

M2103 – Chapitre 4

Protocole IPv4

Licence professionnelle Métiers de l'Electronique :
Communication, Systèmes Embarqués (CSE)

*En base aux slides « M2103 – Technologies Internet », Dana MARINCA, 2017

Internet Protocol version 4 (IPv4)

- 1981 - IPv4 est décrit dans la RFC791
- Première version d'Internet Protocol (IP) à avoir été largement déployée, et qui forme encore en 2015 la base de la majorité des communications sur Internet
- Chaque interface d'un hôte IPv4 se voit attribuer une ou plusieurs adresses IP codées sur 32 bits.
- Nombre d'adresse :
 - en théorie : au maximum 4 294 967 296 (soit 2^{32}) adresses
 - en pratique: il y a moins d'adresses car un certain nombre ne sont pas utilisables.

IPv4

- Le manque d'adresse IPv4 est dans un premier temps contourné grâce à :
 - ✓ l'utilisation de techniques de traduction d'adresses (NAT) ainsi que
 - ✓ par l'adoption du système CIDR.
- Le nombre d'adresses IP Version 4 publiques est arrivé officiellement à saturation le 3 février 2011.
- L'épuisement des adresses IPv4 a conduit au développement d'une nouvelle version d'IP: IPv6
- La transition d'IPv4 vers IPv6 afin d'adopter cette nouvelle version a commencé

Datagramme IPv4

udp_lite_full_coverage_0.pcap [Wireshark 1.8.3 (SVN Rev 45256 from /trunk-1.8)]

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Tools Internals Help

Filter: Expression... Clear Apply Save

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	139.133.204.176	139.133.204.183	UDPlite	60	Source port: filenet-tms Destir

Frame 1: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits)

Ethernet II, Src: 3Com_c7:87:49 (00:04:75:c7:87:49), Dst: 3Com_dd:bb:3a (00:04:76:dd:bb:3a)

Internet Protocol Version 4, Src: 139.133.204.176 (139.133.204.176), Dst: 139.133.204.183 (139.133.204.183)

- Version: 4
- Header length: 20 bytes
- Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))
- Total Length: 40
- Identification: 0x1a6a (6762)
- Flags: 0x02 (Don't Fragment)
- Fragment offset: 0
- Time to live: 64
- Protocol: UDPlite (136)
- Header checksum: 0x6f71 [correct]
- Source: 139.133.204.176 (139.133.204.176)
- Destination: 139.133.204.183 (139.133.204.183)
- [Source GeoIP: Unknown]
- [Destination GeoIP: Unknown]

Lightweight User Datagram Protocol, Src Port: filenet-tms (32768), Dst Port: search-agent (1234)

Data (12 bytes)

0000	00 04 76 dd bb 3a 00 04 75 c7 87 49 08 00 45 00	..v.... U..I..E.
0010	00 28 1a 6a 40 00 40 88 6f 71 8b 85 cc b0 8b 85	..(.i@. .og.....
0020	cc b7 80 00 04 d2 00 00 38 45 68 65 6c 6c 6f 20	..b..... 8Ehello
0030	77 6f 72 6c 64 0a 00 00 00 00 00 00	world... ..

Datagramme IPv4

Offset	HEX	ASCII
0000:	00 0e 38 f4 a5 c3 00 0f 1f 17 78 e3 08 00 45 00	..8..... ..x...E.
0010:	00 30 2d 93 40 00 80 06 57 8b c1 33 1c 1a 42 f9	.0-..@... W..3..B.
0020:	55 63 04 e0 00 50 cc 6c 61 08 00 00 00 00 70 02	Uc...P.l a.....p.
0030:	ff ff da d0 00 00 02 04 05 b4 01 01 04 02

Adresse destination	Adresse Source	Protocole
00 0e 38 f4 a5 c3	00 0f 1f 17 78 e3	08 00

En-tête IP (20 octets)

