

IP - Plan

1. Interconnexion IP
2. Relayage et routage IP
3. Adressage et nommage
4. Adressage IP
5. Datagramme IP
6. Fragmentation
7. ICMP



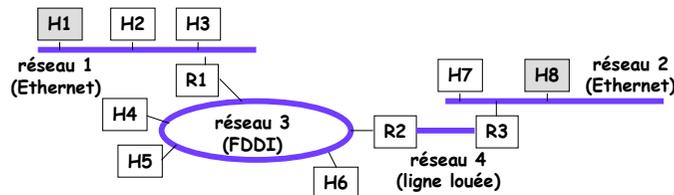
IP - Plan

1. Interconnexion IP
 - ✓ concept d'interconnexion
 - ✓ rôle de IP
 - ✓ service de IP
2. Relayage et routage IP
3. Adressage et nommage
4. Adressage IP
5. Datagramme IP
6. Fragmentation
7. ICMP



Interconnexion

- ✓ une concaténation de réseaux
 - à l'intérieur d'un réseau, les nœuds utilisant la technologie spécifique de leur réseau



- ✓ l'interconnexion consiste à faire transiter des informations depuis une machine sur un réseau vers une autre machine sur un autre réseau
 - les différences entre tous les réseaux ne doivent pas apparaître à l'utilisateur



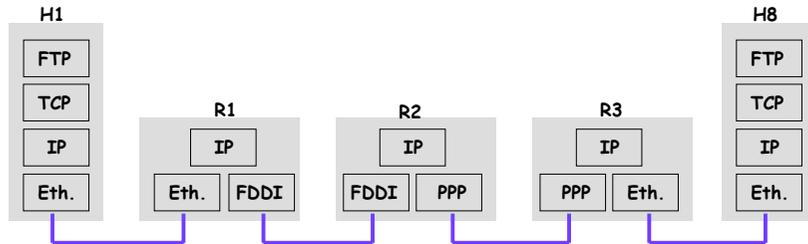
Interconnexion

- ✓ Principe
 - mise en œuvre d'une couche réseau
 - masquant les détails de la communication physique du réseau
 - détachant les applications des problèmes de routage
- ✓ le logiciel d'interconnexion
 - fait apparaître l'ensemble des réseaux disparates comme un seul et unique réseau
 - offre un service commun à toutes les applications



Interconnexion IP

- ✓ la glue qui lie l'Internet : le protocole IP (*Internet Protocol*)
- ✓ une pile de protocoles

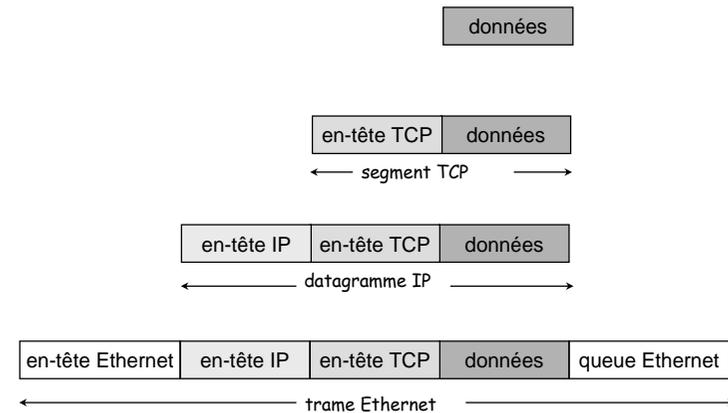


Kim Thai

-5-

Encapsulations successives

- ✓ cas application / TCP / IP / Ethernet

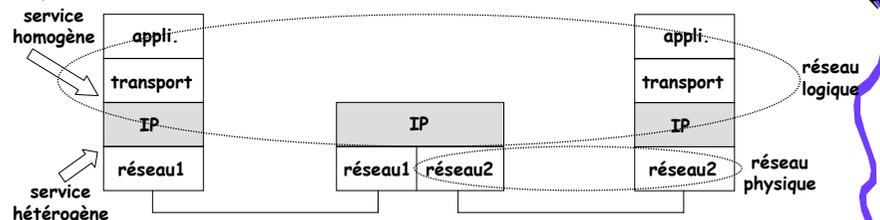


Kim Thai

-6-

Internet Protocol (IP)

- ✓ protocole de la couche d'interconnexion



- caractéristiques de l'interface IP
 - adresse unique et homogène
 - transfert par blocs (datagrammes)
 - service sans connexion
 - service *best effort* (les datagrammes ne sont pas éliminés sans raison)
- fonctions de IP
 - adressage
 - routage
 - fragmentation



