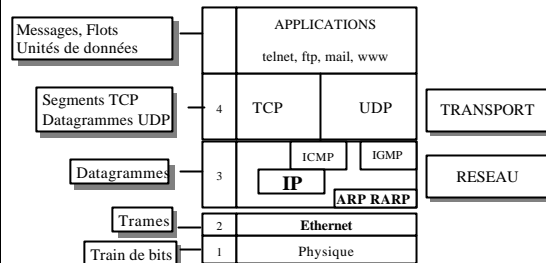


Internet Protocol (IP)

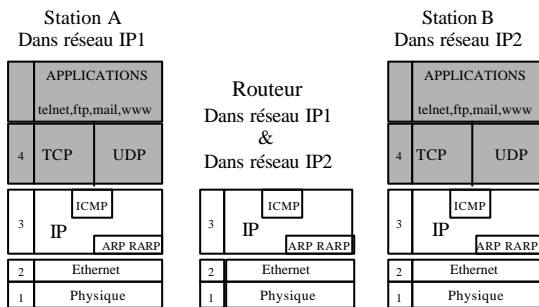
Séminaire 2005-2006

(diagrammes adaptés, originaux de Christian Haeussli)

Modèle en couches



Modèle en couches



Interface IP-Ethernet

- Communication entre machines s'effectue à travers l'interface physique ethernet
- Problème : applications n'ont la connaissance que des adresses IP,
 - Adresse IP => Adresse physique Ethernet
- Établissement d'un lien :
 - Adresse IP => Adresse physique Ethernet
- Protocole : ARP
 - Address Resolution Protocol (ARP)

ARP

- Ethernet Address Resolution Protocol or converting network protocol addresses to 48bit Ethernet address for transmission on Ethernet hardware (RFC826).
- Trouver une adresse MAC avec une adresse IP
 - @ IP totalement indépendante de l'@ physique
 - ARP : Permet de trouver l'adresse physique (6 octets) d'une machine sur le même réseau en donnant son adresse IP (4 octets) uniquement.

ARP : Cache

- Table de correspondance locale constituée après chaque réponse ARP :
 - @ physique <=> @ IP
- Stockage dans un cache :
 - Limite charge réseau, sinon 2 requêtes pour chaque datagramme IP
 - Augmente l'efficacité des communications locales
 - Cache remis à jour en fonction des besoins
 - Entrées valides durant un certain temps (4h : cisco)
 - En cas d'échec de la communication

ARP : Cache machine

- arp -a (machine ethernet)

Nom machine	@ IP	@ethernet	Type
r-jussieu.reseau.jussieu.fr	134.157.254.1	0:0:c:3a:25:9c	ethernet
s-atm-rpmc.reseau.jussieu.fr	134.157.254.6	0:60:70:5a:9c:2	ethernet
r-tour31.reseau.jussieu.fr	134.157.254.102	0:90:5f:dd:8:0	ethernet
r-chevaleret.reseau.jussieu.fr	134.157.254.106	0:50:3e:a1:78:0	ethernet
r-scott.reseau.jussieu.fr	134.157.254.10	0:10:d:3d:c4:0	ethernet
s-eth-scott.reseau.jussieu.fr	134.157.254.11	0:10:b:32:9c:ff	ethernet
s-atm-scott.reseau.jussieu.fr	134.157.254.12	0:10:b:32:9d:2	ethernet
s-atm-pop.reseau.jussieu.fr	134.157.1.47	0:20:48:1a:4b:37	ethernet

ARP : Cache routeur (1)

- show ip arp (routeur 2 ethernet)

Protocol	Address	Age(m)	Hardware Addr	Type	Interface
Internet	134.157.1.24	107	0000.7784.b071	ARPA	Eth0
Internet	134.157.1.23	0	0800.5a1d.50bf	ARPA	Eth0
Internet	134.157.53.10	139	0000.a700.7a7d	ARPA	Eth1
Internet	134.157.53.11	115	0000.a700.7973	ARPA	Eth1
Internet	134.157.53.8	85	0000.a700.7bbf	ARPA	Eth1
Internet	134.157.53.9	80	0000.a700.7b92	ARPA	Eth1
Internet	134.157.53.5	222	0000.a701.5d66	ARPA	Eth1
Internet	134.157.53.2	54	0000.a700.7ba2	ARPA	Eth1
Internet	134.157.1.42	0	0060.b018.3b31	ARPA	Eth0

ARPA : Mac Ethernet/IP

ARP : Cache routeur (2)

