

# Partie 6

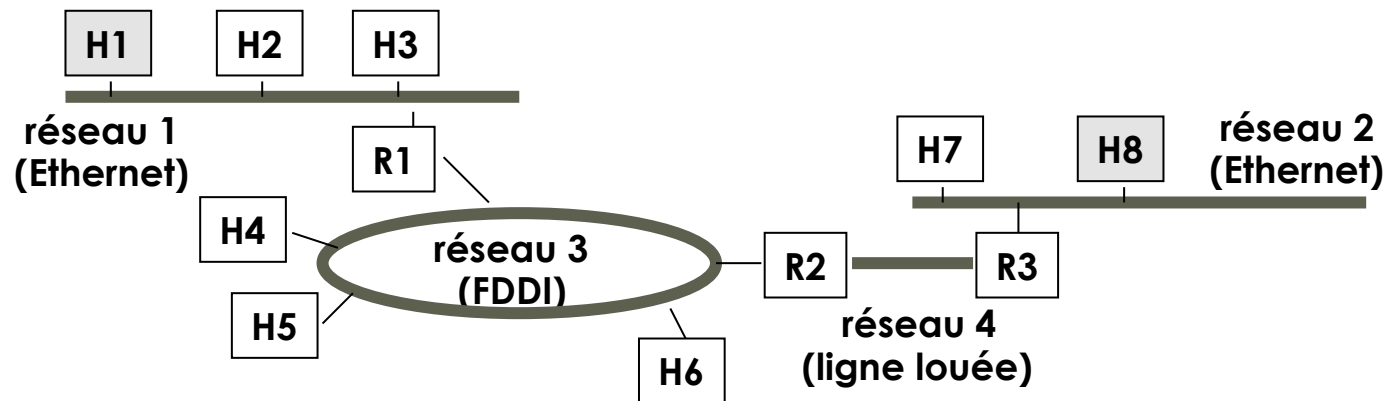
## IP (Internet Protocol)

# IP - Plan

- ▣ Interconnexion IP
- ▣ Relayage et routage IP
- ▣ Adressage et nommage
- ▣ Adressage IP
- ▣ Datagramme IP
- ▣ Fragmentation
- ▣ 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

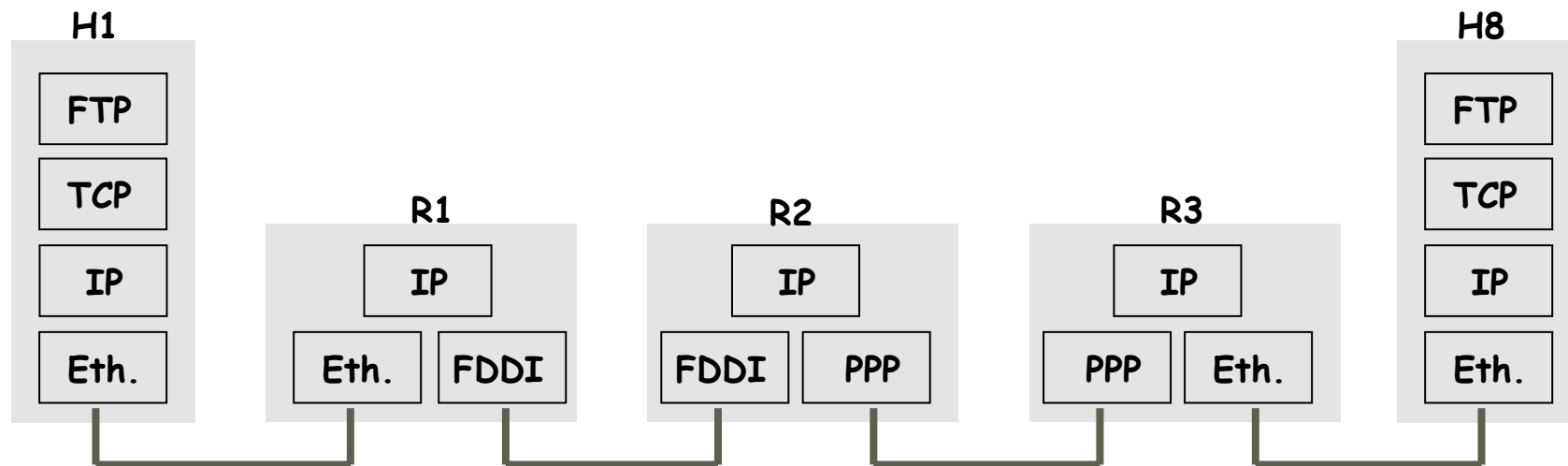
- mise en œuvre d'une couche réseau
  - masquant les détails de la communication physique du réseau
  - détachant les applications des problèmes de routage