Kim Thai

-7-

Service IP

- ✓ utilise un service minimum
 - envoi d'une unité de transfert d'un point à ses voisins
 - voisin : partage la même connexion physique
- ✓ rend un service minimum
 - service en mode non connecté
 - absence d'états dans les routeurs
 - transmission de datagrammes
 - remise *best effort*
 - service non fiable
 - service de connectivité
- ✓ avantages
 - ☺ robustesse
 - ☺ efficace pour les échanges brefs
 - ☺ simplicité d'utilisation



Kim Thai

-8-

Primitives de service IP

SEND (
adresse source
adresse destination
TCP ou UDP: protocole supérieur
indicateurs de QOS: high ou normal
rapidité: de remise demandée
priorité: traitement d'abord
débit:
sécurité:
identificateur du paquet courant
indicateur de fragmentation: oui ou non
durée de vie
longueur des données
données optionnelles: sécurité (mot de passe pour une passerelle), routage/ source, enregistrement du chemin, estampillage (enregistrement de l'heure de chaque passage)
données)

DELIVER (
adresse source
adresse destination
TCP ou UDP: protocole supérieur
indicateurs de QOS: high ou normal
longueur des données
données optionnelles et données)



-9-



Kim Thai

IP - Plan

1. Interconnexion IP
2. **Relayage et routage IP**
 - relayage IP
 - routage IP
3. Adressage et nommage
4. Adressage IP
5. Datagramme IP
6. Fragmentation
7. ICMP



-10-



Kim Thai

Relayage vs. routage

- ✓ **relayage** (*forwarding*)
 - action de retransmettre sur une interface un datagramme reçu sur une autre interface et n'étant pas arrivé à destination
- ✓ **routage**
 - action de chercher (1) l'interface sur laquelle transmettre un datagramme, et (2) le destinataire immédiat
- ✓ **interface (réseau) : point d'accès au réseau (physique)**



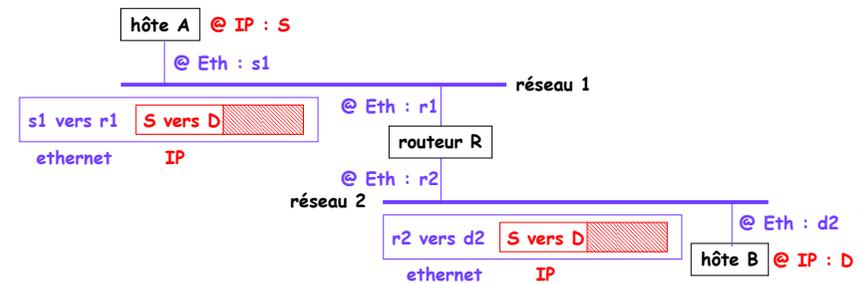
-11-



Kim Thai

Relayage par IP

- ✓ **Vue topologique**



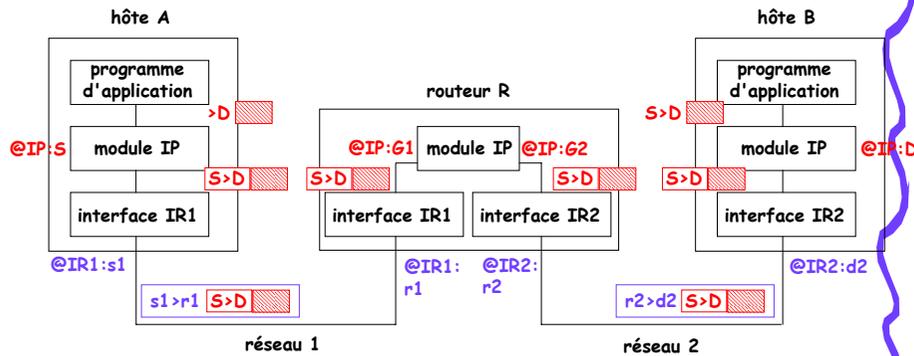
-12-



Kim Thai

Relayage par IP

✓ Vue architecturale



Que fait un routeur ?