45 00 00 30
2d 93 40 00
80 06 57 8b
c1 33 1c 1a
42 f9 55 63

Ver. 4	Long. En-tête: 5	Type de service: 00	Long. Totale 00 30	
Identification 2d 93			Flags 4	Offset de Fragment: 0 00
Durée de vie 80		Protocole 06	Checksum de l'en-tête 57 8b	
@ Source: 193.51.28.26				
@ Destination: 66.249.85.99				

32 bits

Datagramme IPv4

- VER – Version (4 bits)
Numéro de version d'IP (généralement 4 pour IPv4)
Permet de faire cohabiter plusieurs versions (transition)
- IHL – Internet Head Length (4 bits)
 - Longueur de l'en-tête du datagramme (en nombre de mots de 32 bits, 4 octets) → 5 si pas d'option
 - Valeur maximale = 15
 - en-tête = $15 \times 4 = 60$ octets
 - champ option = $60 - 20 = 40$ octets d'options maximum

Datagramme IPv4

- TOS – Type Of Service (6+2 bits)
 - En 1990 le TOS est transformé en DS (Differentiated Services ou DiffServ)
 - Pour distinguer différentes classes de services (niveau de priorités) ➔ compromis entre fiabilité, délai et débit.
 - Champ peu utilisé par les routeurs lors du routage

P	D	T	R	0	0
---	---	---	---	---	---

Champ	Signification
P (3 bits: Precedence)	Décrit la priorité
D (1 bit: Delay)	Décrit le souhait en matière de temps de traversée
T (1 bit: Throughput)	Décrit le souhait en matière de débit
R (1 bit: Reliability)	Décrit le souhait en termes de fiabilités

Datagramme IPv4

LEN – total LENgth field (16bits)

- Longueur totale du datagramme en octets
- Au maximum 65535 octets

ID – IDentification (16 bits)

- Identifiant de datagramme (ou paquet)
- Tous les fragments d'un même paquet ont le même ID

DF (1 bit) et MF (1 bit)

- DF – Don't Fragment : ordre au routeur de ne pas fragmenter (autre route ou destruction)
- MF – More Fragment : indique qu'un fragment suit

Fragment Offset (13 bits)

- Position du premier bit de données du fragment dans le champ de données du datagramme d'origine, en multiple de 8 octets (ex: Fragment Offset = 75 → position = $75 \times 8 = 600$ dans le champ data du datagramme original)

Datagramme IPv4

TTL – Time To Live (8 bits)

- Compteur qui sert à limiter la durée de vie du datagramme
- 255 au départ puis décrémenté à chaque nouveau saut
- Datagramme éliminé s'il atteint zéro
- Évite les paquets perdus (erreur de routage)

Protocole – Protocole transporté (8 bits)

- Numéro du protocole destinataire (RFC 1700)
- Exemples : 06 = TCP, 17 = UDP, 01 = ICMP.

Header Checksum (16 bits)

- CRC sur l'en-tête uniquement
- Complément à 1 de la somme des demi-mots de 16 bits
- Doit être calculé dès qu'une valeur change (ex. TTL)

Le datagramme IPv4

Le champ options

- Prévu pour des expérimentations mais peu utilisé dans la pratique
- Longueur variable, plusieurs options possibles
- Codé: [**code option**], [**code longueur**], [**données options**]
- Chaque type d'option est codé sur un octet: le **code option**. Ce Code option peut être suivi d'un octet précisant la **longueur de l'option** et d'un ensemble d'octets de **données associés à cette option**.

0	1	2	3	4	5	6	7
Copie	Classe d'option		Numéro d'option				

- Le bit **copie** indique comment le routeur traite les options pendant la fragmentation.
 - 1: Copie indique que l'option doit être recopiée dans tous les fragments
 - 0: Signifie que l'option ne doit être recopiée que dans le premier fragment.
- Les sous-champs **Classe d'option** et **Numéro d'option** spécifient la classe générale de l'option et précisent une option spécifique dans la classe.