## ■ 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

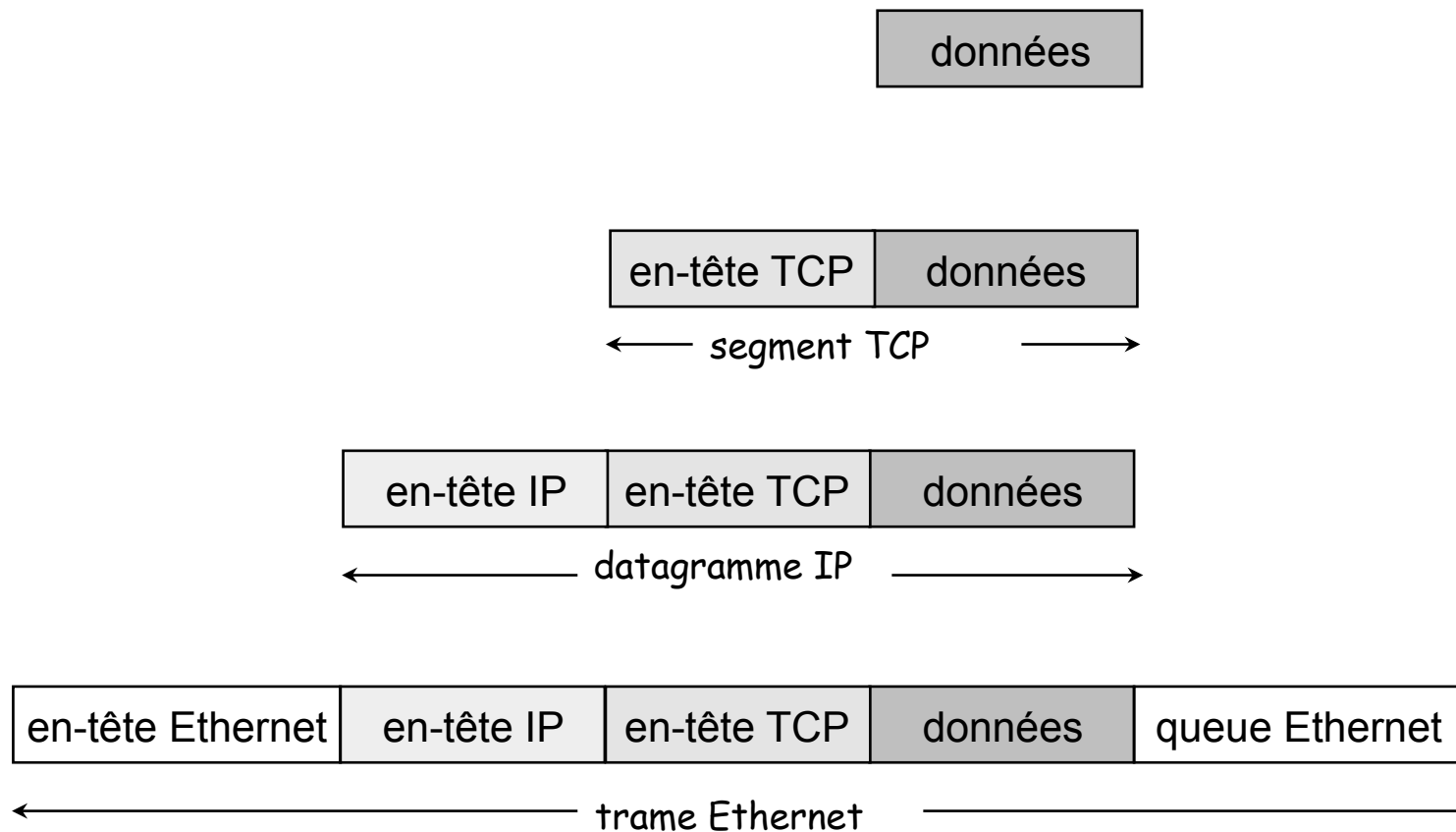
# Interconnexion IP

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



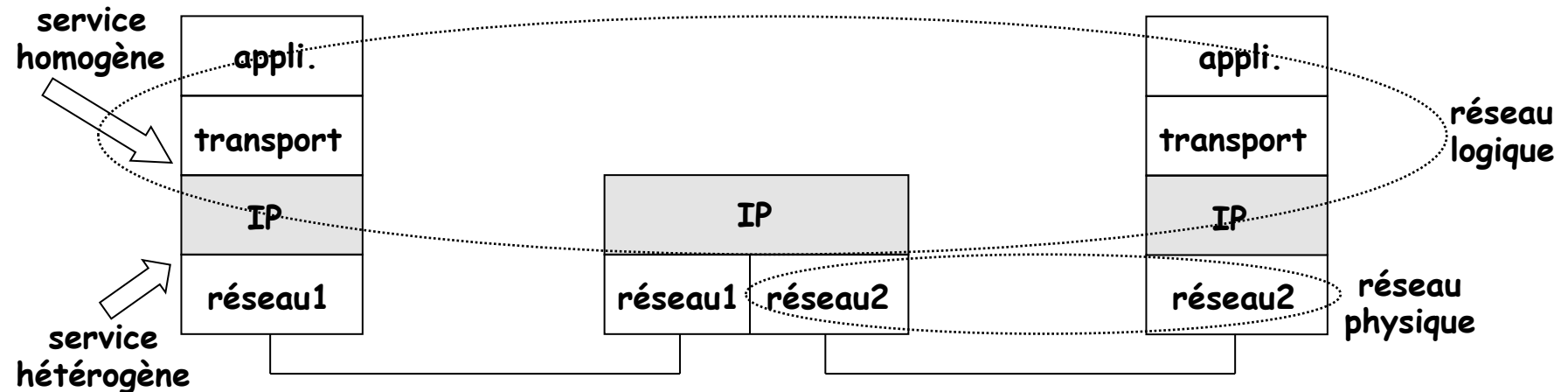
# Encapsulations successives

■ cas application / TCP / IP / Ethernet



# 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**
  - **routing**
  - **fragmentation**

# 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 de connectivité
  - service en mode non connecté
    - absence d'états dans les routeurs
    - transmission de datagrammes
  - remise best effort
    - service non fiable
- avantages
  - robustesse
  - efficace pour les échanges brefs
  - simplicité d'utilisation



# Primitives de service IP

## SEND (

adresse source  
adresse destination  
protocole utilisateur : TCP ou UDP  
indicateurs de QoS : high ou normal  
    rapidité  
    priorité  
    débit  
    sécurité  
identificateur du paquet courant  
indicateur de fragmentation : O/N  
durée de vie  
longueur des données  
données optionnelles  
    sécurité (pwd passerelle),  
    routage à la source, enreg.  
    du chemin, estampillage  
données  
)

## DELIVER (

adresse source  
adresse destination  
protocole utilisateur : TCP ou UDP  
indicateurs de QoS : high ou normal  
    rapidité  
    priorité  
    débit  
    sécurité  
longueur des données  
données optionnelles  
données  
)

# IP - Plan

- Interconnexion IP
- Relayage et routage IP
- Adressage et nommage
- Adressage IP
- Datagramme IP
- Fragmentation
- ICMP

# 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

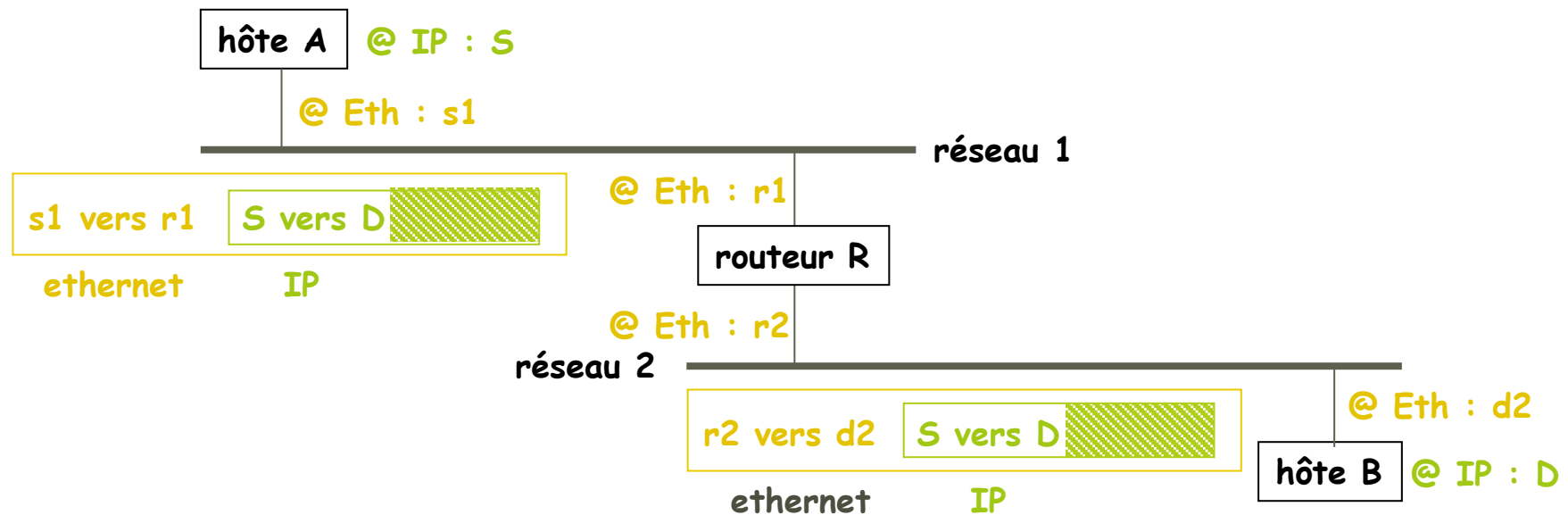
- routage

- action de chercher (1) l'interface sur laquelle transmettre un datagramme, et (2) le destinataire immédiat

- interface (réseau) : point d'accès au réseau (physique)

