d'erreurs : suite à une erreur constatée sur un datagramme (qui entraîne le plus souvent sa destruction)
  - les messages d'interrogation/information : messages divers contribuant au (ou informant sur le) bon fonctionnement des équipements

Transport des messages ICMP

- Les messages ICMP sont encapsulés dans des datagrammes IP (champ *Protocole* vaut 1) :



- mais IP utilisant ICMP, les deux se situent au même niveau
- les protocoles de transport (TCP et UDP) utilisent aussi ICMP pour certaines erreurs (sur la station destinataire)

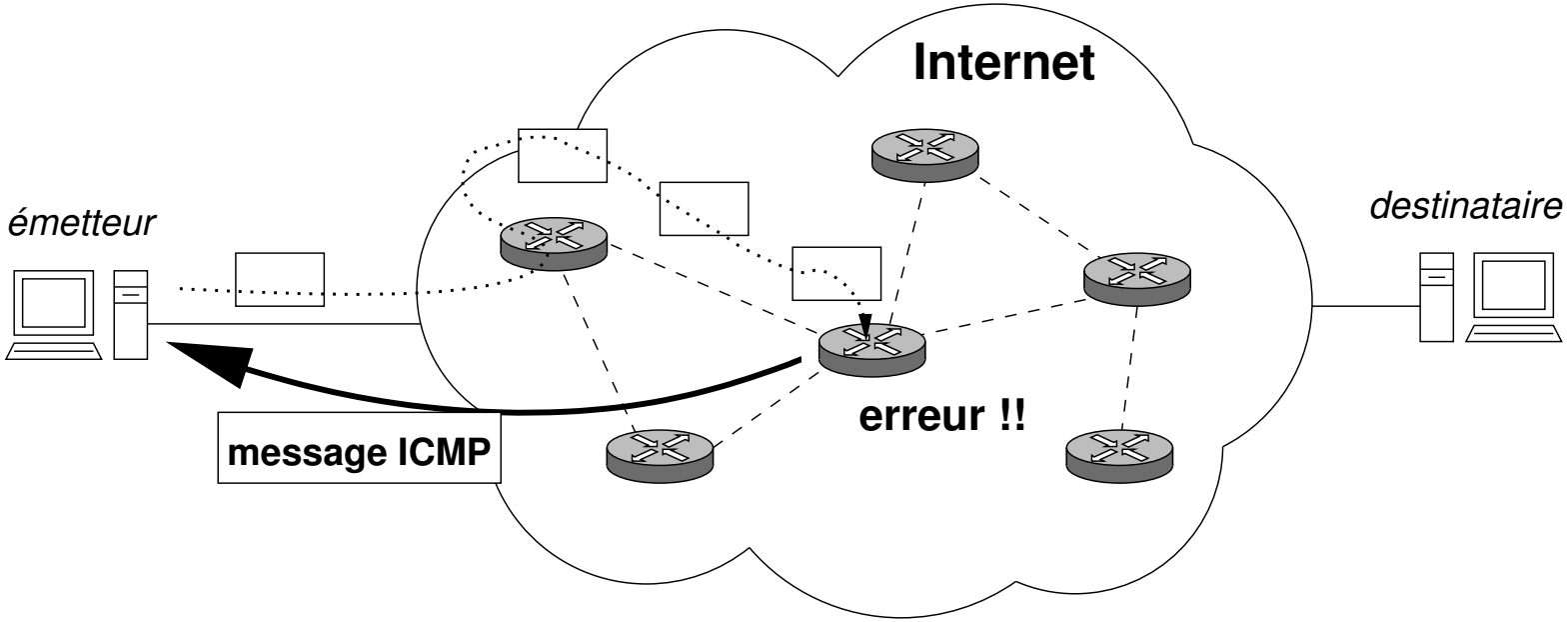


IP : un service non fiable

- les causes rendant impossible la remise d'un datagramme peuvent être nombreuses :
  - panne de ligne de transmission, ou d'un processeur
  - destinataire déconnecté
  - TTL insuffisant
  - congestion des routeurs intermédiaires
  - checksum erroné
  - mauvaises tables de routage
  - ...
- néanmoins, les erreurs ne sont pas toutes détectables

lorsqu'une erreur (dans la remise d'un datagramme) est détectée par un routeur ou la station destinataire, un rapport d'erreur (message ICMP) est envoyé à l'émetteur (d'origine) du datagramme

