

# Le protocole IP

©

(/home/kouna/d01/adp/bcousin/Fute/Cours/Internet/02-IP.fm- 15 Septembre 1998 09:30

## PLAN

- Introduction à IP
- L'acheminement
- L'adressage
- La segmentation
- Le datagramme
- L'acheminement (suite)
- Conclusion

**www.Mcours.com**  
Site N°1 des Cours et Exercices Email: [contact@mcours.com](mailto:contact@mcours.com)

# 1. Introduction au protocole Internet

## 1.1. Présentation

“Internet protocol“

- . Rfc 791
- . version 4 (septembre 1981)

Homogénéisation :

- hétérogénéité (des stations, de leur localisation, des méthodes d'accès, des topologies, etc...)
- transparence des données
- segmentation (fragmentation)
- performance

Interconnexion :

- adressage
- routage

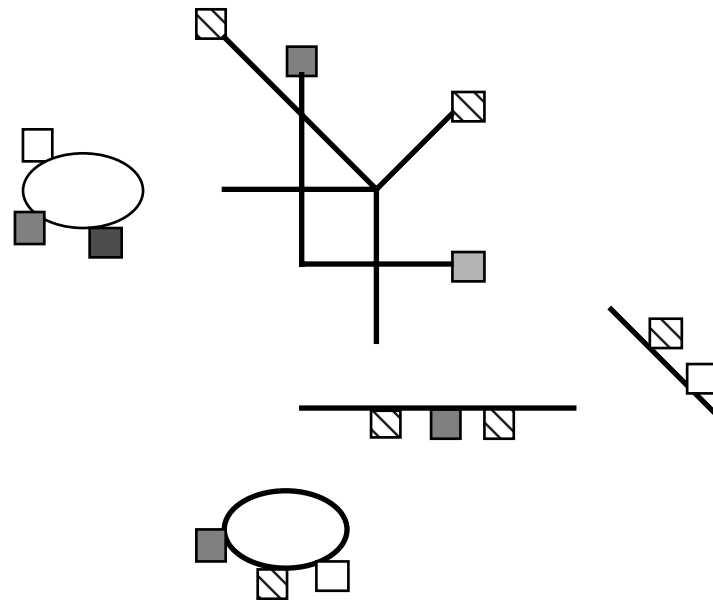
Transmission :

- par paquet ( $\Rightarrow$  “datagram”)
- en mode non connecté (sans contexte : simple mais sans mécanisme de contrôle!)

## 1.2. Les équipements

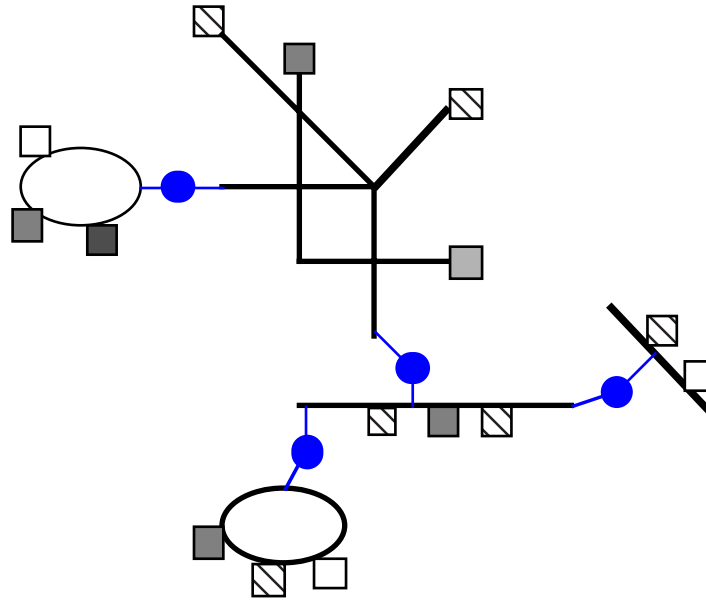
Des stations hétérogènes, 

sur des réseaux hétérogènes : Ethernet, FDDI, réseau ATM, etc...