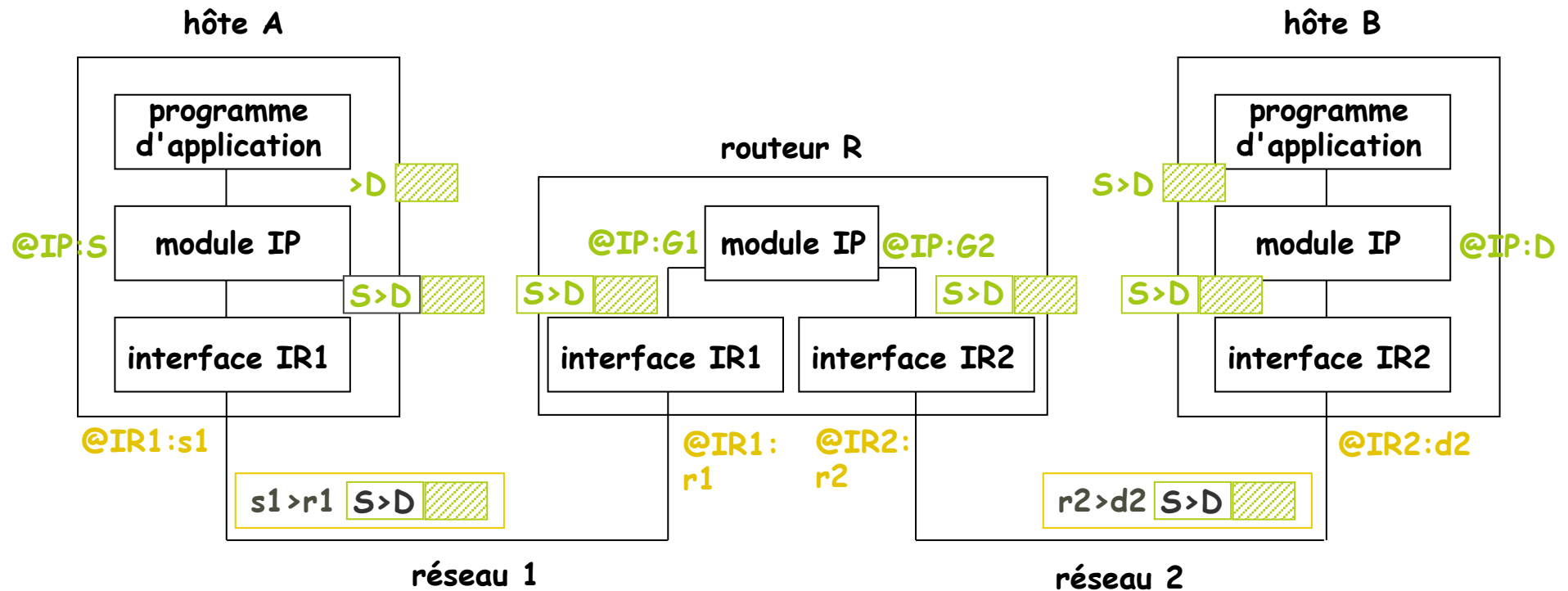
# Relayage par IP

## ▣ Vue topologique



# Relayage par IP

## ▣ Vue architecturale

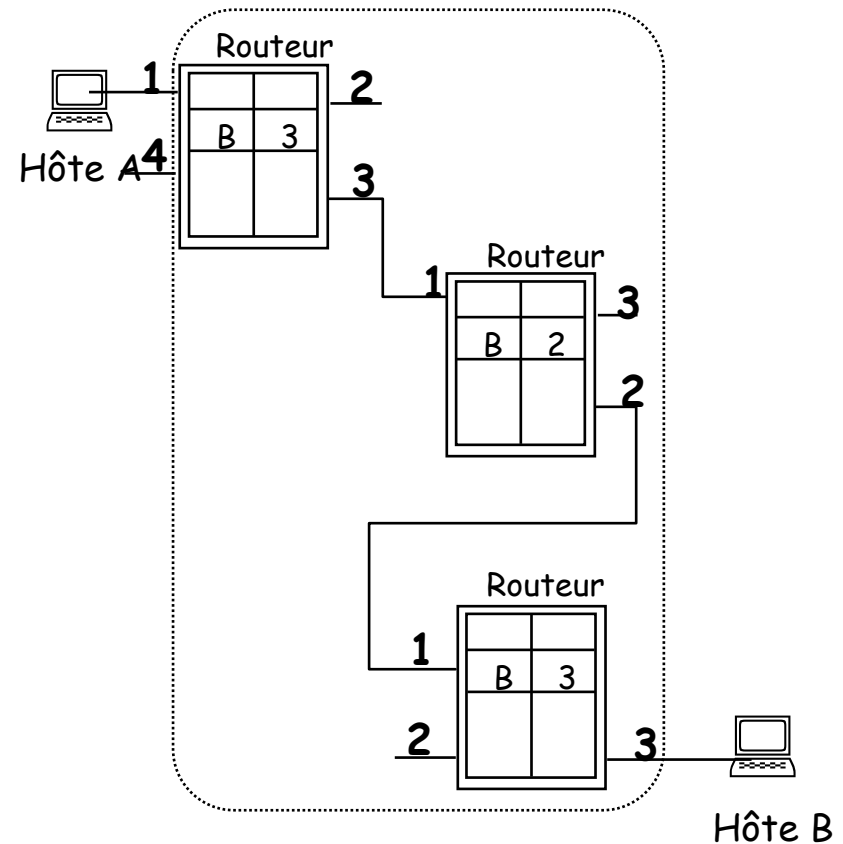


# Que fait un routeur ?

- 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, ...

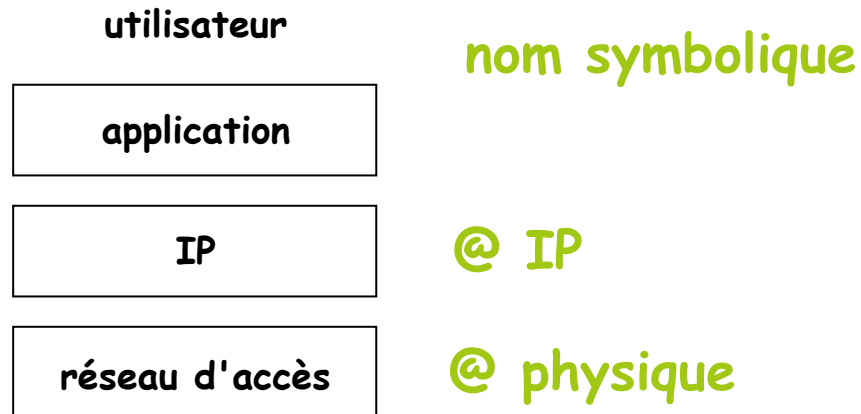


# IP - Plan

- Interconnexion IP
- Relayage et routage IP
- Adressage et nommage
- Adressage IP
- Datagramme IP
- Fragmentation
- ICMP



# Différentes "adresses"



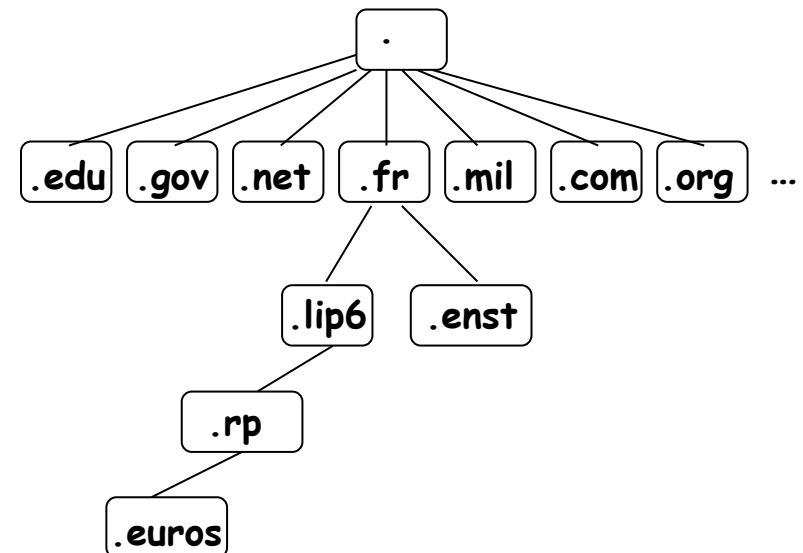
- ▣ 2 niveaux de conversion
  - ▣ nom ⇔ adresse IP
  - ▣ adresse IP ⇔ adresse physique

# 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

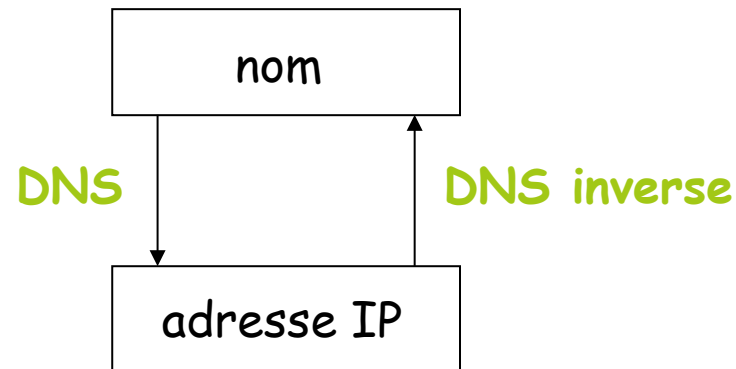
- hiérarchie de domaines
  - ex : euros.rp.lip6.fr

- exemples de domaines
  - .gov : institutions gouvernementales américaines
  - .edu : universités américaines
  - .com : sites commerciaux
  - .fr : sites français
  - .lip6.fr : LIP6