Pour chaque datagramme IP qui traverse le routeur, IP :

- vérifie le checksum, si faux → destruction du datagramme
- détermine si ce sont des données *utilisateur* ou de *contrôle* destinées au routeur
- décrémente la durée de vie, si nulle → destruction du datagramme
- **décide du routage**
- **fragmente** le datagramme si nécessaire
- **reconstruit l'en-tête IP** avec les champs mis à jour
- transmet le(s) datagramme(s) au protocole d'accès de l'interface réseau de sortie avec **l'adresse de sous-réseau correspondante**

A réception dans l'hôte destinataire, IP :

- vérifie le checksum
- s'il y a eu fragmentation, mémorise puis **réassemble**
- **délivre au niveau supérieur** les données et les paramètres par la primitive DELIVER



Routage

✓ fonction déterminant un chemin vers une adresse destinataire

↳ table de routage

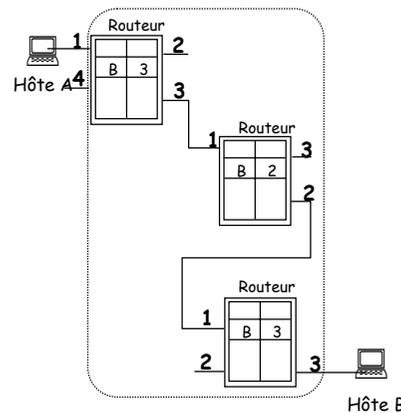
- informations nécessaires pour atteindre le prochain nœud

↳ algorithme de routage

- calcul d'un chemin optimal pour atteindre une adresse destinataire

↳ protocole de routage

- échange d'informations de routage
- dépend du domaine dans lequel se trouve le routeur
- ex : RIP, OSPF, ...



Tables de routage

✓ contiennent 3 informations

- **destination**
 - réseau
 - sous-réseau
 - machine
 - default
- **chemin**
 - interface locale à la machine
 - un routeur intermédiaire
- **coût ou métrique**
 - nombre de hops
 - débit ...

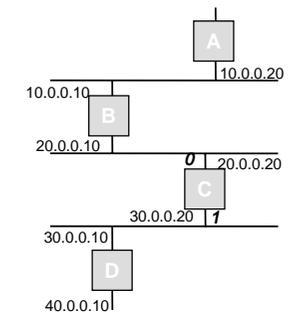


Table du nœud C

Préfixe @destinataire	@routeur par où passer
10.0.0	20.0.0.10
20.0.0	eth0
30.0.0	eth1
40.0.0	30.0.0.10



Routage direct/indirect

- ✓ le module IP examine l'adresse de destination du datagramme et détermine si la destination est sur un même réseau physique
 - si oui : **routage direct**
 - la destination étant sur un même réseau physique, le datagramme est transmis directement
 - ↳ l'adresse physique suivante est celle de la destination
 - si non : **routage indirect**
 - la destination étant sur un réseau physique différent, le datagramme est transmis au routeur suivant
 - ↳ l'adresse physique suivante est celle du routeur suivant



-17-



Kim Thai

IP - Plan

1. Interconnexion IP
2. Relayage et routage IP
3. **Adressage et nommage**
 - noms et DNS
 - adresses physiques et ARP
4. Adressage IP
5. Datagramme IP
6. Fragmentation
7. ICMP

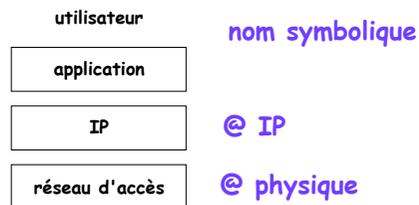


-18-



Kim Thai

Différentes "adresses"



↳ 2 niveaux de conversion

- nom ↔ adresse IP
- adresse IP ↔ adresse physique



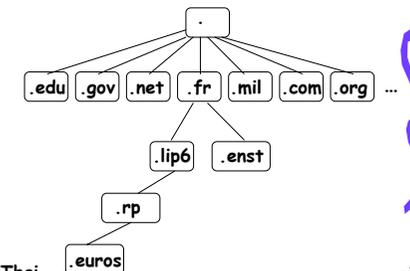
-19-



Kim Thai

Les domaines

- ✓ l'Internet est organisé en **domaines**
 - Domaine : ensemble de réseaux administrée par une seule autorité, appelé *Administrative System*
 - Domaine : regroupement de sites ayant une relation fonctionnelle ou géographique entre eux
- ✓ exemples de domaines
 - .gov : institutions gouvernementales américaines
 - .edu : universités américaines
 - .com : sites commerciaux
 - .fr : sites français
 - .lip6.fr : LIP6
- ✓ hiérarchie de domaines
 - ex : euros.rp.lip6.fr