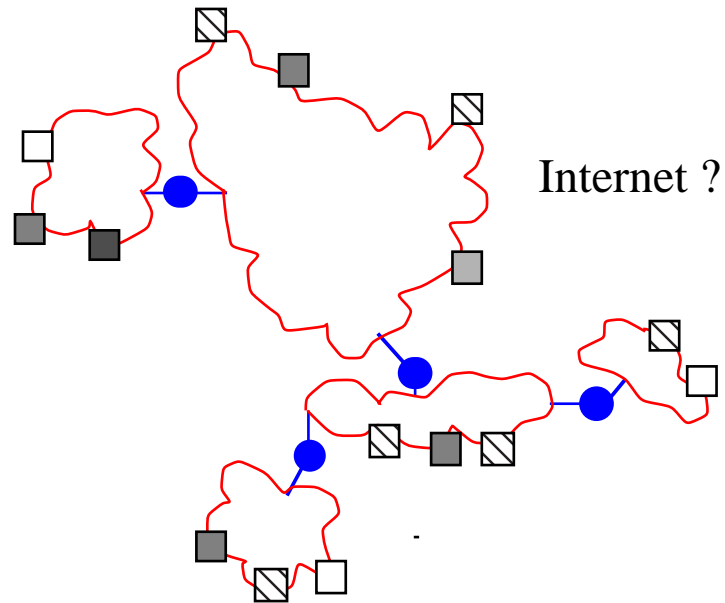
### 1.3. Les routeurs

Interconnexion grâce à des routeurs (équipements d'interconnexion) : —●—



## 1.4. L'hétérogénéité des sous-réseaux

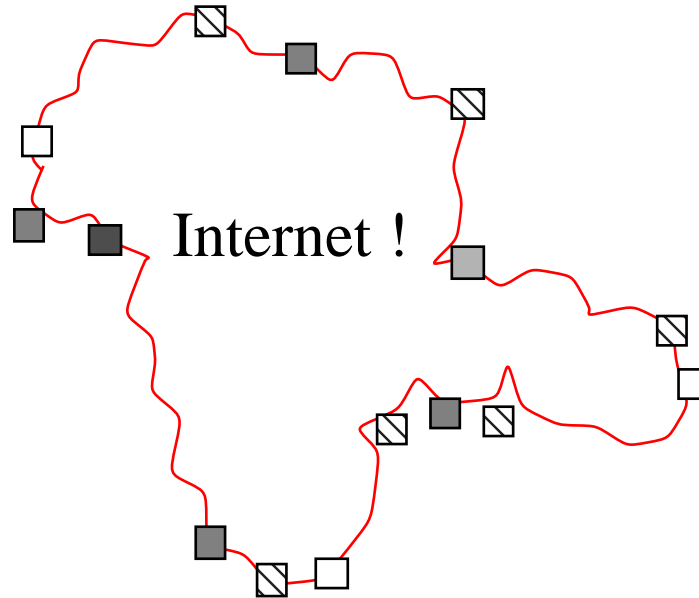
IP masque l'hétérogénéité des (sous-)réseaux :



[www.Mcours.com](http://www.Mcours.com)  
Site N°1 des Cours et Exercices Email: [contact@mcours.com](mailto:contact@mcours.com)

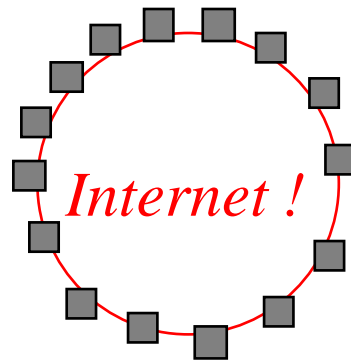
## 1.5. L'hétérogénéité de la localisation

IP masque les routeurs et les sous-réseaux :



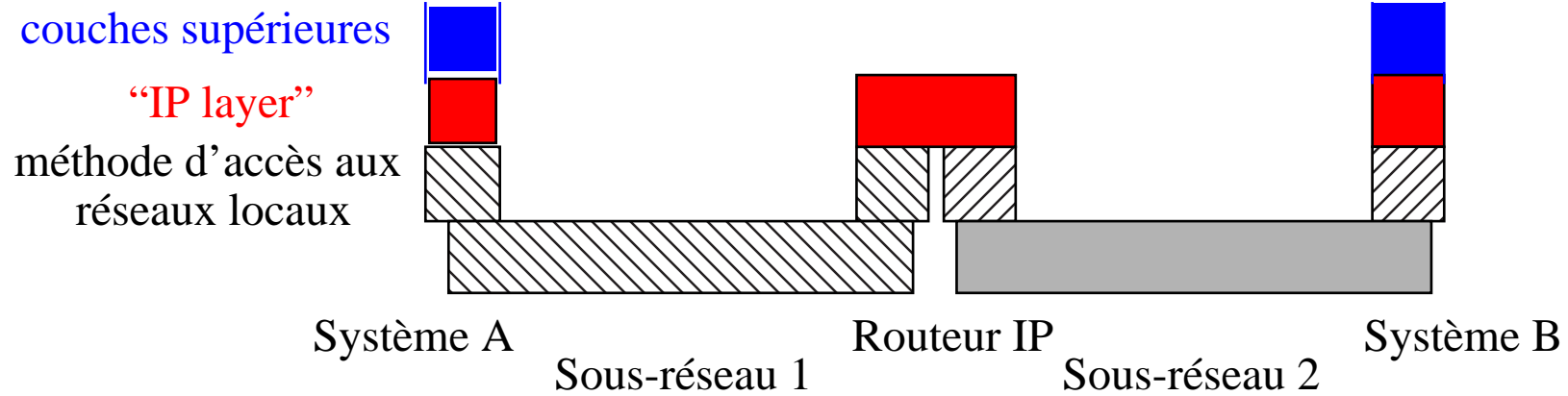
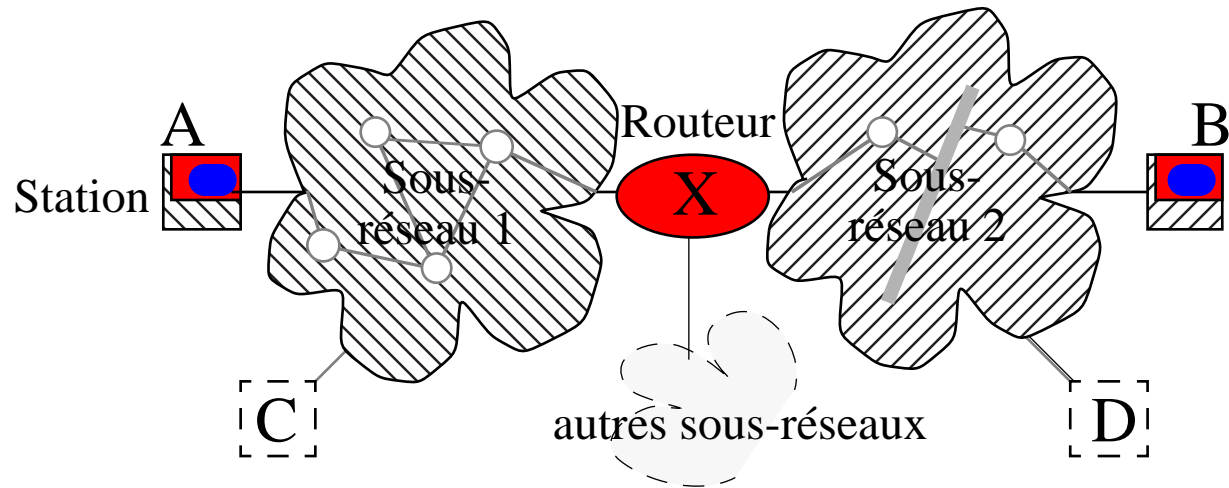
## 1.6. L'Internet idéal

IP masque la localisation et le type des stations,  
notamment grâce à l'adressage IP : 131.254.31.8.