- show ip arp (routeur Ethernet - FDDI)

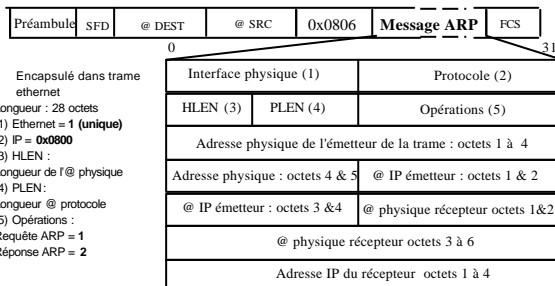
Protocol	Address	Age(m)	Hardware Addr	Type	Int
Internet	134.157.254.231	170	0000.0c03.e200	SNAP	Fddi0
Internet	134.157.1.24	58	0000.7784.b071	SNAP	Fddi1
Internet	134.157.254.230	237	0000.0c3f.59e0	SNAP	Fddi0
Internet	134.157.110.125	43	0000.0c5d.05d7	ARPA	Eth4
Internet	134.157.254.236	140	0000.0c18.1196	SNAP	Fddi0
Internet	134.157.1.16	8	0020.480c.25ce	SNAP	Fddi1
Internet	134.157.110.126	-	0000.0c05.423a	ARPA	Eth4
Internet	134.157.1.17	231	0800.0919.2ce1	SNAP	Fddi1

SNAP (Sub-Network Access Point) : MAC IEEE/LLC/SNAP/IP

ARP : Mécanismes

- Soit deux équipements sur le même segment Ethernet.
- Machine A veut envoyer un datagramme à la machine B.
 - 1) Elle connaît son adresse IP, mais pas son adresse Ethernet
 - 2) A envoie une trame de broadcast (**diffusion**) Ethernet qui demande l'adresse Ethernet de B :
 - Adresse destinataire FF:FF:FF:FF:FF:FF avec Type = 0x0806
 - Indique l'adresse IP de B.
 - 3) Toutes les machines du réseau local reçoivent la requête.
 - 4a) Seul B répond à A en lui donnant son adresse Ethernet.
 - 4b) Si c'est une autre machine qui répond à la place de A on parle alors de "Proxy ARP".
 - Exemple : serveurs de terminaux et les stations connectées par accès distant

Message ARP



RARP (RFC903)

- Reverse Address Resolution Protocol (RFC903)
- Problème :
 - Déterminer un mécanisme permettant à la station d'obtenir son adresse IP depuis le réseau.
 - RARP est utilisé par des machines sans "mémoire secondaire"
 - L'adresse IP d'une machine est configurable par l'utilisateur
 - Est enregistrée généralement dans la "mémoire secondaire" (NVRAM disque dur) où l'OS va la récupérer au démarrage.
- Trouver une adresse IP à partir de l'adresse Ethernet

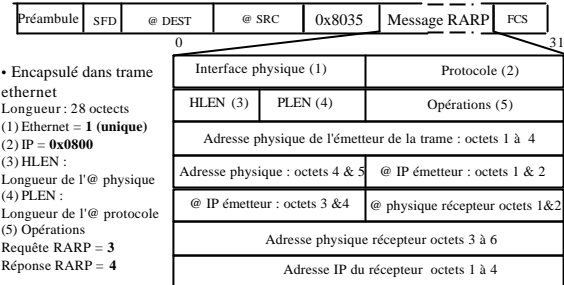
RARP : Mécanismes

- Serveur RARP : fournit les adresses IP associées aux adresses physiques des stations du réseau (table).
- Utilisé au moment du "boot" par certains équipements.
 - Envoie son adresse MAC dans le champ "Adresse physique émetteur"
- Type = 0x8035 dans la trame Ethernet
- Utilisé par
 - Stations sans disque ou anciens terminaux X
- Même format de message que ARP

Infrastructures de Communication - Séminaire

13

Message RARP



Infrastructures de Communication - Séminaire

14

IP : Internet Protocol

- Internet Protocol (RFC 791) couche réseau du modèle OSI

Applications TCP Couche 4
 Service de transport fiable
 Service réseau en mode non connecté IP Couche 3