-20-



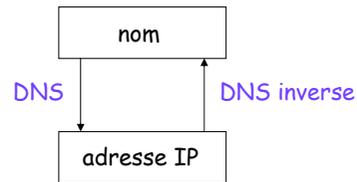
Kim Thai

Nommage

✓ Principe

- unicité des noms
- gestion distribuée : nommage hiérarchique
- plan de nommage indépendant du plan d'adressage

✓ besoin d'une glue : Domain Name System



Kim Thai

-21-

Résolution des noms

✓ hiérarchie de serveurs DNS

- découpage de la hiérarchie en zones
- chaque zone est servie par au moins un serveur de noms

✓ redondance

- un serveur primaire + des serveurs secondaires par zone

✓ un client effectue des requêtes à son serveur DNS

✓ le serveur DNS répond ou remonte la demande au serveur de niveau supérieur

✓ présence de caches aux différents niveaux



Kim Thai

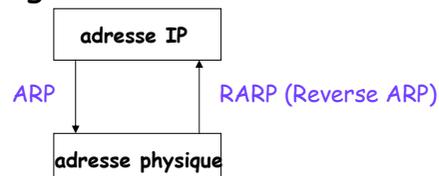
-22-

Adressage physique

✓ Principe

- adresse propre au système de transmission
- identifie le périphérique
- multitude d'espaces d'adressage
- exemples
 - @ Ethernet : sur 6 octets, adressage absolu
 - @ ATM : sur 20 octets, adressage hiérarchique

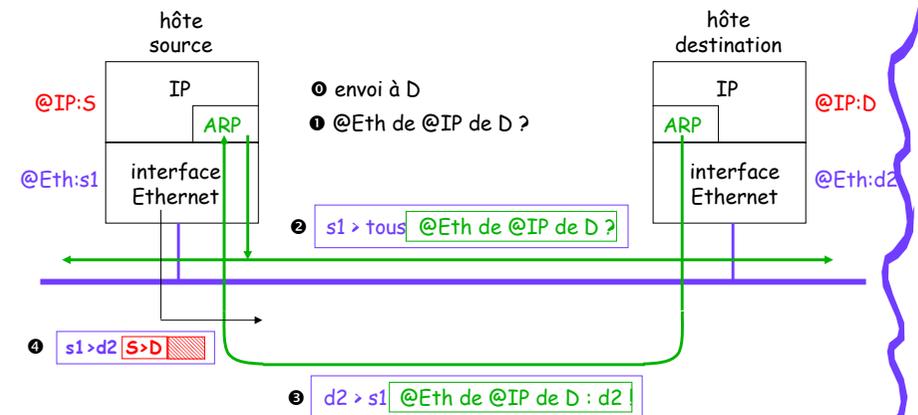
✓ besoin d'une glue : Address Resolution Protocol



Kim Thai

-23-

Résolution des adresses



Kim Thai

-24-

IP - Plan

1. Interconnexion IP
2. Relayage et routage IP
3. Adressage et nommage
4. **Adressage IP**
 - classes d'adresses
 - subnetting
5. Datagramme IP
6. Fragmentation
7. ICMP



Kim Thai

-25-

Adressage IP

- ✓ adressage
 - pour l'identification d'un équipement réseau
 - pour le routage
- ✓ plan d'adressage homogène
 - format : 4 octets → 4,3 milliards d'adresses ???
 - notation décimale pointée : x1.x2.x3.x4
- ✓ adresse globalement unique et hiérarchique
- ✓ format : <réseau> <machine>
 - localisateur ou préfixe réseau : identificateur de réseau
 - identificateur : identificateur de machine