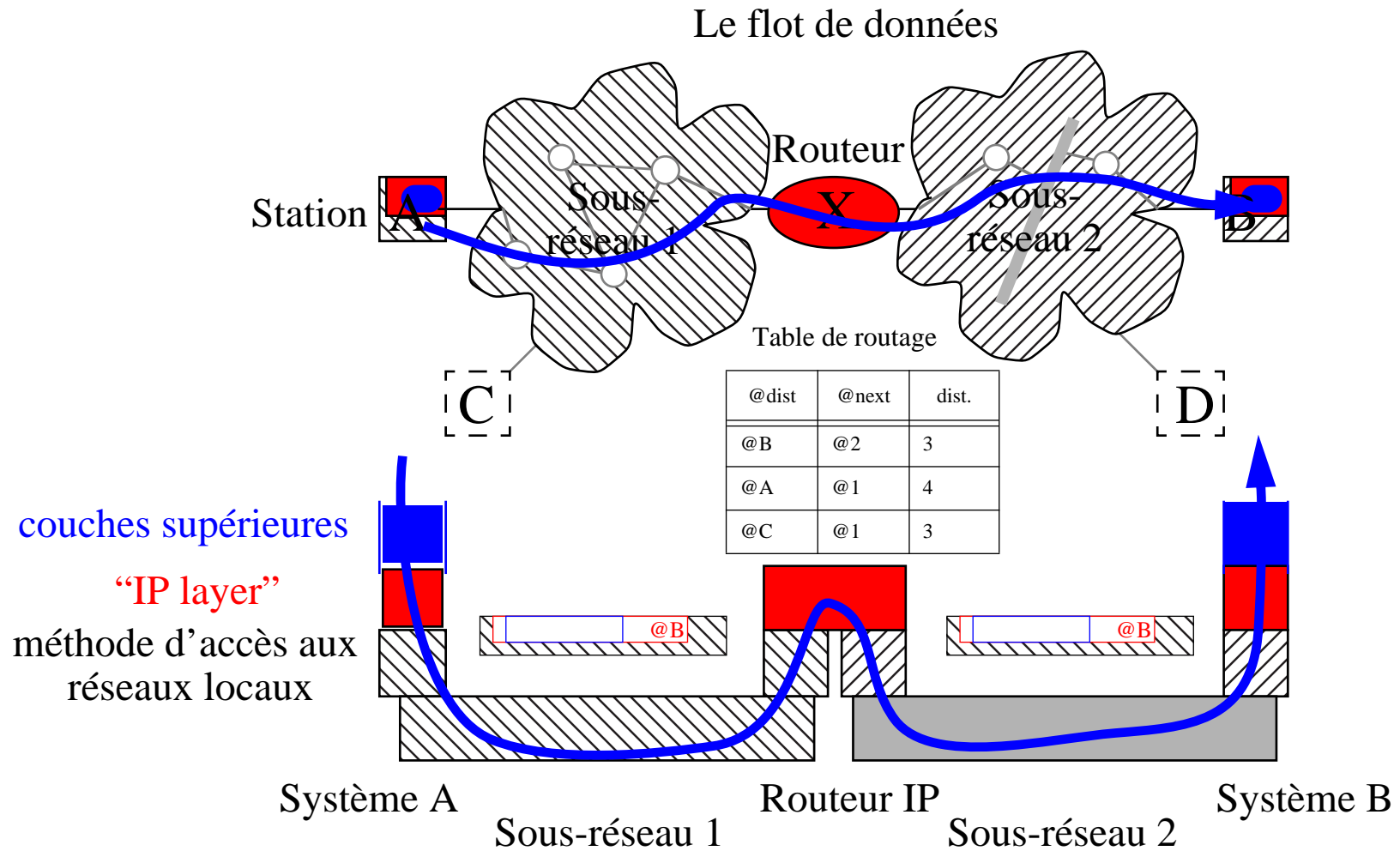
## 2. L'acheminement des datagrammes

### 2.1. Les acteurs



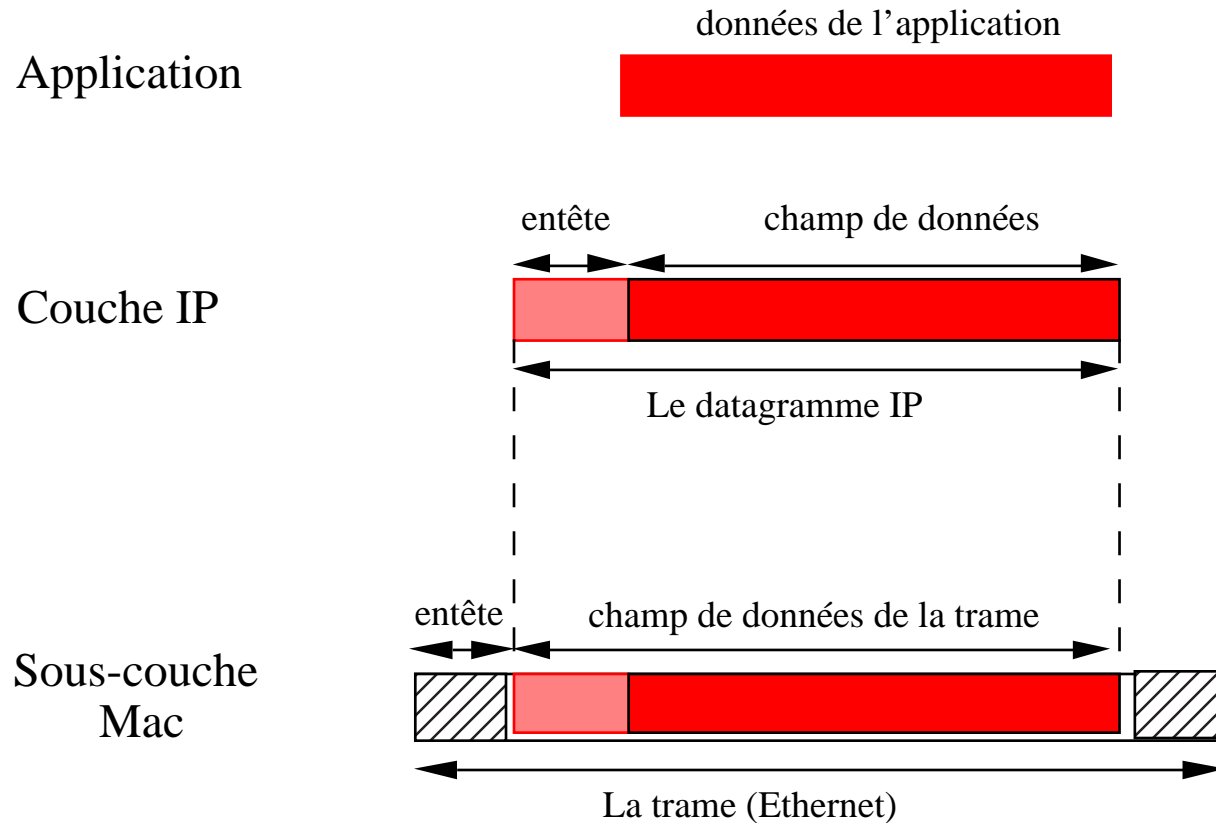


## 2.2. La table de routage



## 2.3. Le transport des datagrammes IP

Les datagrammes sont transportés dans les trames des réseaux sous-jacents



### 3. L'adressage d'Internet

#### 3.1. Les classes d'adresse

- . Hiérarchique :
  - identificateur du (sous-)réseau (**netid**)
  - identificateur de la station dans le (sous-)réseau (**hostid**)
- . Taille fixe (32bits)
- . 4 classes d'adressage (5!)

| Classe : |   | Nombre maximum<br>de sous-réseaux | Nombre maximum<br>de stations/sous-réseaux |
|----------|---|-----------------------------------|--|
| unicast  | A | $2^7$                             | $2^{24}$                                   |
|          | B | $2^{14}$                          | $2^{16}$                                   |
|          | C | $2^{21}$                          | $2^8$                                      |
|          | D |                                   |  |
|          | E |                                   |  |

| Classe : | Diagramme de bits  | Nombre maximum<br>de sous-réseaux | Nombre maximum<br>de stations/sous-réseaux |
|----------|--|-----------------------------------|--|
| A        | <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <span>31</span> <span>24 23</span> <span>16 15</span> <span>8 7</span> <span>0</span> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: flex; align-items: center;"> <span style="border-right: 1px solid red; padding-right: 5px; color: red;">0</span> <span style="border-right: 1px solid red; padding-right: 20px; color: red;">netid</span> <span style="padding-left: 20px; color: blue;">hostid</span> </div> | $2^7$                             | $2^{24}$                                   |