Les messages d'erreur ICMP



- le message inclut au moins 28 octets (l'en-tête et les 64 premiers bits) du datagramme ayant causé l'erreur, contenant les en-têtes des protocoles de niveau supérieur, ce qui permet notamment de déterminer le processus émetteur pour l'informer
- il n'est envoyé qu'à l'émetteur du datagramme qui, parfois, n'y peut rien (exemple d'une mauvaise table de routage d'un routeur intermédiaire)
- aucun message d'erreur n'est envoyé si le datagramme en cause contient un message ICMP

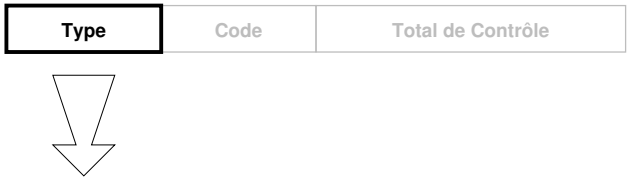
Messages ICMP

- destinés au module ICMP du logiciel IP
- pas de précaution (sécurité, priorité) particulière pour acheminement : possibilité de perte, duplication, etc.
- tous les messages ICMP commencent par les 3 champs :

Type (8 bits)	**Code** (8 bits)	**Total de Contrôle** (16 bits)

Messages ICMP : Type et Code

- le champ *Type* (codé sur 8 bits) indique la nature du message :



valeur (décimal)	signification
0	réponse à une demande d'echo
3	destination inacessible
4	limitation de production à la source
5	redirection (changement de route)
8	demande d'echo
9	annonnce de routeur
10	sollicitation de routeur
11	TTL de datagramme expiré
12	problème de paraméte d'un datagramme
13	demande d'horodatage
14	réponse à une demande d'horodatage
17	demande de masque de sous–réseau
18	réponse à une demande de masque de sous–réseau

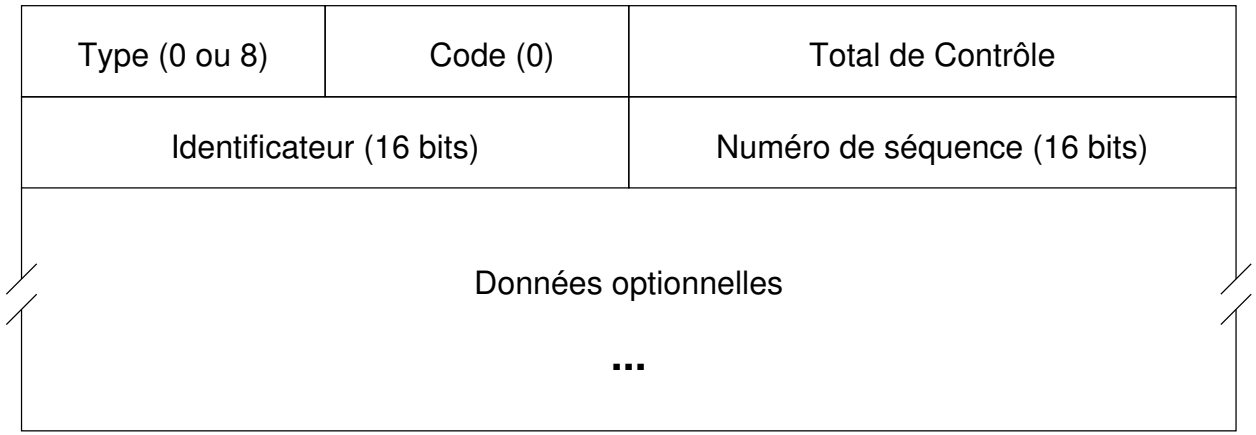
- le champ *Code* (8 bits) est utilisé pour préciser le message