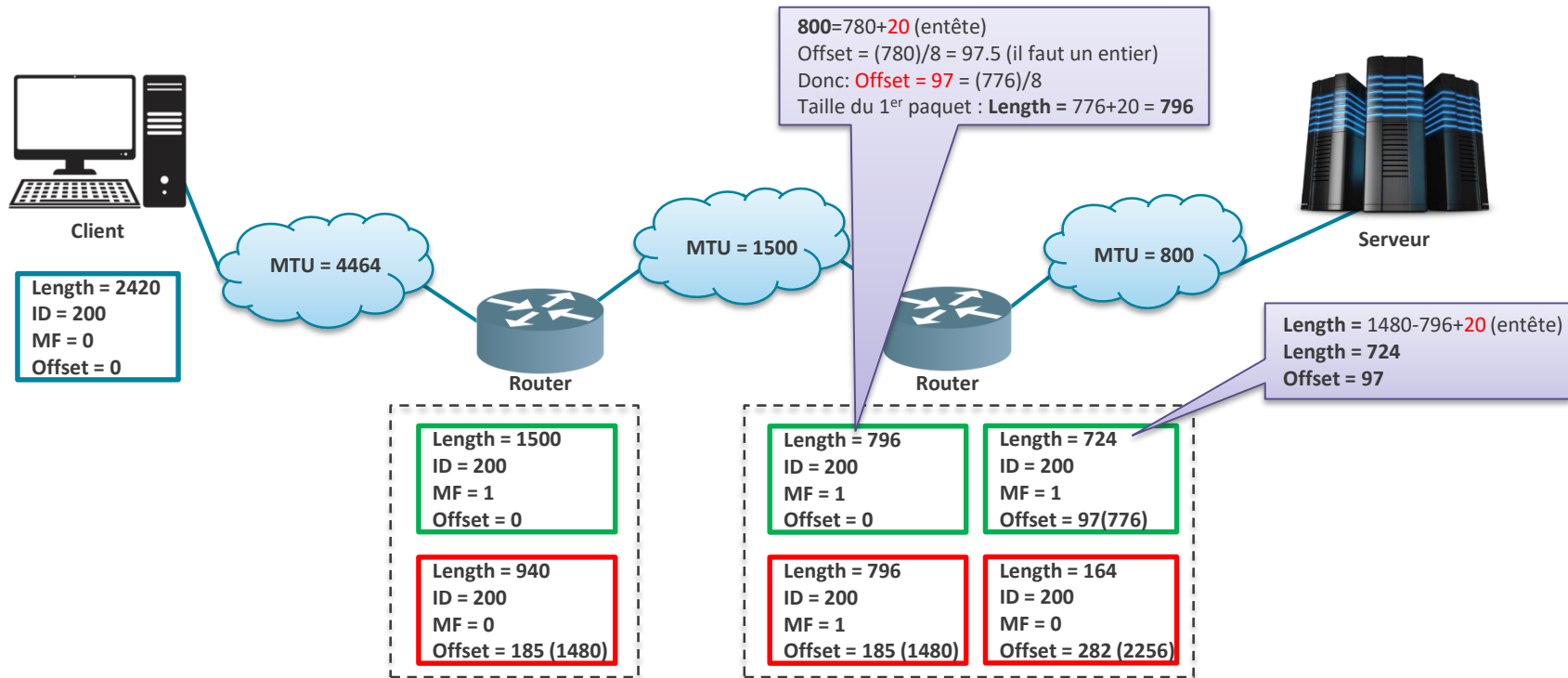
Le datagramme IPv4

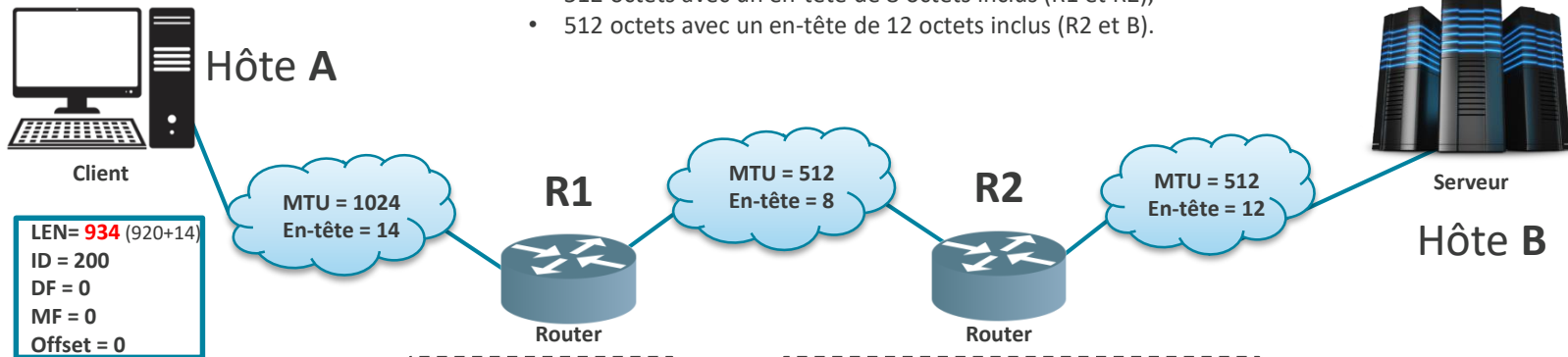
Le sous-champ Classe d'option:

Classe d'option	Signification
0	Datagramme ou supervision de réseau
1	Réservé pour une utilisation future
2	Mise au point et mesures
3	Réservé pour une utilisation future

Exemples d'options IP avec leur numéro de classe et leur numéro d'option:

Classe d'option	Numéro d'option	Longueur	Signification
0	2	11	Restriction de sécurité et de gestion. Destiné aux applications militaires.
0	7	var	Enregistrement de route. Utilisé pour enregistrer un itinéraire.
0	9	var	Routage strict défini par la source. Utilisé pour router un datagramme sur un chemin spécifique.
2	18	var	Traceroute. Utilisé par le programme <i>traceroute</i> pour découvrir les routeurs le long du chemin.





- 1024 octets avec un en-tête de 14 octets inclus (A et R1),
- 512 octets avec un en-tête de 8 octets inclus (R1 et R2),
- 512 octets avec un en-tête de 12 octets inclus (R2 et B).

Soit une ligne de communication reliant dans cet ordre : un hôte A, un routeur R1, un routeur R2 et un hôte B. Supposons qu'un message TCP contenant 900 octets de données et 20 octets d'en-tête soit remis au protocole IP sur l'hôte A pour transmission à l'hôte B. Indiquez la valeur des champs *LEN* (*Longueur totale*), *ID* (*Identification*), *DF*, *MF* et Fragment Offset de l'en-tête IP dans chaque paquet transmis sur les trois liaisons. On supposera que les tailles maximales de trames générées sur les liaisons entre A et R1, R1 et R2, R2 et B sont respectivement de :