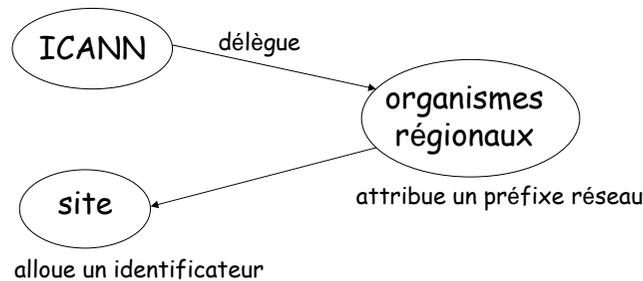


Kim Thai

-26-



Attribution des adresses

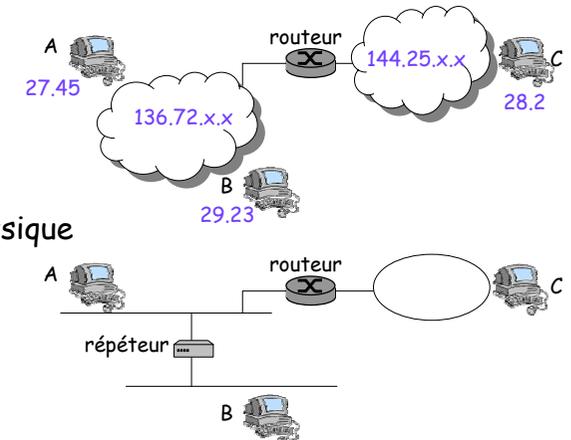


Kim Thai

-27-

Adressage réseau

- ✓ un préfixe réseau par réseau physique
 - au niveau IP
- au niveau physique



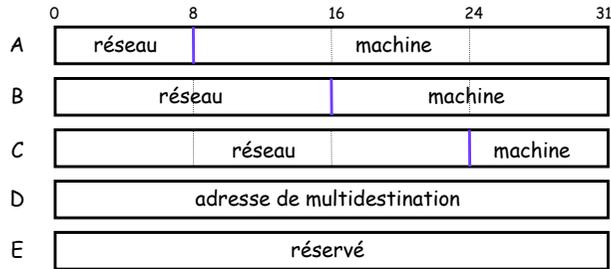
Kim Thai

-28-

Classes d'adresses

✓ le découpage <réseau> / <machine> n'est pas fixe

↪ 5 classes d'adresses



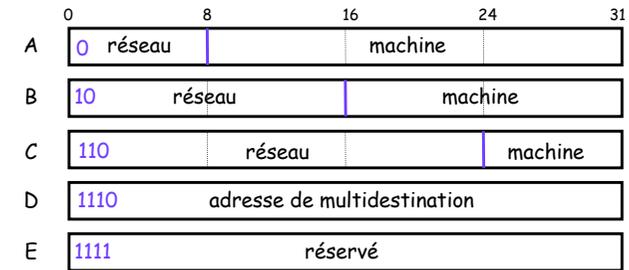
✓ comment reconnaître ces classes ?



Kim Thai

-29-

Classes d'adresses



Kim Thai

-30-

Classes d'adresses

✓ classe A : 2^7 réseaux (128)

- réservé: 0.0.0.0 et 127.0.0.0
- disponible: 1.0.0.0 à 126.0.0.0
 - 126 réseaux classe A et 16 777 214 machines/réseau

✓ classe B : 2^{14} réseaux (16 384)

- réservé: 128.0.0.0 et 191.255.0.0
- disponible: 128.1.0.0 à 191.254.0.0
 - 16 382 réseaux classe B et 65 534 machines/réseau

✓ classe C : 2^{21} réseaux (2 097 152)

- réservé: 192.0.0.0 et 223.255.255.0
- disponible: 192.0.1.0 à 223.255.254.0
 - 2 097 150 réseaux classe C et 254 machines/réseau



Kim Thai

-31-

Les adresses particulières



- ↪ une adresse IP dont la valeur hostid ne comprend que des 1 ne peut être attribuée à une machine réelle
 - c'est une **adresse de diffusion dirigée**
- ↪ une adresse IP dont la valeur hostid ne comprend que des 0 ne peut être attribuée à une machine réelle
 - c'est une **adresse de réseau**



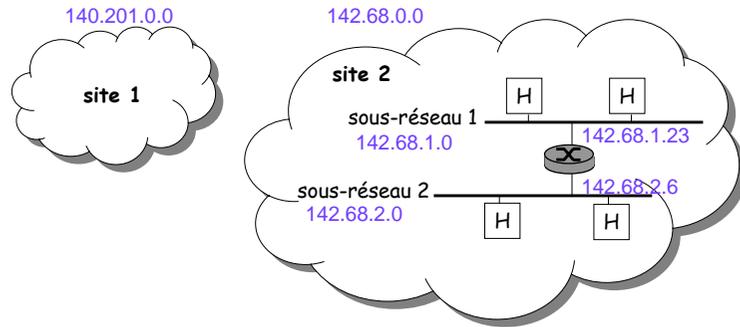
Kim Thai

-32-

Subnetting

✓ Problème

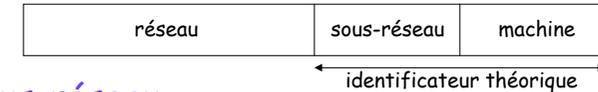
- distinction <réseau> / <hôte> insuffisante en pratique