Messages ICMP : Total de Contrôle

- le champ *Total de Contrôle* (ou checksum) :
  - est codé sur 16 bits
  - porte sur (contrôle) la totalité du message ICMP
  - calculé de la même manière que le *checksum* IP

Test d'accessibilité

- permet de s'assurer qu'une station est joignable et en état de communiquer
- exploité par la commande **ping**
- échange de messages "ECHO" :



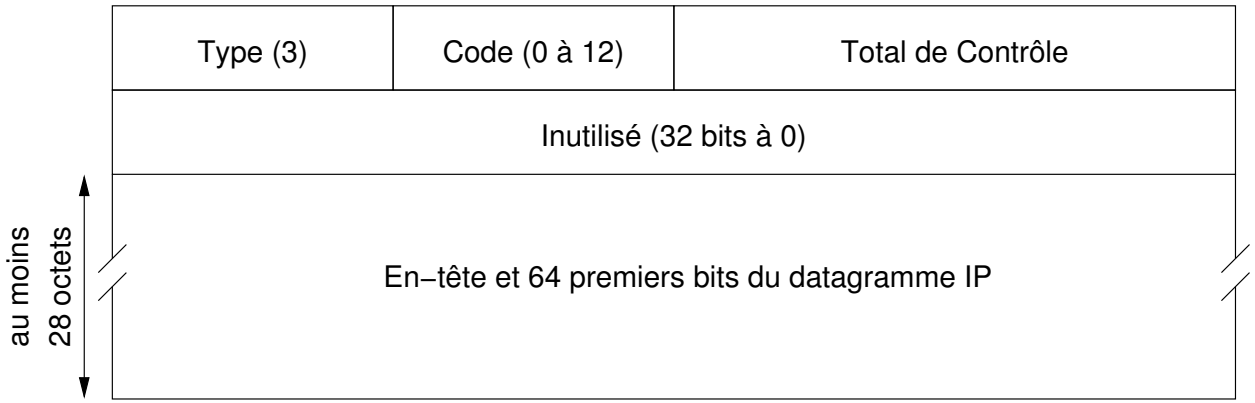
  - demande d'echo ($Type = 8$)
  - réponse à une demande d'echo ($Type = 0$)
- le *Code* est toujours à 0
- *Identitificateur* permet d'associer la réponse à la demande
- *Numéro de Séquence* incrémenté à chaque demande

Exemple de ping (sous Linux)

```
$ ping www.free.fr
PING www.free.fr(212.27.48.10) 56(84) bytes of data.
64 bytes from www.free.fr(212.27.48.10): icmp_seq=1 ttl=107 time=17.6 ms
64 bytes from www.free.fr(212.27.48.10): icmp_seq=2 ttl=107 time=16.6 ms
64 bytes from www.free.fr(212.27.48.10): icmp_seq=3 ttl=107 time=17.2 ms
64 bytes from www.free.fr(212.27.48.10): icmp_seq=4 ttl=107 time=16.7 ms
---www.free.fr ping statistics---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3012ms
rttmin/avg/max/mdev= 16.619/17.094/17.662/0.441 ms
```

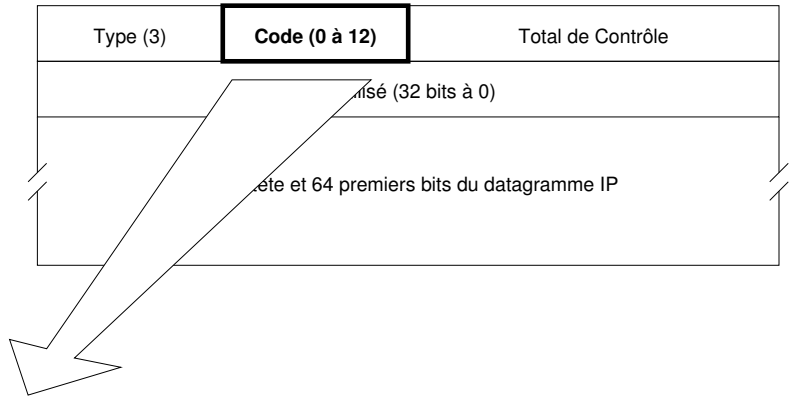
Compte rendu de destination inaccessible