| B        | <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: flex; align-items: center;"> <span style="border-right: 1px solid red; padding-right: 5px; color: red;">10</span> <span style="border-right: 1px solid red; padding-right: 20px; color: red;">netid</span> <span style="padding-left: 20px; color: blue;">hostid</span> </div>  | $2^{14}$                          | $2^{16}$                                   |
| C        | <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: flex; align-items: center;"> <span style="border-right: 1px solid red; padding-right: 5px; color: red;">110</span> <span style="border-right: 1px solid red; padding-right: 20px; color: red;">netid</span> <span style="padding-left: 20px; color: blue;">hostid</span> </div>   | $2^{21}$                          | $2^8$                                      |
| D        | <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: flex; align-items: center;"> <span style="border-right: 1px solid blue; padding-right: 5px; color: blue;">1110</span> <span style="padding-left: 20px; color: gray;">multicast</span> </div>  |                                   |  |
| E        | <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: flex; align-items: center;"> <span style="border-right: 1px solid blue; padding-right: 5px; color: blue;">11110</span> <span style="padding-left: 20px; color: gray;">réservé</span> </div>   |                                   |  |

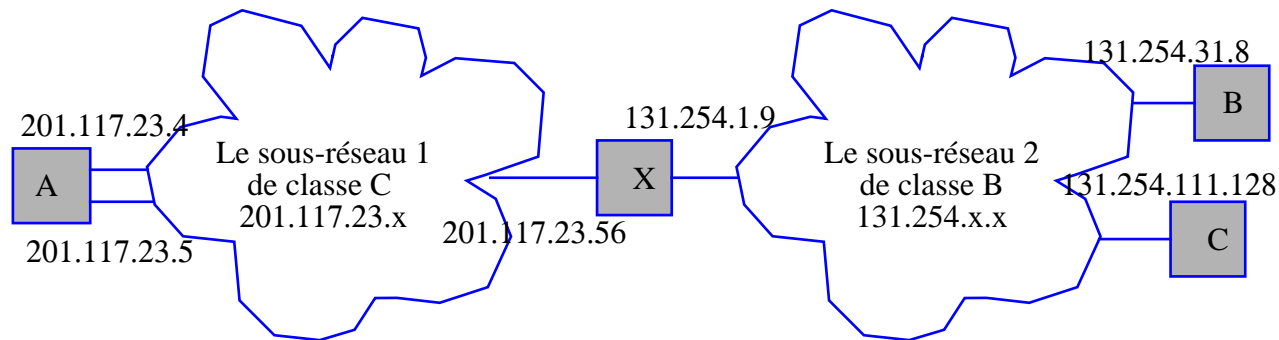
### 3.2. La notation des adresses sous Internet

Notation décimale pointée (dotted decimal) :  $D_1.D_2.D_3.D_4$   
 par exemple : h2s.irisa.fr = 131.254.31.8

- $D_1 < 128 \Rightarrow$  classe d'adresse A
- $128 \leq D_1 < 192 \Rightarrow$  classe d'adresse B
- $192 \leq D_1 < 224 \Rightarrow$  classe d'adresse C




Attribution des adresses :

- . Une station doit avoir au moins une adresse unicast.
- . Une station peut avoir autant d'adresses (plusieurs!) que de connexions à un ou plusieurs (sous-)réseaux ( $\Rightarrow$  l'adresse identifie la connexion et pas la station !!!).
- . Toutes les stations connectées à un même (sous-)réseau appartiennent à la même classe d'adressage et ont le même **netid**.