# Nommage

- Principe
  - unicité des noms
  - gestion distribuée : nommage hiérarchique
  - plan de nommage indépendant du plan d'adressage
- besoin d'une glue : Domain Name System



# Résolution des noms

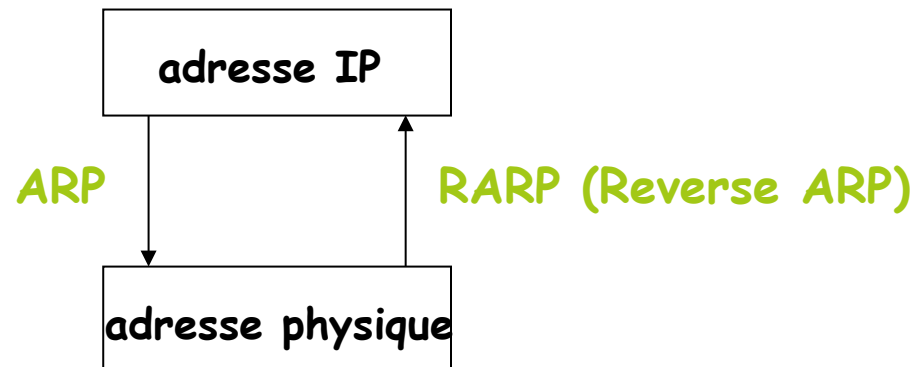
- hiérarchie de serveurs DNS
  - découpage de la hiérarchie en zones
  - chaque zone est servie par au moins un serveur de noms
- redondance
  - un serveur primaire + des serveurs secondaires par zone
- un client effectue des requêtes à son serveur DNS
- le serveur DNS répond ou remonte la demande au serveur de niveau supérieur
- présence de caches aux différents niveaux

# Adressage physique

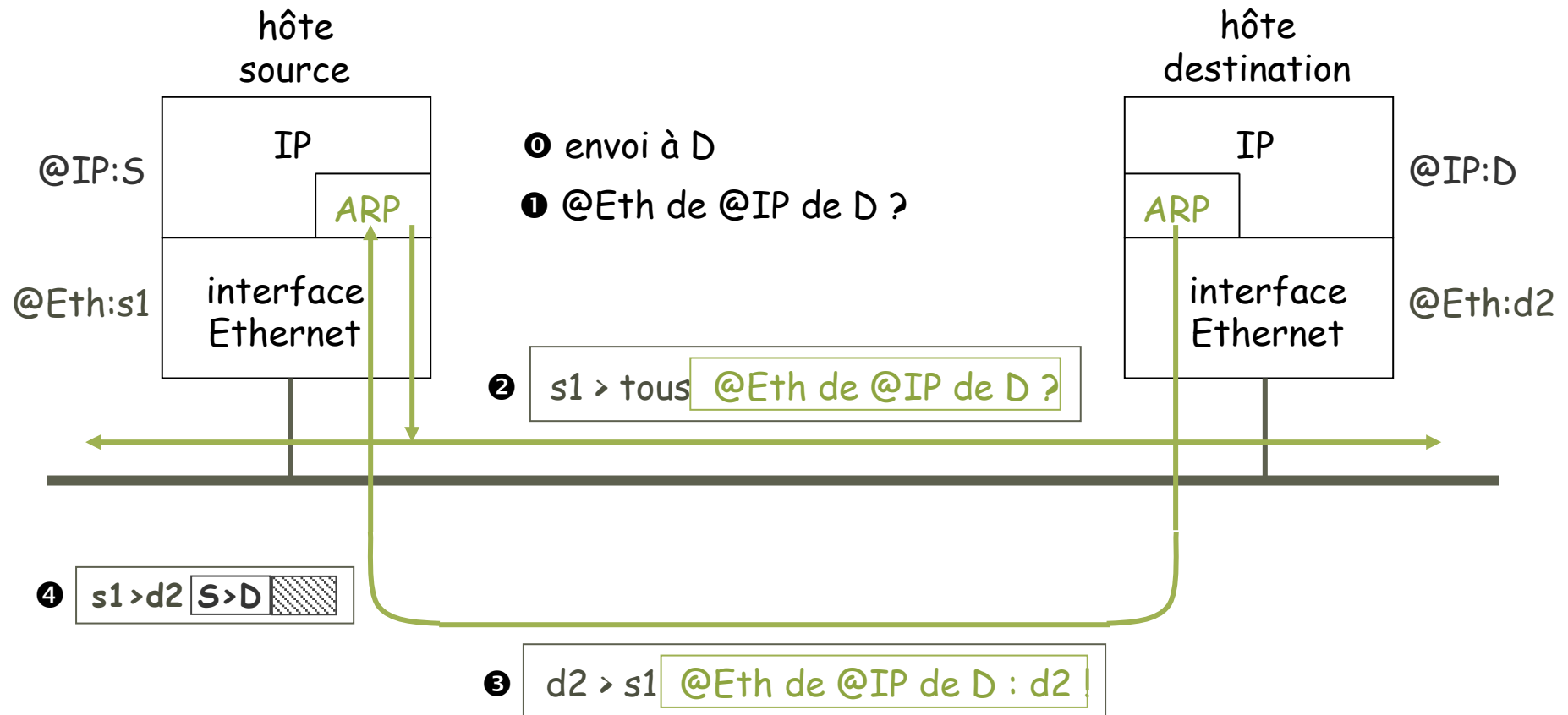
## ■ Principe

- 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



# Résolution des adresses



# IP - Plan

- ▣ Interconnexion IP
- ▣ Relayage et routage IP
- ▣ Adressage et nommage
- ▣ Adressage IP
- ▣ Datagramme IP
- ▣ Fragmentation
- ▣ ICMP