Infrastructures de Communication - Séminaire

15

IP : Internet Protocol

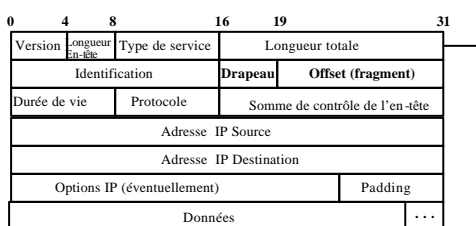
- Best effort : service offert par IP "non fiable"
 - Remise de paquets non garantie,
 - Sans connexion, les datagrammes IP sont traités indépendamment les uns des autres.
- IP au dessus de tout : protocole de convergence
 - Fonctionne sur : Ethernet, PPP, FDDI, ATM...
 - On se limitera ici à ethernet qui est de loin le plus répandu

Infrastructures de Communication - Séminaire

16

Datagramme IP

- Taille maximal théorique : 65535 octets **2¹⁶**
- Constitution : En-tête + champ de données:



Infrastructures de Communication - Séminaire

17

En tête IP : Fragmentation (1)

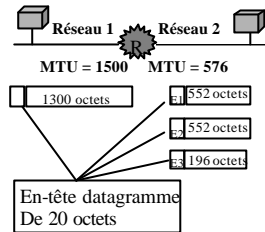
- IP au dessus de tout : trame sur le réseau physique de taille variable selon les protocoles => découpage du datagramme en fragment
- Unité maximale de transfert (MTU : Maximum Transfert Unit)
 - CLIP (ATM RFC1577) : 9180, FDDI : 4500, Ethernet : 1500, LocalTalk : 576
- Différents cas de changements de MTU (notion de routeurs)
 - Si le MTU diminue : fragmentation du datagramme en autant de fragments, que les trames du réseau physique supportent
 - Si le MTU augmente : transmission des fragments tels quels
- Destinataire final reconstitue le datagramme initial à partir de l'ensemble des fragments reçus :
 - Si un seul fragment est perdu => datagramme global perdu
 - + il y a de fragmentation + la probabilité de perte d'un datagramme est grande
 - Taille du fragment = au + petit MTU traversé sur le chemin

Infrastructures de Communication - Séminaire

18

En tête IP : Fragmentation (2)

- Drapeau : 3 bits (0, DF, MF)
 - DF : Don't Fragment, Rejet ICMP
 - MF : More Fragment
- Offset : Multiple de 8 octets
 - 13 bits (lg sur 16) => /8 pour conserver la cohérence
- Exemple :
 - Données initiales : 1300 octets
 - En tête dans trame du réseau 2 :
 - E1 : offset 0 MF = 1
 - E2 : offset 69 = 552/8 MF = 1
 - E3 : offset 69*2 MF = 0



En tête IP (1)

- Version du protocole IP (version 4 aujourd'hui, 6 dans qq années)
- Longueur de l'en-tête en mots de 32 bits : 5 en général (sans le champ Option IP)
- Type de service (champ TOS) : pour la gestion du datagramme
 - RFC 1349 (1992), 8 bits dont le dernier bit est non utilisé. Déf aut : (00000000)
 - Précédence (3 bits) : **priorité** du datagramme, ignoré pour le moment. (000)
 - 4 bits pour le **type d'acheminement** désiré : délai court (telnet, ftp), débit élevé (ftp), fiabilité (snmp) et coût faible (nntp). 1 à la fois (1000, 0100, ...)
- Longueur totale du "fragment" sur 16 bits (en-tête + données)
- Identification : entier qui identifie le datagramme initial.
 - Utilisé par le récepteur pour la **reconstitution du datagramme**.
 - Émetteur place N° unique, si fragmentation : les fragments auront ce N°.

En tête IP (2)

- Durée de vie (TTL) : La durée maximale de transit du datagramme
 - La machine qui émet le datagramme **définit sa durée de vie**.
 - Les routeurs traitent le datagramme **décroît le TTL** (évite en cas de boucle de routage le mouvement perpétuel)
 - Arrivé à 0 => destruction du datagramme et un message d'erreur est renvoyé à l'émetteur.
- Protocole : Identifie le protocole de niveau supérieur
 - 1 : ICMP, 2 : IGMP, 6 : TCP, 17 : UDP
- Somme de contrôle de l'en-tête : détection d'erreurs
- Options : facultatif, de longueur variable. (Voir RFC 1700)