### 3.3. Quelques adresses particulières

Diffusion : “11...11”

- . diffusion vers toutes les stations du sous-réseau local : 255.255.255.255
- . diffusion vers toutes les stations du sous-réseau distant :  
D1.D1'.D1".255 ou D2.D2'.255.255 ou D3.255.255.255
- .  pas d'utilisation en tant qu'adresse source
- .  très coûteux si le sous-réseau n'offre pas de diffusion naturelle
- .  utilisé pour l'apprentissage (auto-configuration)

Celle-ci : “00...00”

- . cette station : 0.0.0.0
- . la station dans le sous-réseau local :  
0.0.0.X1 ou 0.0.X2.X2' ou 0.X3.X3'.X3"
- .  pas d'utilisation en tant qu'adresse de destination

Test : 127

- . rebouclage logiciel (loopback)  
127.127.127.X1 ou 127.127.X2.X2' ou 127.X3.X3'.X3"
- . écho local des datagrammes : la station reçoit ce qu'elle a émis

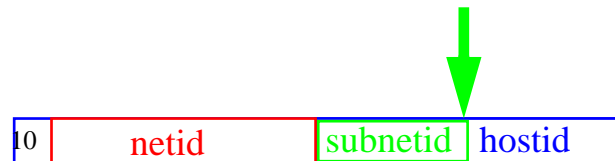
### 3.4. Le “Subnetting”

#### Un niveau d’adressage supplémentaire

- . RFC 1009
- . Les adresses de classe B (et A) peuvent ne pas utiliser pleinement leur champ hostID :  $\text{nb\_host} \ll 2^{16}$  (ou  $2^{24}$ ).
- . Les administrateurs d'un domaine d'adressage voudraient l'organiser en sous-domaines d'adressage.
- . Cette structuration peut faciliter le routage interne :
  - chaque routeur ne s'occupant que des paquets de son sous-domaine.
  - les tables de routage sont plus courtes.

Chaque station est munie d'un “subnet mask”.

- . indique la frontière entre subnetid et hostid.
- . ex. 0x 11111111 11111111 111111 0 00000000



☞ commande: `(/usr/etc/)ifconfig -a`  
 fichier : `/etc/netmasks`

### 3.5. Le CIDR

#### Agrégation d'adresses

- . Classless Interdomain Routing
- . RFC 1467
- . Prévention de l'augmentation de la taille des tables de routage :
  - Il peut y avoir  $2^{24}$  sous-réseaux IP de classe C !
- . Certains organismes peuvent avoir (besoin) de plusieurs sous-réseaux de classe C :
- . Caractéristiques :
  - des intervalles contigus d'adresses sont affectés suivant des critères géographiques (en frontière de bits et non plus d'octets).
  - exemple : Europe C\_class\_address = [194.0.0.0, 195.255.255.255]
- . Chaque routeur route un paquet vers le prochain routeur en fonction du “longest match” entre l'adresse de destination du paquet et les différentes adresses connues par le routeur.
  - chaque routeur hors d'Europe route tous les paquets dont la destination est dans cet intervalle vers un point d'accès européen en s'apercevant que les 7 premiers de l'adresse de destination correspondent à une des entrées de la table de routage, et que c'est le plus long préfixe commun.
- . Classless :
  - la fonction de routage est effectuée sur la totalité de l'adresse,
  - et non plus sur le “netid” dont le format dépend de la classe.



### 3.6. Les adresses multicast

Adresse de classe D.

Adresse qui **identifie un groupe** (de stations).

Utilisation illégale en tant qu'adresse source.

Toute station doit avoir au moins une adresse unicast (classe A, B, C), mais une station peut avoir autant d'adresses multicasts qu'elle désire :

- . elle reçoit alors tous les datagrammes qui sont adressés à ce groupe,
- . les règles d'appartenance à un groupe ne sont pas définies, toutefois
- . Il existe un protocole de niveau supérieur qui permet de contrôler l'attribution des adresses multicast (IGMP : Internet group management protocol).

Pour émettre un datagramme multicast une station n'a pas besoin d'appartenir au groupe.

Actuellement, la plupart des routeurs Internet ne routent pas les datagrammes multicast, un réseau "virtuel" spécifique existe : le **mbone**.

Adresses particulières :

224.0.0.1 : toutes les stations appartenant à un groupe quelconque

224.0.0.2 : tous les routeurs appartenant à ce sous-réseau

224.0.0.9 : tous les routeurs RIP-2 appartenant à ce sous-réseau

224.G.G'.G" : toutes les stations appartenant au groupe G.G'.G"



### 3.7. Comparaison des adressages

Adressage **IP** :

- . 32 bits,
- . structuré : netid + hostid

Adressage **IEEE 802** :

- . 16 ou 48 bits,
- . homogène

Adressage **HDLC** :

- . 1 bit ?! : commande/réponse

Adressage **X25.3** :

- . longueur variable,
- . circuit virtuel (n° de voie logique) versus adresse,
- . adresse **E164** : 10-13 octets (chiffres)
- . structuration géographique : pays + région + localité

## 4. Segmentation

### 4.1. Présentation

#### Problème :

Adaptation de la taille des unités de données à transmettre à la taille des unités de transport.

. L'utilisateur veut être capable de transmettre des unités de données de taille quelconque.