Sous-adressage

✓ Principe

- ajout d'un niveau hiérarchique dans l'adressage
 - adresse de sous-réseau
- subdivision de la partie <hôte>



✓ le sous-réseau

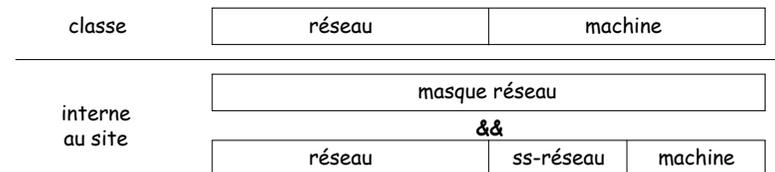
- est un réseau physique (i.e. un réseau IP connexe) du réseau de site
- a une visibilité purement interne

Le masque de sous-réseau

- ✓ le masque indique la frontière entre la partie <sous-réseau> et la partie <machine>
- ✓ le masque est propre au site
- ✓ le masque est de 32 bits
- ✓ bits du masque de sous-réseau (*subnet mask*)
 - positionnés à 1 → partie réseau
 - positionnés à 0 → partie machine
- ✓ exemple
 - 11111111 11111111 11111111 00000000
 - ↳ 3 octets pour le champ réseau, 1 octet pour le champ machine
- ✓ notations
 - décimale pointée
 - exemple : 255.255.255.0
 - adresse réseau/masque
 - exemple : 193.49.60.0/27 (27 = nombre de bits contigus du masque)

Masque de sous-réseau

✓ utilisation



✓ exemple

- le réseau 142.68.0.0 (classe B!) a comme masque 255.255.255.0
- soit l'hôte d'@IP 142.68.2.6

$$\begin{array}{r}
 10001110.01000100.00000010.00000110 \quad 142.68.2.6 \\
 \&\& \quad 11111111.11111111.11111111.00000000 \quad 255.255.255.0 \\
 \hline
 = \quad 10001110.01000100.00000010.00000000 \quad 142.68.2.0
 \end{array}$$

- ↳ l'hôte est sur le sous-réseau numéro 2, et a comme identificateur 6

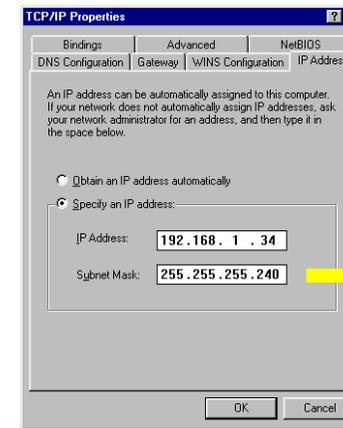
Le masque de sous-réseau

✓ Le choix du découpage <réseau> / <hôte> dépend des perspectives d'évolution du site

- exemple **classe B** :
 - 8 bits pour la partie sous réseau → 256 sous réseaux de 254 machines
 - 3 bits pour la partie sous réseau → 8 sous-réseaux de 8190 machines
- exemple **classe C** :
 - 4 bits pour la partie sous-réseau → 16 sous-réseaux de 14 machines



Configuration sous Win9X/NT



11111111 11111111 11111111 11110000

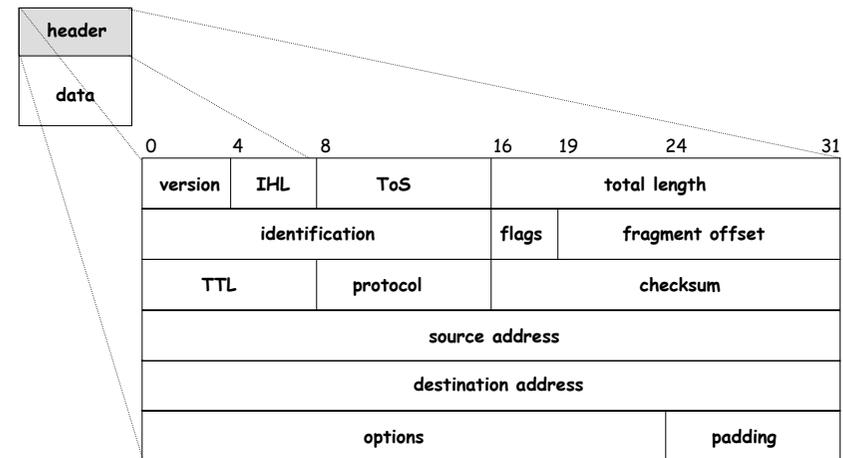


IP - Plan

1. Interconnexion IP
2. Relayage et routage IP
3. Adressage et nommage
4. Adressage IP
5. **Datagramme IP**
6. Fragmentation
7. ICMP