- envoyé à l'*Adresse Source* d'un datagramme IP lorsqu'une station/routeur se rend compte qu'il ne peut pas atteindre sa destination (ordinateur ou processus)
- messages avec $Type = 3$



- le *Code* précise la nature du problème
- commes les autres messages d'erreur, contient le début du datagramme ayant provoqué l'erreur

Codes de compte rendu de destination inaccessible

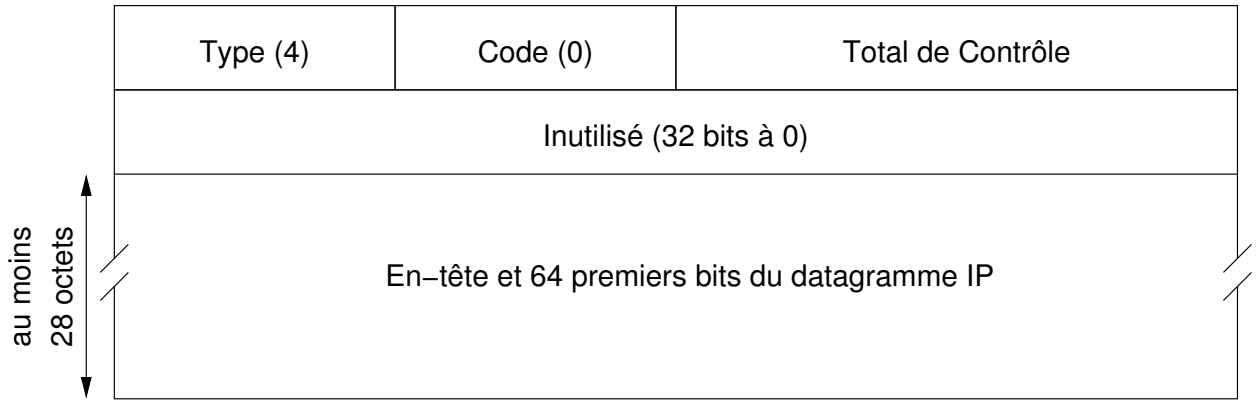


plusieurs codes ont été définis :

valeur (décimal)	signification
0	réseau inaccessible
1	ordinateur inaccessible
2	protocole inaccessible
3	port inacessible
4	fragmentation nécessaire mais bit Don't Fragment positionné
5	échec de routage à la source
6	réseau de destination inconnu
7	ordinateur de destination inconnu
8	ordinateur source isolé
9	communication avec le réseau de destination interdite par l'administrateur réseau
10	communication avec l'ordinateur destinataire interdite par l'administrateur réseau
11	réseau inacessible pour le service demandé
12	ordinateur inaccessible pour le service demandé