En tête IP : Exemple TTL

- traceroute to 17.254.0.41 from 134.157.1.23, 30 hops max, outgoing MTU = 1500


```

1 r-crr.reseau.jussieu.fr (134.157.1.126) 1 ms 1 ms 1 ms
2 r-jusren.reseau.jussieu.fr (134.157.254.126) 1 ms 1 ms 1 ms
...
6 nio-i.cssi.renater.fr (193.51.206.145) 6 ms 11 ms 6 ms
7 193.51.206.34 (193.51.206.34) 130 ms 128 ms 128 ms
8 baignolet2-backbone.opentransit.net (193.251.128.113) 173 ms 169 ms 171 ms
9 baignolet-backbone1.opentransit.net (193.251.128.141) 163 ms 161 ms 150 ms
10 stockton.opentransit.net (193.251.128.130) 274 ms 267 ms 260 ms
...
19 ftp18.apple.com (17.254.0.41) 284 ms 277 ms 287 ms
      
```
- TTL initial 255 : 18 routeurs à traverser => TTL ping à 255 - 18 : 237
- ping ftp.apple.com 56 1


```

64 bytes from 17.254.0.31: icmp_seq=0 ttl=237 time=394 ms
      
```

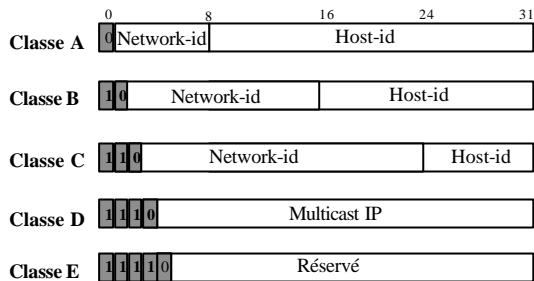
L'Adresse IP

- Une adresse IP :
 - 4 octets (32 bits) à notation décimale pointée A.B.C.D.
 - Exemples : 17.190.5.1 - 134.157.1.23 - 193.32.20.150
- Elle doit être unique au Monde
 - Configurable par logiciel
 - Associée à chaque interface réseau
- Attribution des adresses de réseau en France:
 - Classe A et B par RIPE (Réseaux IP Européens)
 - mail à hostmaster@ripe.net
 - Classe C en Suisse :
 - NIC : www.nic.ch

Adressage IP

- Découpée en deux parties :
 - Adresse de réseau (network id)
 - assigné par une autorité nationale ou internationale
 - Numéro local de la machine (host id)
 - Assigné par l'administrateur local du réseau
 - Découpage précis qui dépend de la classe d'adresses
 - 2 parties structurées de manière à définir 5 classes
- Adressage non hiérarchisé ou arborescent
 - Différence avec téléphone, X25, ATM, IPv6
 - Voir développement dans la suite du cours

Adressage IP : Les Classes



Infrastructures de Communication - Séminaire

25

Adresses IP de Classe A

- Classe A**
- Les très grands réseaux ($2^8 - 2 = 126$)
 - 17.0.0.0 (Apple) - 18.0.0.0 (MIT) (0 en France)
 - $(256)^3 - 2 = 16.777.214$ machines
 - De 1.0.0.0 à 126.0.0.0
 - Mai 92 : 49 allouées (38%) 11 non réservés
 - De 64.0.0.0 à 126.0.0.0 réservé
 - Distribution actuelle sous forme de classe C plus petite (256 adresses)

Infrastructures de Communication - Séminaire

26

Adresses IP de Classe B

- Classe B**
- Les réseaux de taille moyenne ($2^{16} = 16382$)
 - Unige : 129.194.68.0
 - $(256)^2 - 2 = 65534$ machines
 - De 128.0.0.0 à 191.254.0.0
 - Mai 92 : 7354 allouées (45%)
 - Allocation au compte goutte (sous utilisation passée)
 - Forte justification nécessaire
 - Découpage en classe C aussi

Infrastructures de Communication - Séminaire

27

Adresses IP de Classe C

- Classe C**
- Les petits réseaux ($2^{24} - 2 = 2097150$)
 - 194.57.137 (UREC) 193.49.160 (GIP RENATER)
 - $(256)^3 - 2 = 254$ machines
 - De 192.0.0.0 à 223.255.254.0
 - Mai 92 : 44014 allouées (2%)
 - Prévision d'épuisement vers 2010

Infrastructures de Communication - Séminaire

28

Attribution des adresses

256 adresses	1 classe C
512 adresses	2 classes C contiguës
1024 adresses	4 classes C contiguës
2048 adresses	8 classes C contiguës
4096 adresses	16 classes C contiguës
8192 adresses	32 classes C contiguës
16384 adresses	64 classes C contiguës