Le datagramme IP



Les champs de l'en-tête IP

- ✓ **version** : identification de la version courante du protocole (4 pour IPv4)
- ✓ **IHL (IP Header Length)** : longueur de l'en-tête IP (en mots de 32 bits)
- ✓ **TOS (Type Of Service)** : type de service à appliquer au paquet en fonction de certains paramètres comme le délai de transit, la sécurité
- ✓ **total length** : longueur totale du datagramme (en octets)
- ✓ **identification** : valeur fournie par la source aidant la destination au réassemblage des différents fragments du datagramme
- ✓ **flags** : utilisé par la fragmentation et composé de
 - DF (*Don't Fragment*)
 - MF (*More Fragment*)
 - réservé
- ✓ **offset** : déplacement par rapport au datagramme initial (en multiple de 8 octets)
- ✓ **TTL (Time To Live)** : limite supérieure du temps de vie d'un datagramme
- ✓ **protocol** : protocole utilisé pour le champ de données
 - 1 pour ICMP
 - 6 pour TCP
 - 17 pour UDP
- ✓ **checksum** : zone de contrôle d'erreur portant uniquement sur l'en-tête du datagramme
- ✓ **source address** : @ IP de la source du datagramme
- ✓ **destination address** : @ IP de la destination du datagramme
- ✓ **options** : fonctions de contrôle utiles dans certaines situations (estampillage temporel, sécurité, routage particulier, etc.)
- ✓ **padding** : pour aligner l'en-tête sur 32 bits



IP - Plan

1. Interconnexion IP
2. Relayage et routage IP
3. Adressage et nommage
4. Adressage IP
5. Datagramme IP
6. Fragmentation
7. ICMP



Fragmentation et réassemblage

✓ Motivations

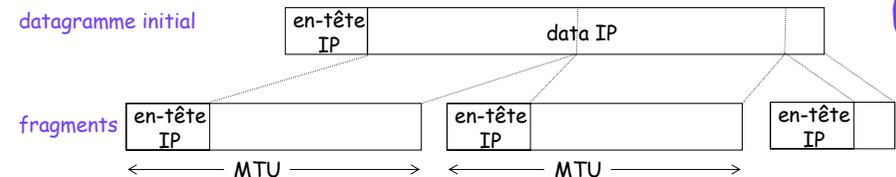
- l'Internet est par nature hétérogène
- le MTU (Maximum Transmission Unit) varie selon la technologie
- certains protocoles de niveau supérieur génèrent des datagrammes de longueur supérieure au MTU
- ↳ adaptation de la taille du datagramme au MTU



Fragmentation et réassemblage

✓ Principe

- découpage de la charge utile et duplication de l'en-tête



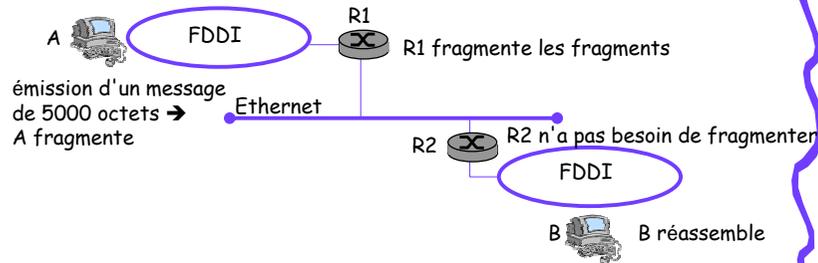
- réassemblage par le destinataire final



Fragmentation et réassemblage

✓ exemple

- MTU Ethernet = 1500 octets
- MTU FDDI = 4500 octets



Kim Thai

-45-

IP - Plan

1. Interconnexion IP
2. Relayage et routage IP
3. Adressage et nommage
4. Adressage IP
5. Datagramme IP
6. Fragmentation
7. ICMP



Kim Thai

-46-

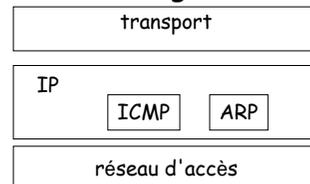
Protocole de contrôle ICMP

✓ Motivation

- pas de signalisation dans IP
 - pas de retour d'information
 - pas de messages d'anomalies