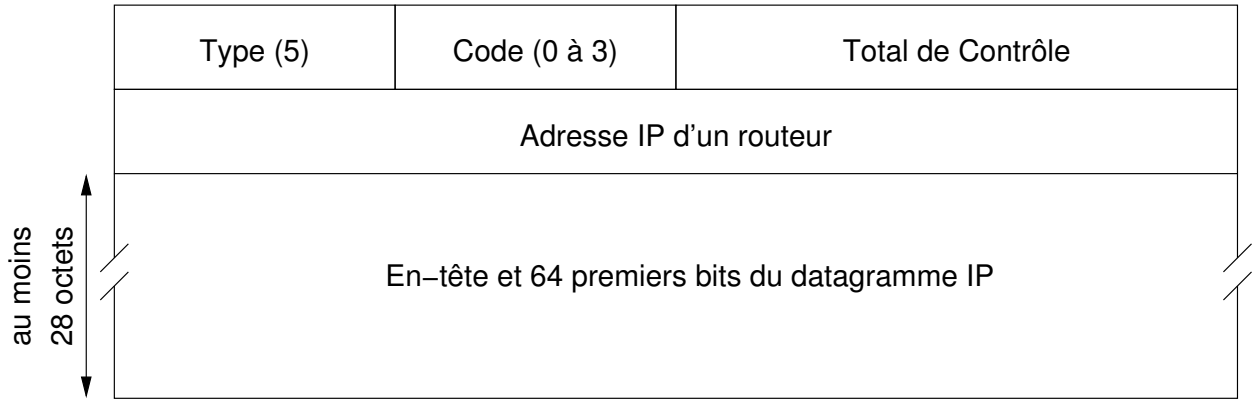
Message de contrôle de la congestion

- appelé aussi message de **limitation de production de la source** (*Source Quench*)
- envoyé par un routeur à l'émetteur d'un datagramme détruit pour cause de saturation (congestion)
- un message par datagramme détruit
- le message contient le début du datagramme
- le récepteur doit alors réduire ses envois pour cette destination
- format ($Type = 4$, $Code = 0$) :



Message de redirection

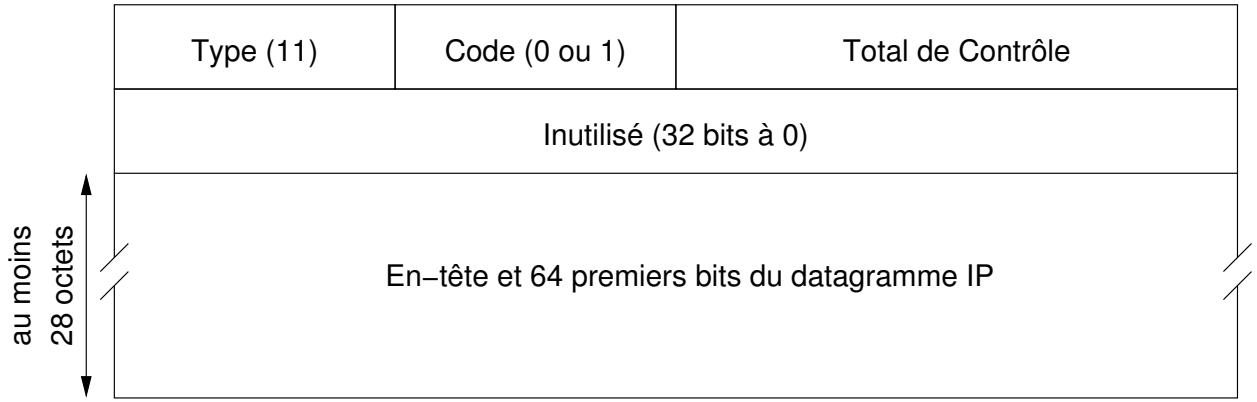
- appelé aussi message de **modification de la route**
- envoyé par un routeur à l'émetteur (source) d'un datagramme, **situé sur le même réseau**, si le routeur n'est pas le meilleur choix
- format ($Type = 5$) :



- le *Code* précise pourquoi il faut changer de route :
  - 0 : changer de route pour atteindre le réseau
  - 1 : changer de route pour atteindre l'ordinateur
  - 2 : changer de route pour le type de service et le réseau
  - 3 : changer de route pour le type de service et l'ordinateur
- *Adresse IP d'un routeur* est l'adresse du routeur qui aurait dû être utilisé
- l'émetteur doit en tenir compte et modifier sa table de routage