Infrastructures de Communication - Séminaire

29

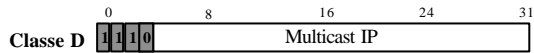
Adresses IP de Classe D (1)

- Classe D**
- De 224.0.0.1 à 239.255.255.255
 - Plus de distinction Réseau/Machine
 - Utilisation locale ou ponctuelle
 - RFC 1700 donne la liste des adresses réservées (224.X.X.X principalement)

Infrastructures de Communication - Séminaire

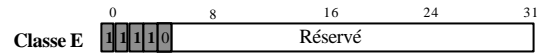
30

Adresses IP de Classe D (2)



- Exemples de diffusion de groupe multicast :
 - Visioconférence (Multicast backbone = mbone)
 - Sur ethernet @IP classe D correspond à @Mac en recopiant les 23 bits libres de l'@ Multicast IP au 23 derniers bits d'une @ Mac particulière (01:00:5E, bit de poids fort du 4ième octet à 0)
 - Routing dynamique
 - 224.0.0.9 : RIP V2
 - 224.0.0.10 : IGRP

Adresses IP particulières (1)



- Classe E : de 240.0.0.0 à 254.255.255.255
 - Réservée à une utilisation future ???
- 0.0.0.0 : machine sans adresse
 - Station sans disque qui utilise RARP
 - La route par défaut (route add)
- 127.0.0.1 (en général) : loopback, localhost
 - Test logiciels, communication interne inter-processus

Adresses IP particulières (2)

- Adresses particulières
 - Tous les bits partie machine à 0 : le réseau
 - 134.157.0.0 désigne le réseau de classe B 134.157
 - Ancienne adresse de diffusion système BSD
 - Tous les bits partie machine à 1 : diffusion
 - Broadcast IP
 - 134.157.255.255 : désignent toutes les machines du réseau 134.157.0.0

Adresses IP particulières (3)

- RFC 1918 : Les réseaux privés ~ "non routable"
 - Classe A : 10.0.0.0
 - Classe B : 172.16.0.0 à 172.32.0.0
 - Classe C : 192.168.0.0 à 192.168.254.0
- Utilisable localement par tous (intranet)
- C'est une **convention**, car les routeurs les traitent comme tous les autres réseaux

Sous adressage IP (1)

- Extension** du plan d'adressage initial (RFC950)
- Découpage d'un réseau en entités + petites : les sous-réseaux ou subnets
 - Structuration plus adaptée au réseau du site (décidée par l'administration locale du site)
 - Adresses sous-réseaux dans partie host-id (X+Y bits)
 - 1ère partie host-id : X bits pour sous réseaux
 - 2ième partie host-id : Y bits pour machines
 - Utilisation de bits non contigus non conseillée dans RFC,
 - Implémentation (et compréhension) : bits contigus

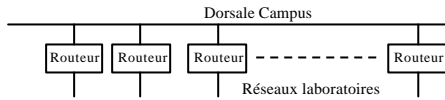
Sous adressage IP (2)

- Administration Mondiale : Net-Id
- Administration Locale : Host-id



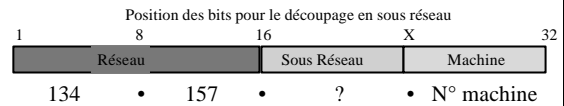
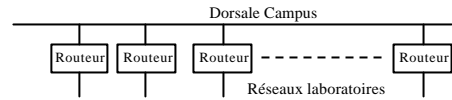
- La partie locale du plan d'adressage initial est subdivisée en "sous réseau" + "machine" (host-id)
- Champs Sous Réseau et Machine sont de tailles variables; la longueur des 2 champs étant toujours égale à la longueur de la partie locale.

Sous adressage IP (3)



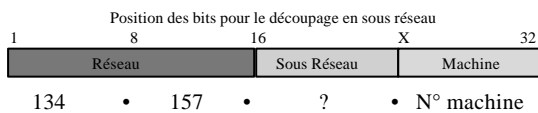
- Exemple université : Classe B
 - Présence d'environ 400 laboratoires
 - Trouver un moyen de découper la classe B attribuée au site de l'université en une somme de sous réseaux attribuable à chaque laboratoire

Sous adressage IP (4)



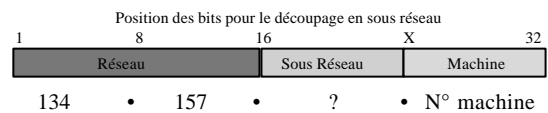
- Dans l'exemple : 16 bits pour le partage sous réseau/machine