. Les (sous-)réseaux offrent des unités de données de taille limitée :

- Ethernet <1500 octets
- FDDI <4500 octets
- X25.3 <=128 octets (par défaut)
- ATM = 48 octets (sans la sous-couche AAL)

#### Solution :

. A **l'émetteur** :

- découper l'unité de données à transmettre en segments de taille adaptée aux unités de transport (segmentation).

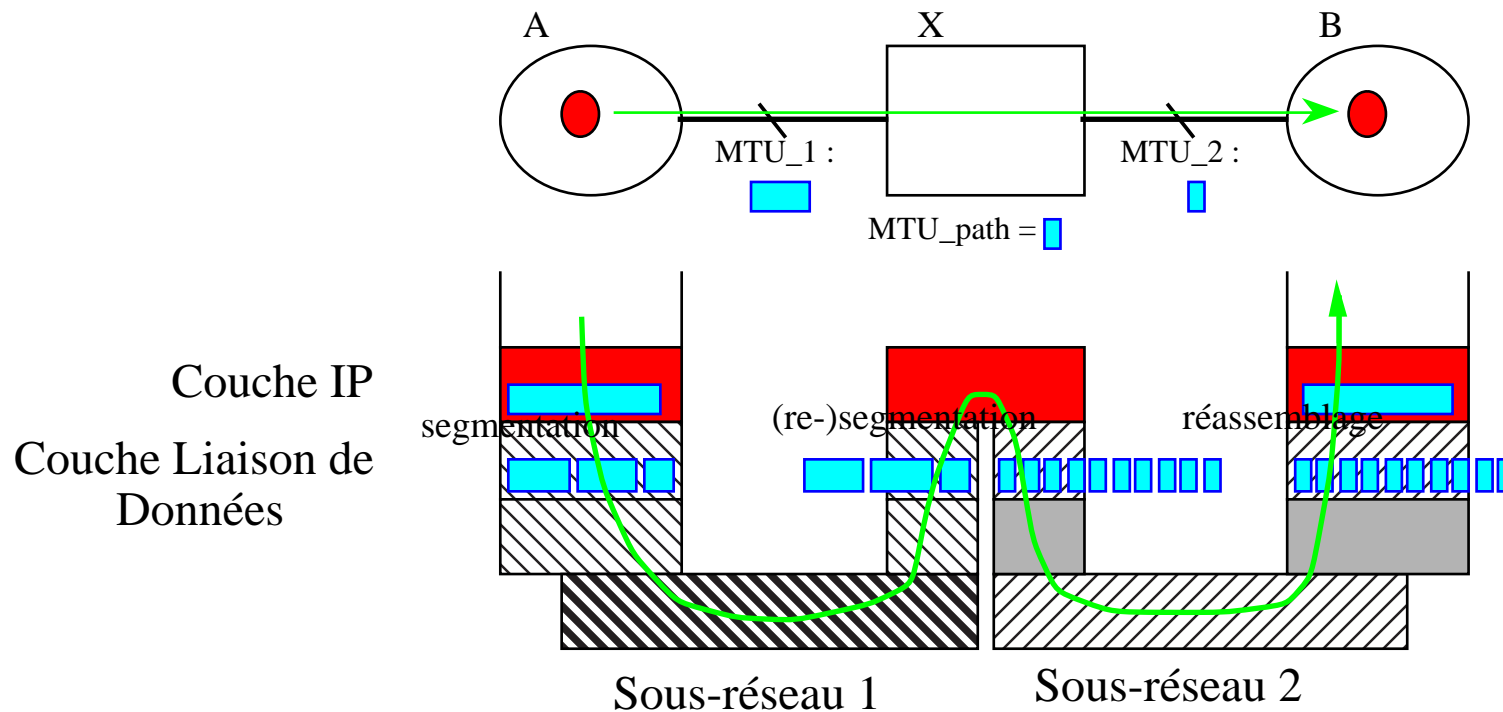
. Au **récepteur** :

- reconstituer l'unité de données initiale (réassemblage).

. Aux **routeurs** :

- si les sous-réseaux successifs comportent des unités de données de transport de tailles inférieures : (re-)segmentation.

## 4.2. Exemple



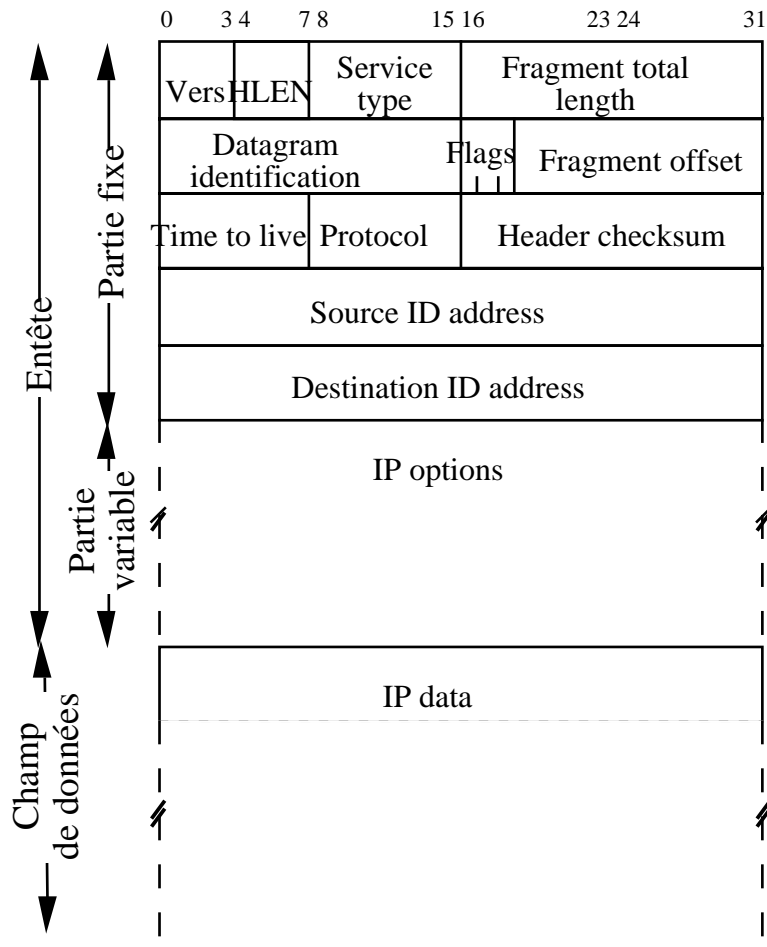
**MTU** : Maximum Transfer Unit

. longueur maximum du datagramme IP pour qu'il puisse être transmis sans segmentation sur la liaison sous-jacente