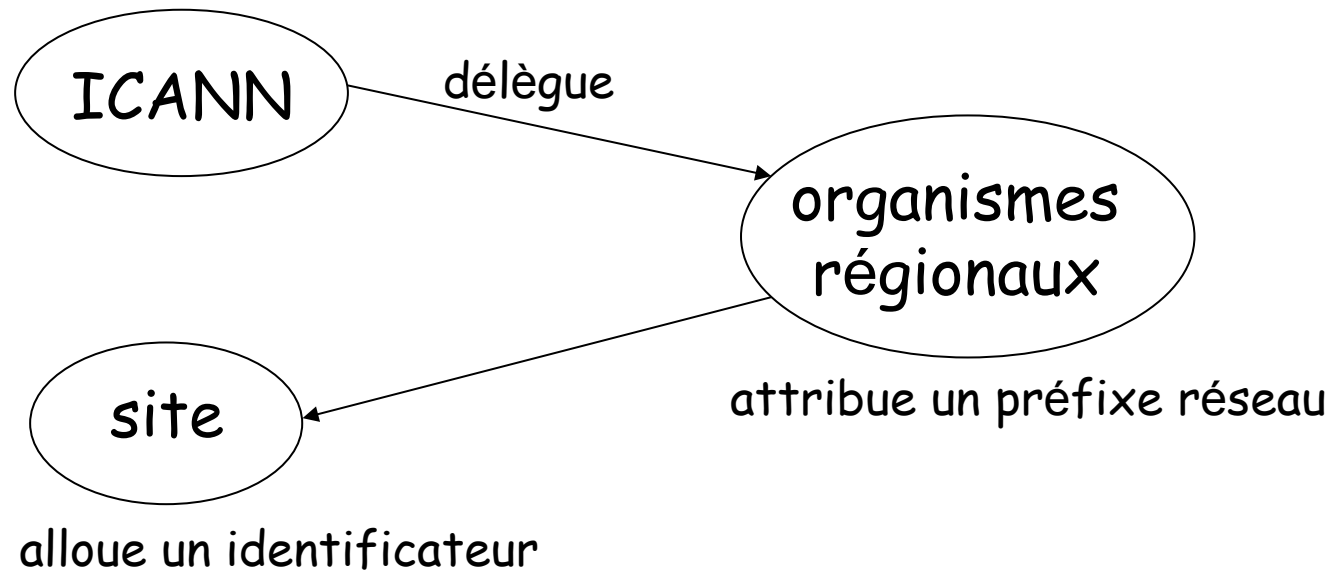
# Adressage IP

- ▣ 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





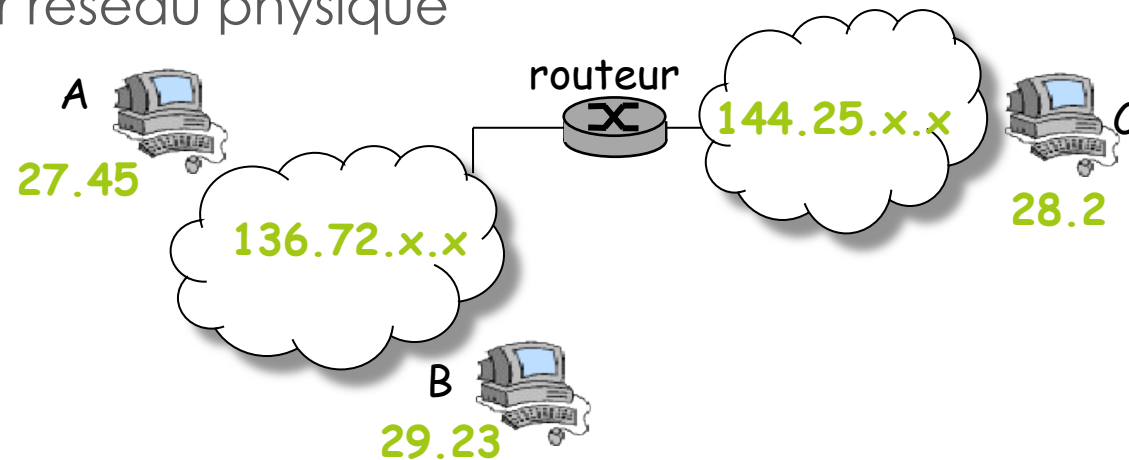
# Attribution des adresses



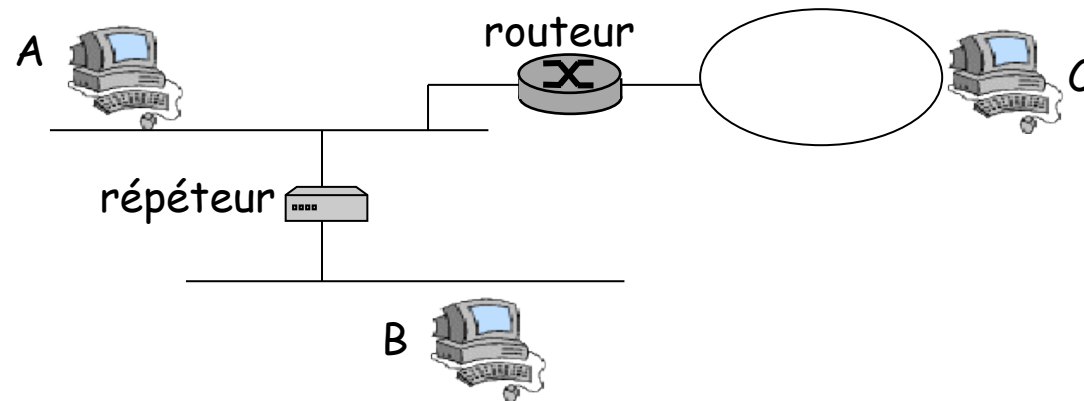
# Adressage réseau

■ un préfixe réseau par réseau physique

■ au niveau IP

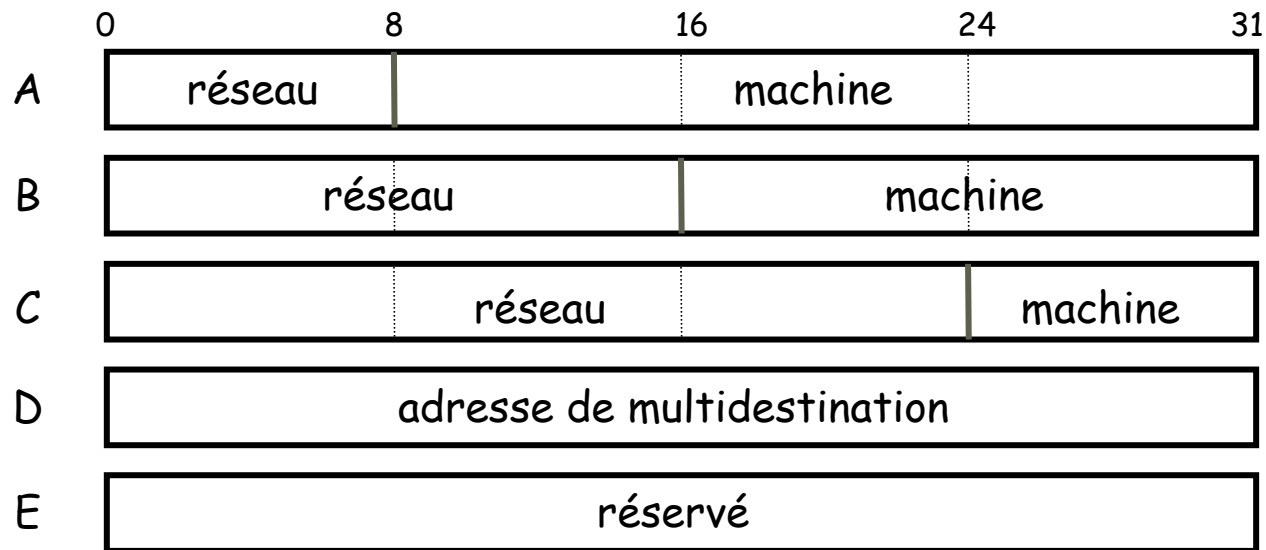


■ au niveau physique



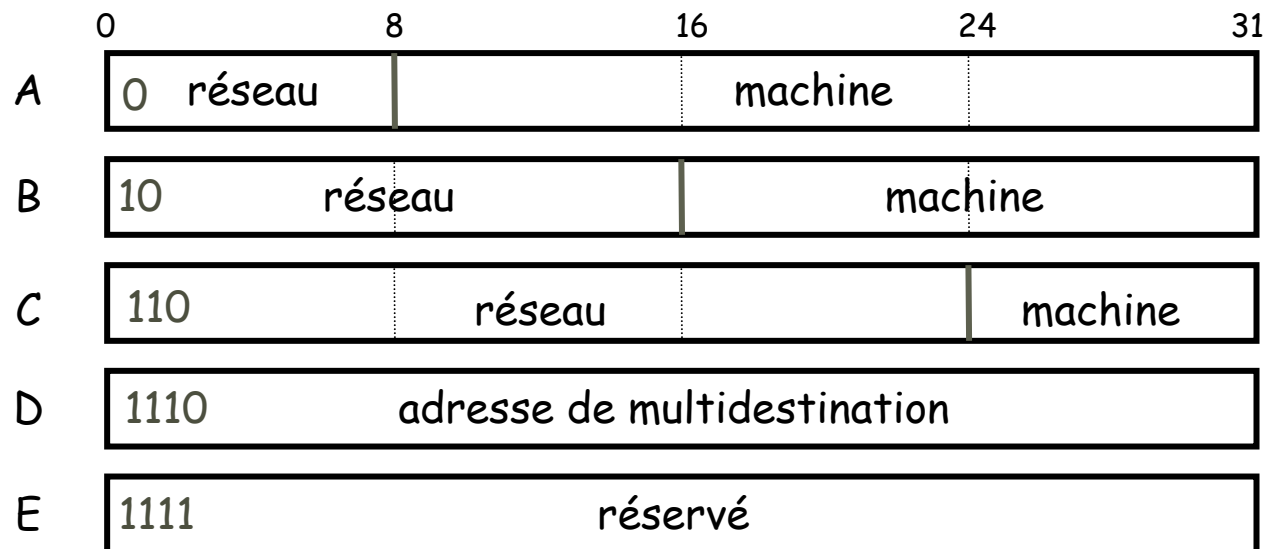
# Classes d'adresses

- le découpage <réseau> / <machine> n'est pas fixe
- 5 classes d'adresses



- comment reconnaître ces classes ?