Sous adressage IP (5)



- (RFC 1878) **supprime** la nécessité de conserver la notion d'adresse de réseau et la notion d'adresse de diffusion dans ce découpage qui obligeait la réservation de la :
 - Première plage réservée à l'adresse de réseau
 - Dernière plage réservée à l'adresse de diffusion

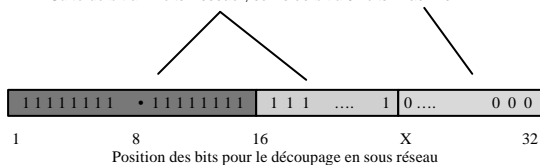
Sous adressage IP (6)



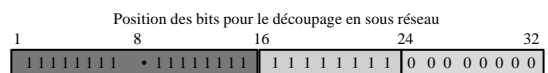
- 0 bit : pas de subnet
- 1 bit : 2^1 2 sous réseaux
- 2 bit : 2^2 4 sous réseaux
- 3 bit : 2^3 8 sous réseaux
- 4 bit : 2^4 16 sous réseaux etc

Sous adressage IP : Masque (1)

- Dans la pratique, on utilise un masque de sous réseau ou subnet mask : c'est un masque de bit
- Masque** : 4 octets scindé en 2 parties (bits contigus) :
 - Suite de bit à 1 : bits "réseau", suivis de bit à 0 : bits "machine"

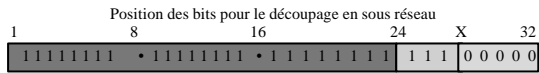


Sous adressage IP : Masque (2)



- Notation en décimal pointé :
 - Exemple ci dessus :
 - 11111111.11111111.11111111.00000000
 - 255 . 255 . 255 . 0
 - Soit donc 8 bits utilisés $\Rightarrow 2^8 = 256$ sous réseaux
 - Insuffisants pour 400 laboratoires : de 9 bits $\Rightarrow 512$ sous réseaux
 - 11111111.11111111.11111111.10000000
 - 255 . 255 . 255 . 128

Sous adressage IP : Classe C



- Masque classe C : Nombre de bit à 1 = 24
- Toujours de type **255.255.255.X**

Nb de bit utilisé	Masque	Nb de subnet	Nb de machine par subnet	Nb Total de machines
0	255.255.255.0	0	254	254
1	255.255.255.128	2	126	252
2	255.255.255.192	4	62	248
3	255.255.255.224	8	30	240
4	255.255.255.240	16	14	224
5	255.255.255.248	32	6	192
6	255.255.255.252	64	2	128

Infrastructures de Communication - Séminaire

43

Sous adressage IP : Classe B

- Masque classe B : Nombre de bit à 1 = 16
- Toujours de type **255.255.X.Y**

Nb de bit utilisé	Masque	Nb de subnet	Nb de machine par subnet	Nb Total de machines
0	255.255.0.0	0	65534	65534
1	255.255.128.0	2	32766	65532
2	255.255.192.0	4	16382	65528
3	255.255.224.0	8	8190	65520
4	255.255.240.0	16	4094	65504
5	255.255.248.0	32	2046	65472
6	255.255.252.0	64	1022	65408
7	255.255.254.0	128	510	65280
8	255.255.255.0	256	254	65024
9	255.255.255.128	512	126	64512
10	255.255.255.192	1024	62	63488
11	255.255.255.224	2048	30	61440
12	255.255.255.240	4096	14	57344
13	255.255.255.248	8192	6	49152
14	255.255.255.252	16384	2	32768

Infrastructures de Communication - Séminaire

44

Sous adressage IP : Classe A

- Masque classe A : Nombre de bit à 1 = 8
- Toujours de type **255.X.Y.Z**
- Nombre de bits utilisables : de 1 à 22
- Exemples :
 - 2 bits : 255.192.0.0
 - 8 bits : 255.255.0.0 255 classes B
 - 16 bits : 255.255.255.0 65536 classes C

Infrastructures de Communication - Séminaire

45

Lien masque-réseau

- Une machine peut connaître le réseau sur lequel il se trouve en faisant un **ET logique** entre l'@IP machine et le masque de réseau :

```
@IP      134.157.1.151      10000110.10011101.00000001.10010111
Masque   255.255.255.128   11111111.11111111.11111111.10000000
ET logique 10000110.10011101.00000001.10000000
@ du réseau      134      .      157      .      1      .      128
```

Infrastructures de Communication - Séminaire

46