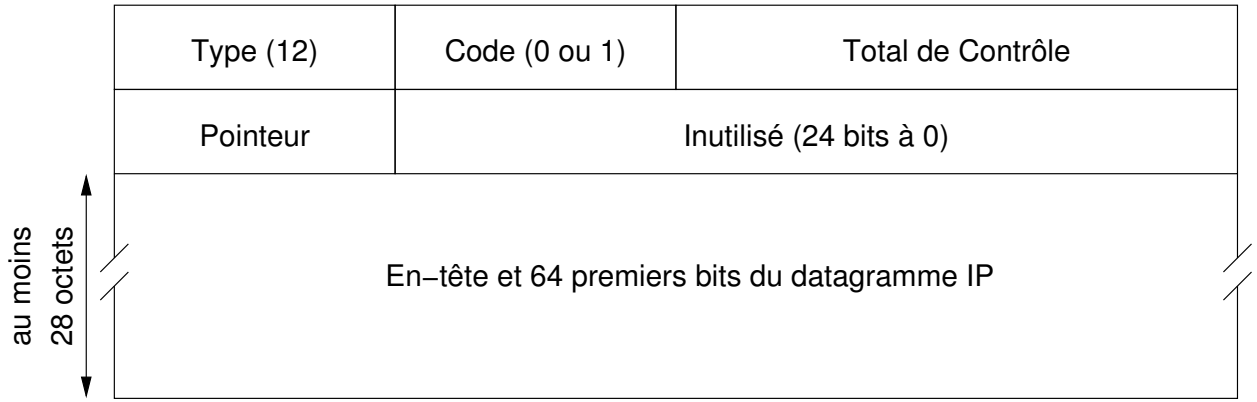
Message de durée de vie expirée

- envoyé à l'émetteur (source) d'un datagramme dans l'un des deux cas suivants :
  - le TTL a expiré sur un routeur ($Code = 0$)
  - le délai de réassemblage des fragments a expiré sur l'ordinataire destinataire ($Code = 1$)
- format ($Type = 11$) :



Message de problème de paramètre

- envoyé par un routeur ou l'ordinataire destinataire à l'émetteur (source) d'un datagramme, lorsque celui-ci comporte une erreur dans un champ
- format ($Type = 12$) :



- le *Code* précise s'il faut tenir compte du champ *Pointeur* :
  - 0 : tenir compte du *Pointeur*
  - 1 : ignorer *Pointeur* (qui devrait être à 0). Dans ce cas, il s'agit d'un paramètre manquant (comme une option qui aurait dû être présente)
- *Pointeur*, si utilisé, indique le numéro de l'octet du datagramme reçu qui comporte l'erreur

Synchronisation horloges/Estimation temps de transit

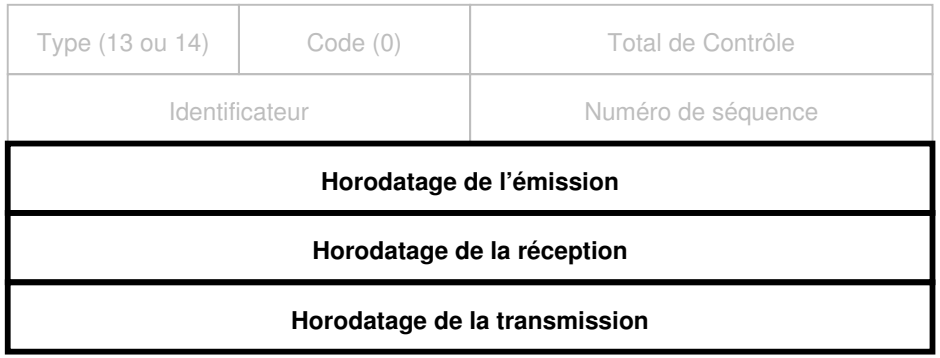
- messages échangés entre 2 ordinateurs pour synchroniser leur horloge ou estimer le temps de transit
- format :

Type (13 ou 14)	Code (0)	Total de Contrôle
Identificateur		Numéro de séquence
Horodatage de l'émission		
Horodatage de la réception		
Horodatage de la transmission		

- où *Type* indique la nature du message : 13 pour une demande d'horodatage, et 14 pour une réponse à une demande d'horodatage
- le *Code* est toujours à 0
- *Identificateur* et *Numéro de séquence* sont utilisés pour associer les réponses aux demandes

Synchronisation horloges/Estimation temps de transit

- les 3 champs horodatage contiennent les dates, exprimées en millisecondes écoulées depuis le 1er janvier 1970 à 0h00 :
  - d'émission de la demande
  - de réception de la demande
  - d'envoi de la réponse



- plusieurs échanges sont nécessaires pour une synchronisation correcte

Le protocole NTP (*Network Time Protocol*) a spécifiquement été développé pour synchroniser son horloge avec des serveurs de référence (et des horloges atomiques).
Sa version actuelle (version 3) est définie par la RFC 1305.