# Classes d'adresses



# Classes d'adresses

- classe A : 27 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 : 214 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 : 221 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

# Les adresses particulières

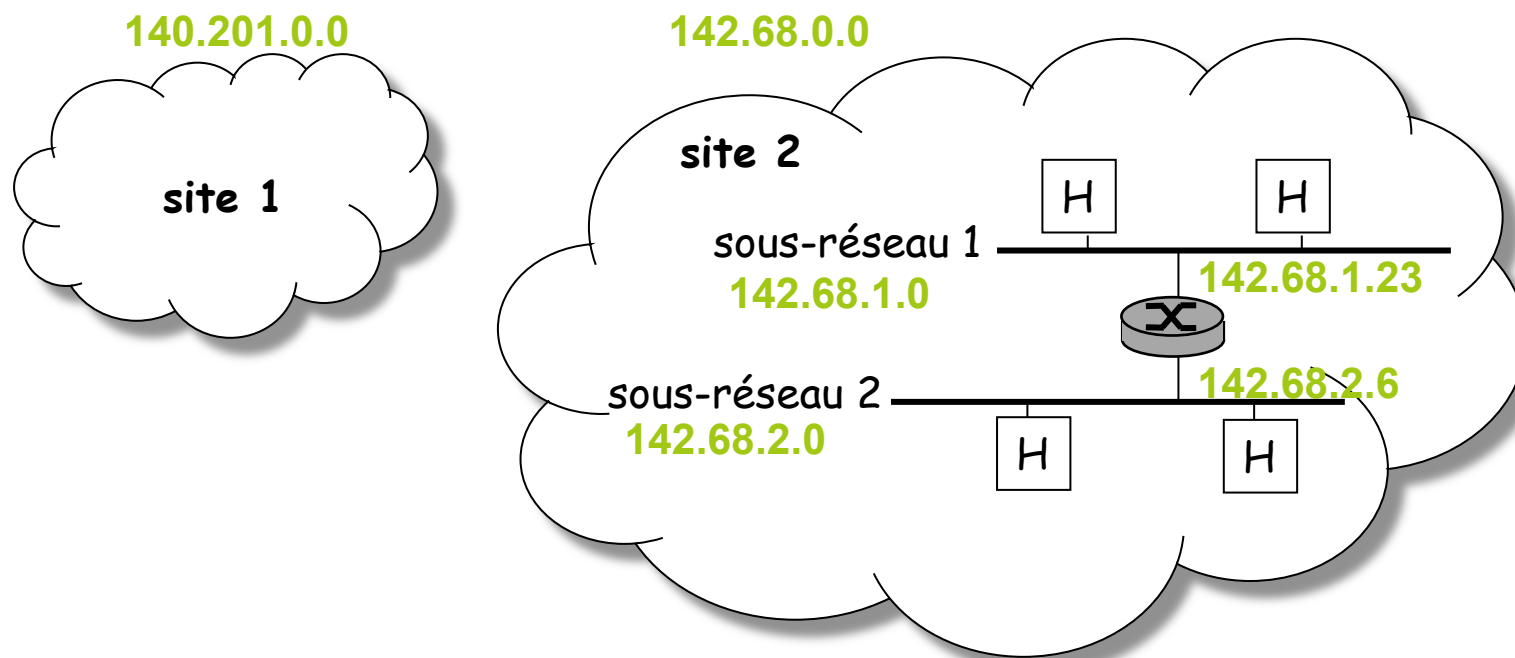
0	8	16	24	31	
Tout à zéro					désigne la machine courante
Tout à zéro		Host-id			machine Host-id sur le réseau courant
Tout à un					diffusion limitée sur le réseau courant
Net-id		Tout à un			diffusion dirigée sur le réseau Net-id
127	N'importe quoi (souvent 1)				boucle locale

- 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

# Subnetting

## ■ Problème

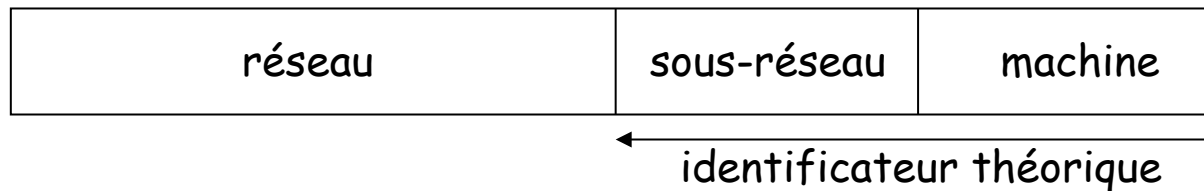
- distinction <réseau> / <hôte> insuffisante en pratique



# 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

classe	réseau	machine
interne au site	masque réseau	
	&&	
	réseau	ss-réseau machine

## ■ 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

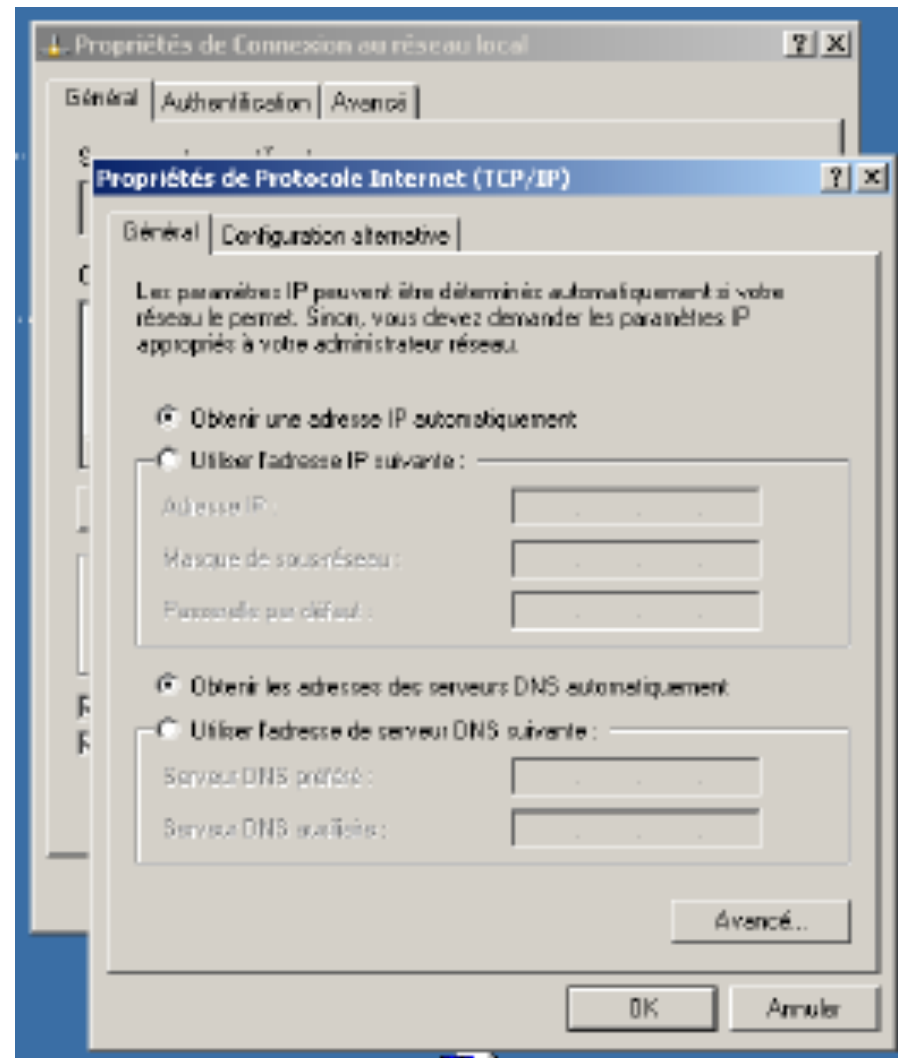
$$\begin{array}{rcl} & 10001110.01000100.00000010.00000110 & 142.68.2.6 \\ \&\& & 11111111.11111111.11111111.00000000 & 255.255.255.0 \\ \hline = & 10001110.01000100.00000010.00000000 & 142.68.2.0 \end{array}$$