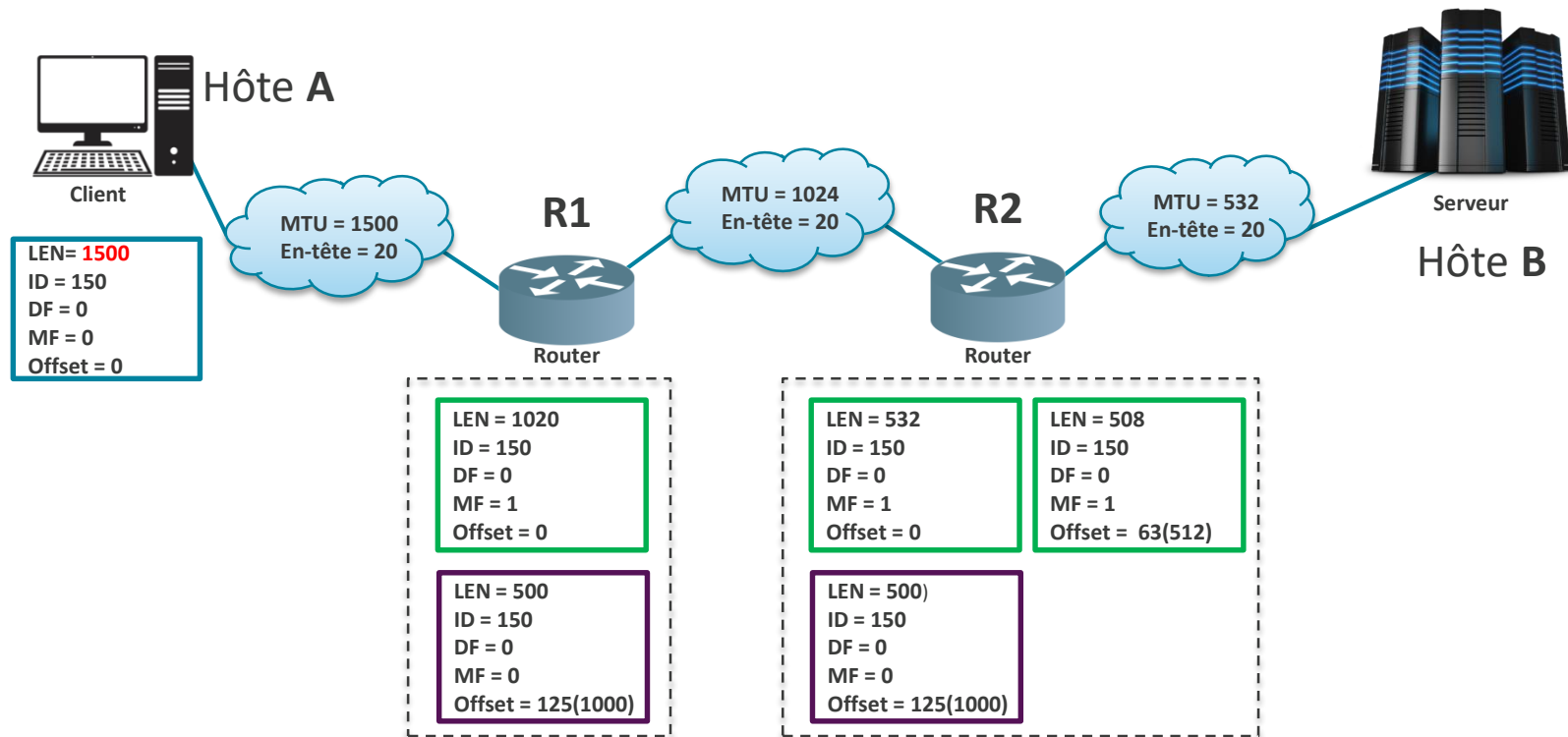
LEN = 512 (504+8)
ID = 200
DF = 0
MF = 1
Offset = 0

LEN = 424 (416+8)
ID = 200
DF = 0
MF = 0
Offset = 63(504)

LEN = 508 (496+12)
ID = 200
DF = 0
MF = 1
Offset = 0

LEN = 428 (416+12)
ID = 200
DF = 0
MF = 0
Offset = 63(504)

LEN = 20
ID = 200
DF = 0
MF = 1
Offset = 62(496)



La fragmentation

- Sur toute machine ou passerelle mettant en œuvre TCP/IP une unité maximale de transfert (*Maximum Transfert Unit* ou MTU) définit la taille maximale d'un datagramme véhiculé sur le réseau physique correspondant.
- Lorsque le datagramme est routé vers un réseau physique dont le MTU est plus petit que le MTU courant, la passerelle fragmente le datagramme en un certain nombre de fragments, véhiculés par autant de trames sur le réseau physique correspondant.

COUCHE LIAISON de DONNEES	MTU (octets)
Token Ring 16 Mbps	17194
Token Ring 4 Mbps	4464
Ethernet	1500
PPP	296 - 1000
TRANSPAC X.25 HDLC	512
FDDI	4352

Caractéristiques

- Fragmentation non-transparente : réassemblage uniquement sur le destinataire
- Chaque fragment est acheminé de manière indépendante
- Temporisateur de réassemblage sur le destinataire quand le premier fragment arrive
- La perte d'un fragment IP provoque la retransmission de l'ensemble du datagramme
- S'il y a une perte, elle ne sera détectée qu'au niveau TCP où la notion de fragment n'existe pas
- Un routeur IP ne s'encombre pas de fragments qu'il ne peut réassembler.