. MTU path : le MTU minimum pour l'ensemble des liaisons d'un chemin

## 5. Le datagramme IP

### 5.1. Le format du datagramme IP



Les paquets de données d'IP ont pour nom **datagram**(me) :

⇒ télégramme : sans connexion

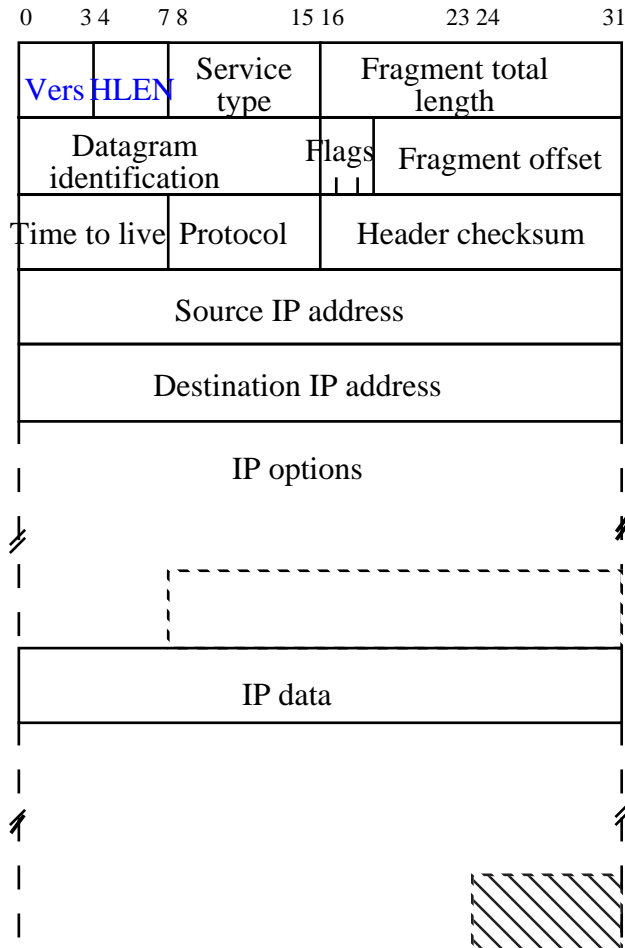
Alignement sur des mots de 32 bits pour optimiser la vitesse de traitement.

La taille maximum d'un datagramme est de 64 Koctets ( $2^{16}$ ).

Structure d'un datagramme :

- Une entête :
  - . une partie de taille fixe,
  - . une partie de taille variable (les options),
- Un champ de données :
  - . de longueur variable.

## 5.2. Les champs Vers et HLEN du datagramme IP



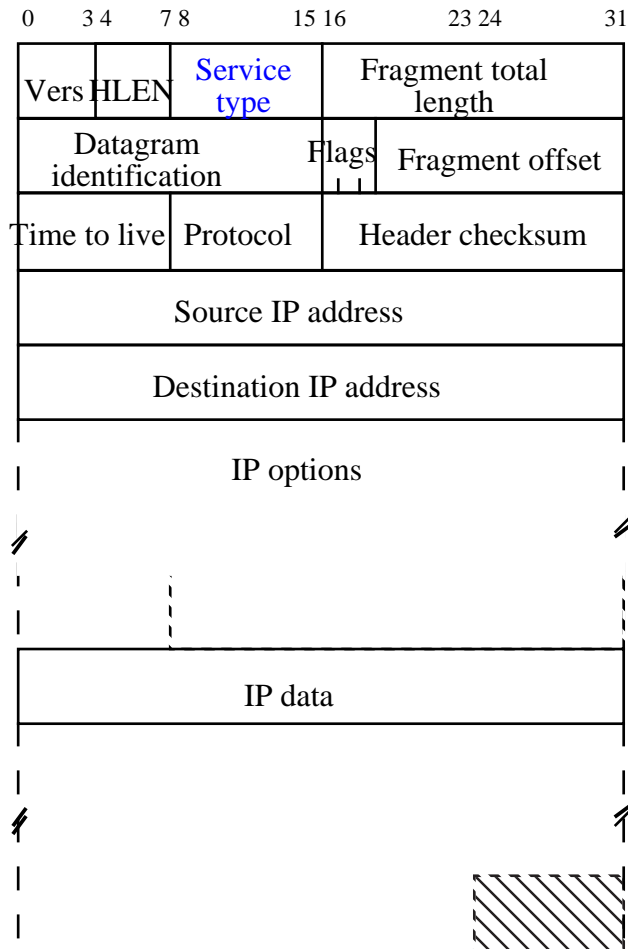
**Vers** : version du protocole.

- . Version courante : 4 (septembre 1981)
- . Version nouvelle IPv6 : 6! (décembre 95)
- . Un même réseau peut accueillir différentes versions de protocole : les récepteurs écartent les datagrammes qu'ils ne peuvent pas décoder.

**HLEN** : “Header length”

- . Longueur de l'entête, (en mots de 4 octets) les options IP (de longueurs variables) comprises.
- . Au minimum, HLEN = 5 lorsqu'il n'y a pas d'options (longueur de la partie fixe de l'entête).