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

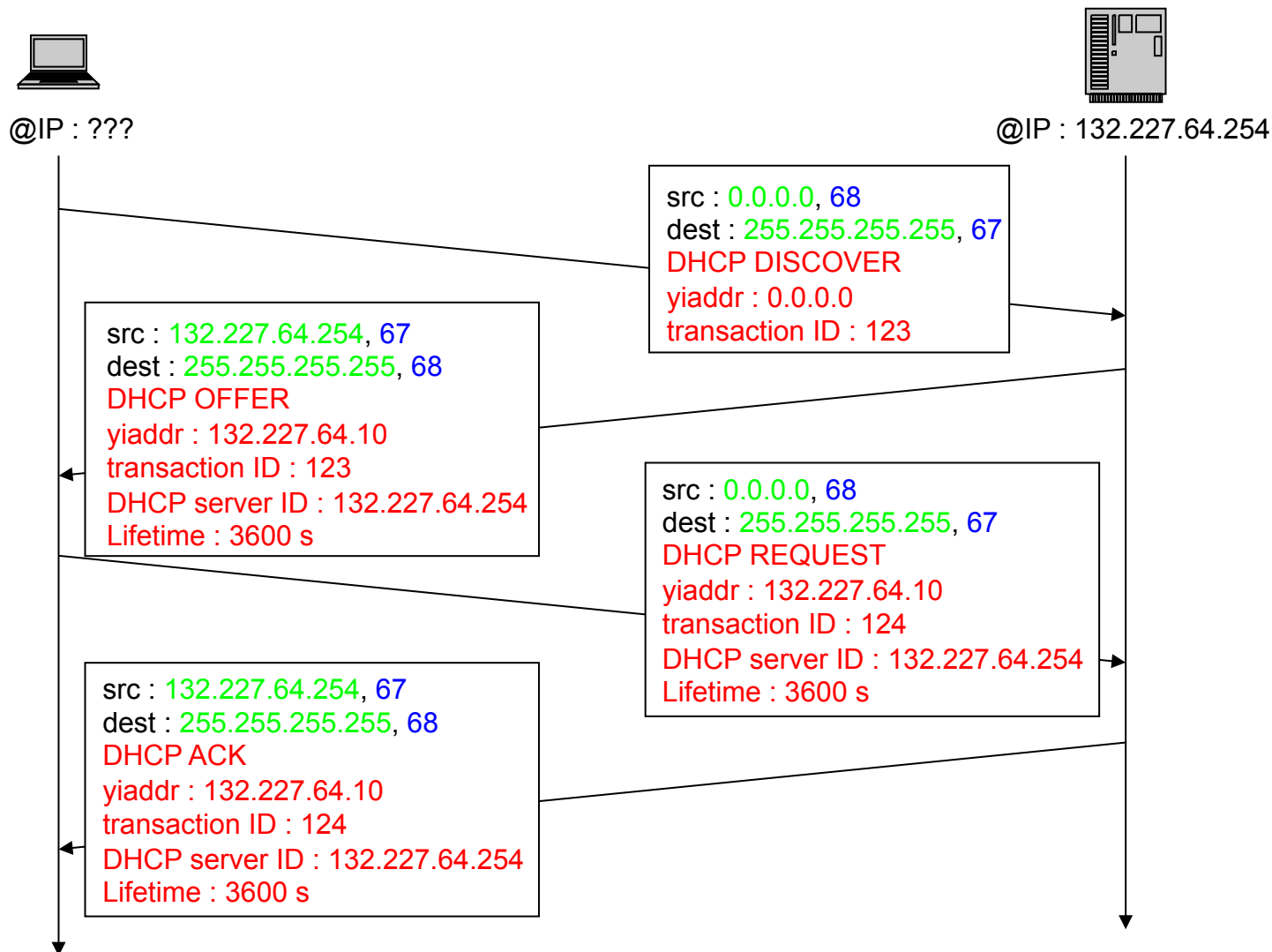
# Le masque de sous-réseau

- 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

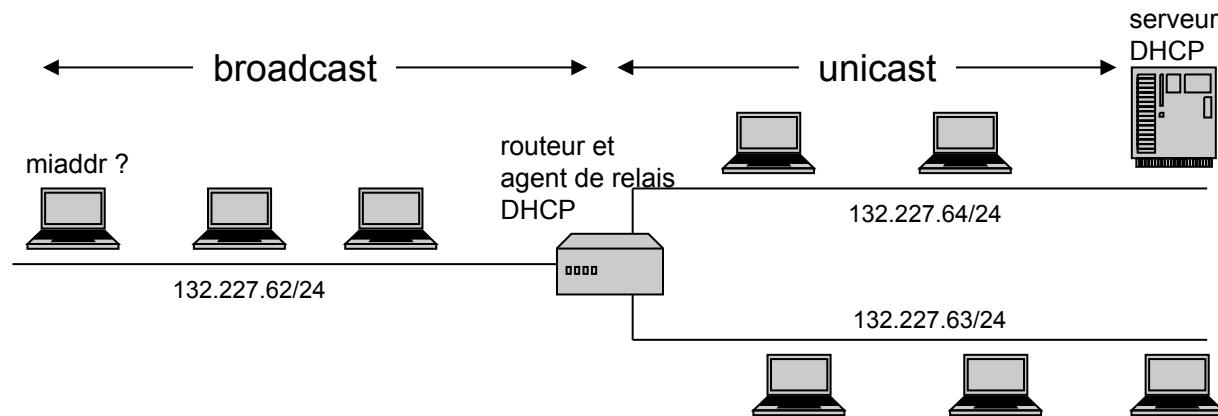
# Configuration sous Win...