Message d'obtention du masque de sous-réseau

- permet à une station de demander son masque de sous-réseau. La demande est adressée (par ordre de préférence) en unicast à un routeur, en multicast 224.0.0.2 (*All Routers*) ou en broadcast 255.255.255.255
- un routeur du réseau répondra en unicast en indiquant le masque
- format :

Type (17 ou 18)	Code (0)	Total de Contrôle
Identificateur		Numéro de séquence
Masque de sous–réseau		

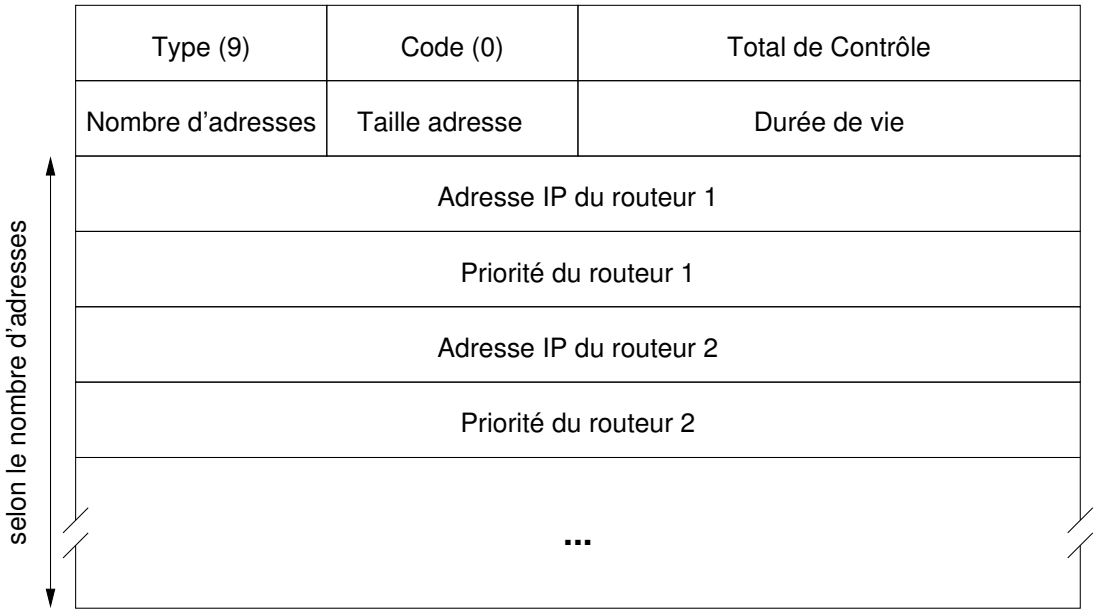
où :

- *Type* indique s'il s'agit d'une demande (17) ou d'une réponse (18)
- *Code* est à 0
- *Identificateur* et *Numéro de séquence* sont utilisés pour associer les réponses aux demandes
- *Masque* contient le masque dans une réponse (à 0 dans une demande)

Peu utilisé car généralement des protocoles de configuration automatiques sont employés, tels que BOOTP et DHCP (étudiés au second semestre).

Message d'annonce d'un routeur

- envoyé par les routeurs toutes les 10 minutes et destiné aux stations de leurs réseaux (224.0.0.1 ou à défaut en broadcast)
- format ($Type = 9$, $Code = 0$) :



  - *Nombre d'adresses* indique le nombre d'adresses de routeurs
  - *Taille adresse* $\times 4$ donne la taille en octets des adresses
  - *Durée de vie* indique le temps en secondes de validité des infos (généralement 30 min)
  - à chaque *adresse* est associée une *priorité* ; à utiliser par ordre de priorité croissante

Message de sollicitation d'un routeur

- permet à un ordinateur venant de démarrer de demander aux routeurs d'envoyer immédiatement un message d'annonce de routeur
- ce message est envoyé en multicast 224.0.0.2 (All Routers) ou, à défaut, en broadcast
- les routeurs recevant ce message sont censés y répondre dès que possible
- format ($Type = 10$, $Code = 0$) :

Type (10)	Code (0)	Total de Contrôle
Réservé (32 bits à 0)		