✓ ICMP (Internet Control Message Control)

- instrumentation et test
- signalisation d'anomalies
- mise en œuvre obligatoire
- messages ICMP encapsulés dans des datagrammes IP
- même si :



Kim Thai

-47-

Messages ICMP

✓ format

- les messages ICMP ont tous le même format pour le premier mot de 32 bits

type	code	checksum
------	------	----------

✓ champ type

Type	Message	Objet
0	Echo Reply	Réponse en écho.
3	Destination Unreachable	Destination inaccessible.
4	Source Quench	Interruption de la source.
5	Redirect	Redirection, changement de route.
8	Echo	Demande d'écho.
11	Time Exceeded	Temps de vie d'un datagramme dépassé.
12	Parameter Problem	Datagramme mal formé.
13	Timestamp	Demande de date d'estampillage.
14	Timestamp Reply	Réponse à une demande d'estampillage.
15	Information Request	Demande d'information.
16	Information Reply	Réponse à une demande d'information.
17	Address Mask Request	Demande de masque d'adresse.
18	Address Mask Reply	Réponse à une demande de masque d'adresse.



Kim Thai

-48-

Outil ping

✓ Principe

- exploite la fonction d'écho de ICMP
- un routeur ou un hôte recevant un "echo request" retourne un "echo reply"
- ↳ permet de
 - tester l'accessibilité d'une machine
 - obtenir des statistiques sur la qualité de la route

✓ exemple

```
$ ping castor.univ-reunion.fr
PING castor.univ-reunion.fr (194.199.73.51): 56 data bytes
64 bytes from 194.199.73.51: icmp_seq=0 ttl=246 time=570.800 ms
64 bytes from 194.199.73.51: icmp_seq=1 ttl=246 time=581.364 ms
64 bytes from 194.199.73.51: icmp_seq=2 ttl=246 time=571.022 ms
64 bytes from 194.199.73.51: icmp_seq=3 ttl=246 time=572.722 ms
64 bytes from 194.199.73.51: icmp_seq=4 ttl=246 time=579.121 ms
64 bytes from 194.199.73.51: icmp_seq=5 ttl=246 time=571.619 ms
^C
---castor.univ-reunion.fr PING Statistics---
6 packets transmitted, 6 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 570.800/574.441/581.364/4.598 ms
```



-49-

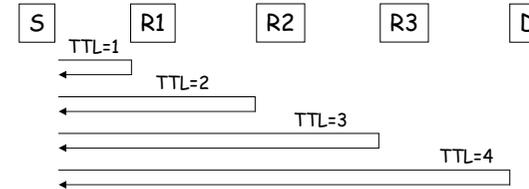


Kim Thai

Outil traceroute

✓ Principe

- transmet des paquets vers une destination, en partant d'un TTL de 1 et en l'incrémentant



- si un routeur décrémente le TTL à 0, il retourne un message ICMP "TTL expiré"

↳ permet d'identifier la route vers la destination



-50-



Kim Thai

Outil traceroute

✓ exemple

```
$ traceroute castor.univ-reunion.fr
traceroute to castor.univ-reunion.fr (194.199.73.51), 30 hops max, 40 byte packets
 1 olympe-61-0 (132.227.61.200)  0.219 ms  0.246 ms  0.234 ms
 2 r-scott.reseau.jussieu.fr (134.157.251.126)  0.878 ms  0.875 ms  0.845 ms
 3 r-jusren.reseau.jussieu.fr (134.157.254.126)  0.967 ms  0.895 ms  0.933 ms
 4 jussieu.cssi.renater.fr (194.214.109.21)  1.566 ms  1.288 ms  2.091 ms
 5 nio-n1.cssi.renater.fr (194.214.109.5)  1.804 ms  2.582 ms  2.260 ms
 6 nio-n3.cssi.renater.fr (193.51.206.170)  11.752 ms  22.965 ms  23.103 ms
 7 reunion.cssi.renater.fr (193.51.206.186)  587.128 ms  580.797 ms  571.993 ms
 8 cs-iremia.univ-reunion.fr (195.220.151.53)  568.513 ms  569.076 ms  580.685 ms
 9 castor.univ-reunion.fr (194.199.73.51)  570.421 ms  589.480 ms  567.862 ms
```



-51-



Kim Thai