# Adresse dynamique : DHCP



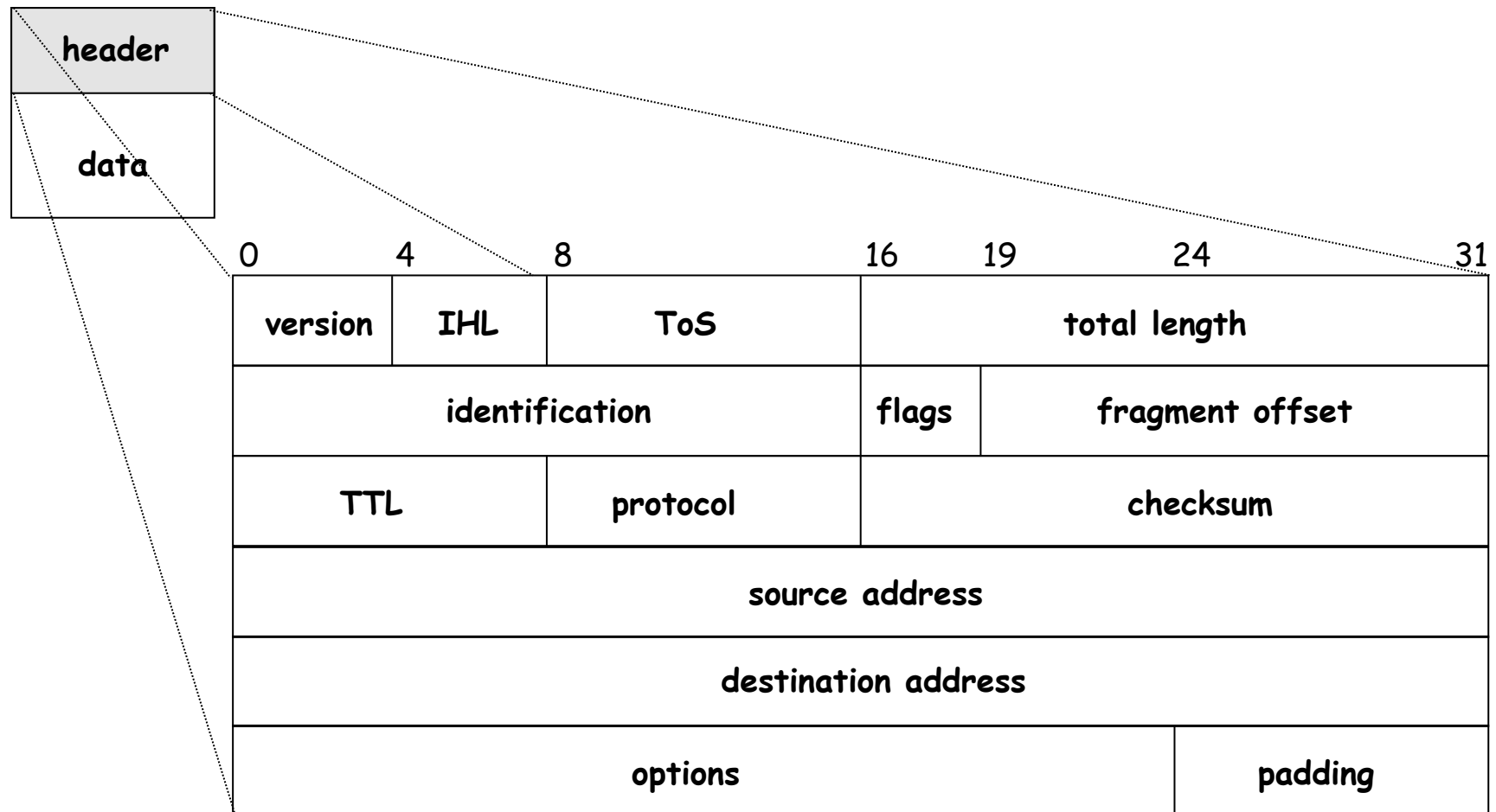
# Relais DHCP



# IP - Plan

- Interconnexion IP
- Relayage et routage IP
- Adressage et nommage
- Adressage IP
- Datagramme IP
- Fragmentation
- 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

- Interconnexion IP
- Relayage et routage IP
- Adressage et nommage
- Adressage IP
- Datagramme IP
- Fragmentation
- 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

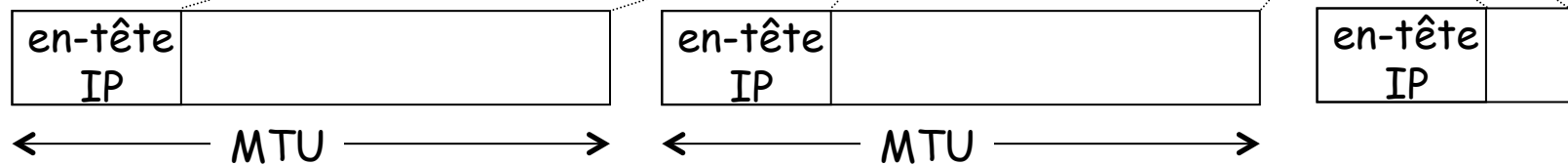
## ■ Principe

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

datagramme initial



fragments

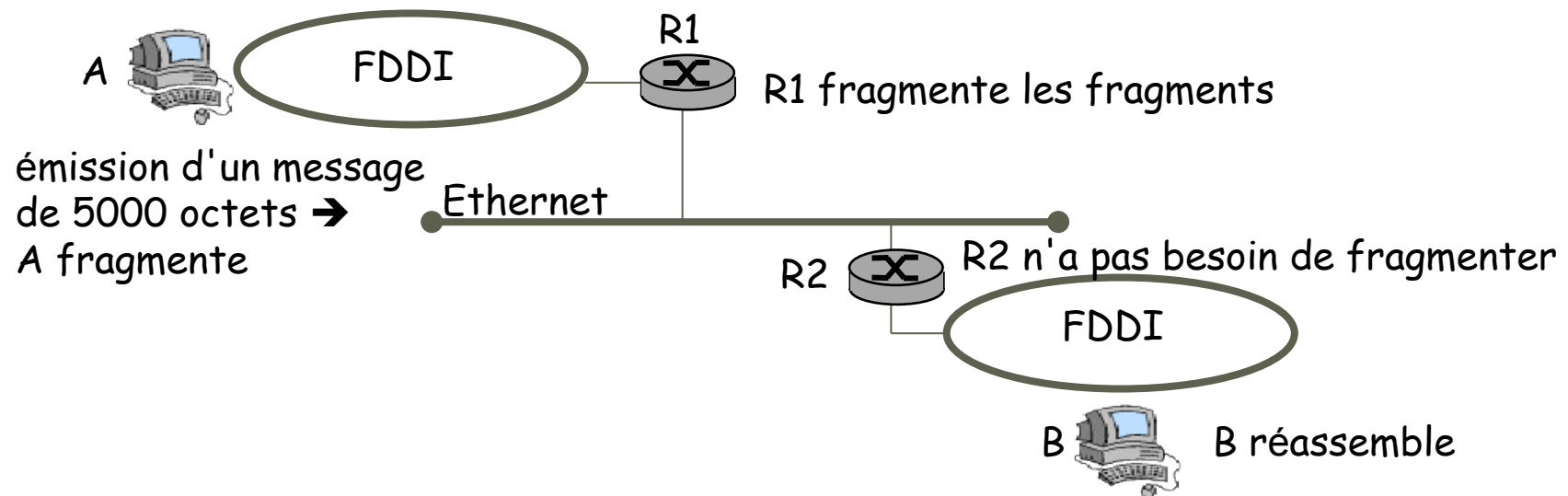


- réassemblage par le destinataire final

# Fragmentation et réassemblage

## ■ exemple

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



# IP - Plan

- Interconnexion IP
- Relayage et routage IP
- Adressage et nommage
- Adressage IP
- Datagramme IP
- Fragmentation
- ICMP

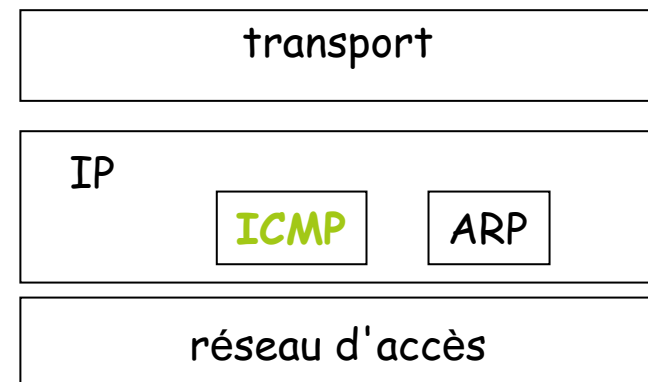
# Protocole de contrôle ICMP

## ■ Motivation

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

## ■ ICMP (Internet Control Message Protocol)

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



# 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.



## ■ Principe

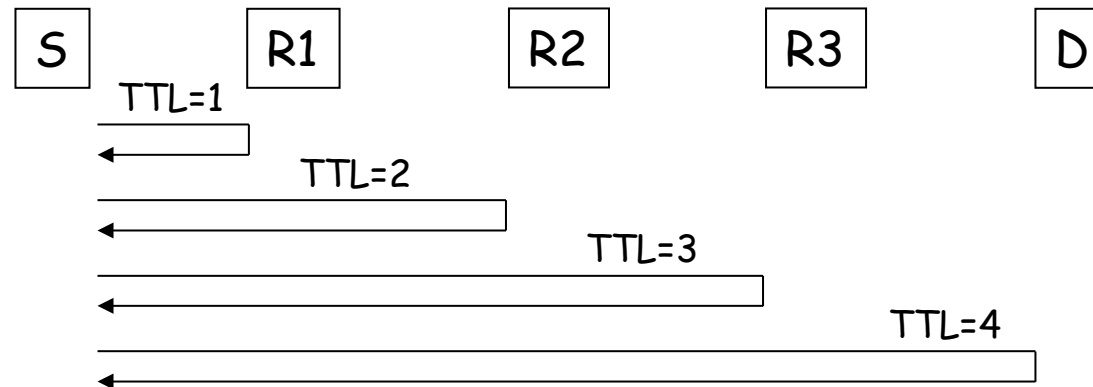
- exploite la fonction echo de ICMP
- un routeur ou un hôte recevant un echo request retourne un echo reply
- permet de
  - tester l'accessibilité d'une machine
  - obtenir des statistiques sur la qualité de la route

```
$ 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
```

# 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

# 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
```