### 5.3. Les champs du datagramme IP : Type of Service



**Service type** (ToS : Type of service) :

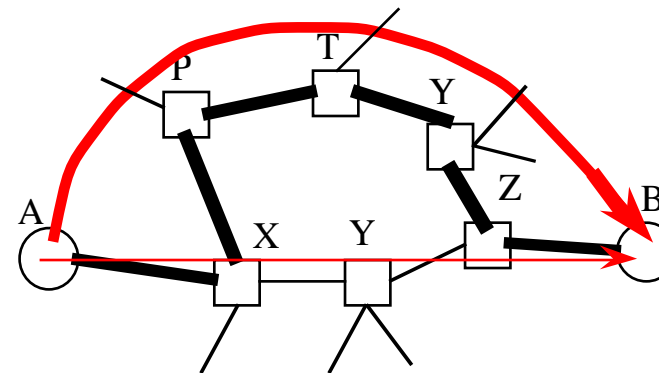
. Qualifie le service de transmission demandé.

. Utilisé pour optimiser l'algorithme de routage :

- Priorités entre les différents types de flux de données.
- Critères de choix lors du routage entre des chemins alternatifs.

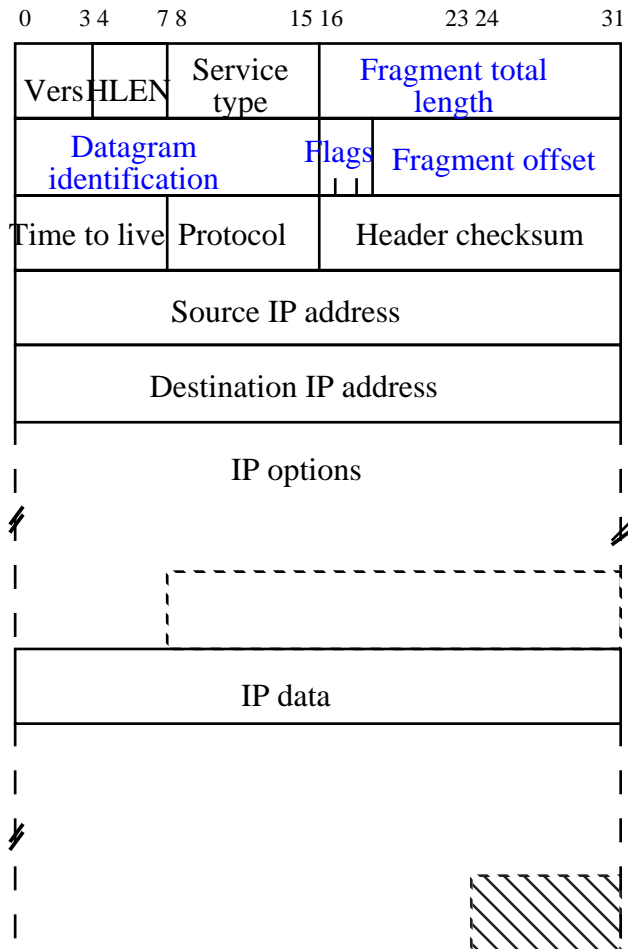
PRE : "precedence" = 0 ⇒ 7  
normale haute priorité

D : delay  
T : throughput  
R : reliability  
C : cost



## 5.4. La fragmentation

### 5.4.1 Les champs du datagramme IP pour la fragmentation



**Fragment total length** : longueur totale du fragment (et pas du datagramme !) en octets (< 64koctet).

**Datagram identification** : Identification unique du datagramme et de tous ses fragments.

**Flags** :

- . “do not fragment bit” : segmentation interdite  
 ⇒ MTU discovery (maximum transfer unit)
- . “more fragment bit” : dernier fragment d'un datagramme.

**Fragment offset** : déplacement relatif des fragments par rapport au début du datagramme (en unité de 8 octets).

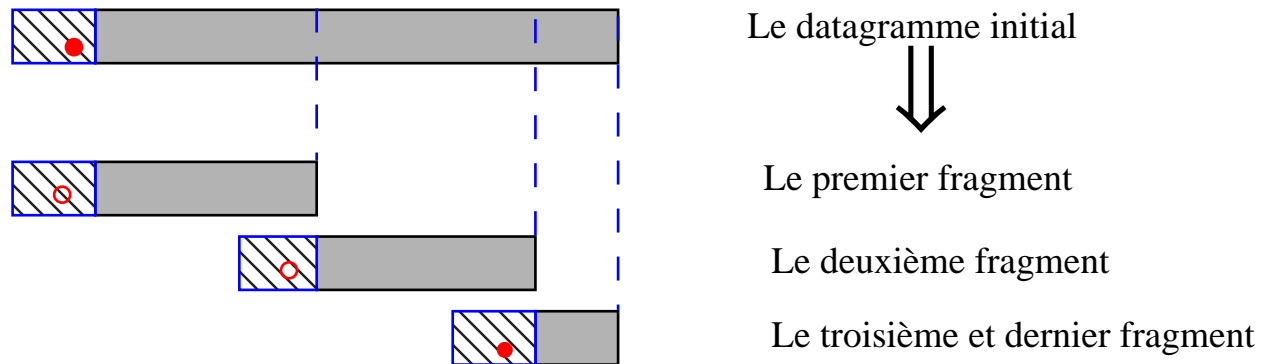
## 5.4.2 Le réassemblage du datagramme

### Constitution des fragments :

. Les entêtes des fragments comportent les mêmes champs et ont mêmes contenus que ceux du datagramme dont ils proviennent :

- même identification de datagramme, même type de service, même TTL, même protocole, mêmes adresses.

- sauf pour les champs de longueur, le bit “More fragment” et le “Header checksum” !



### Réassemblage des fragments :

. Calcul de la taille totale du champ de données du datagramme :

$\text{offset}(\text{du\_dernier\_fragment}) * 8 + \text{longueur\_totale}(\text{du\_dernier\_fragment})$

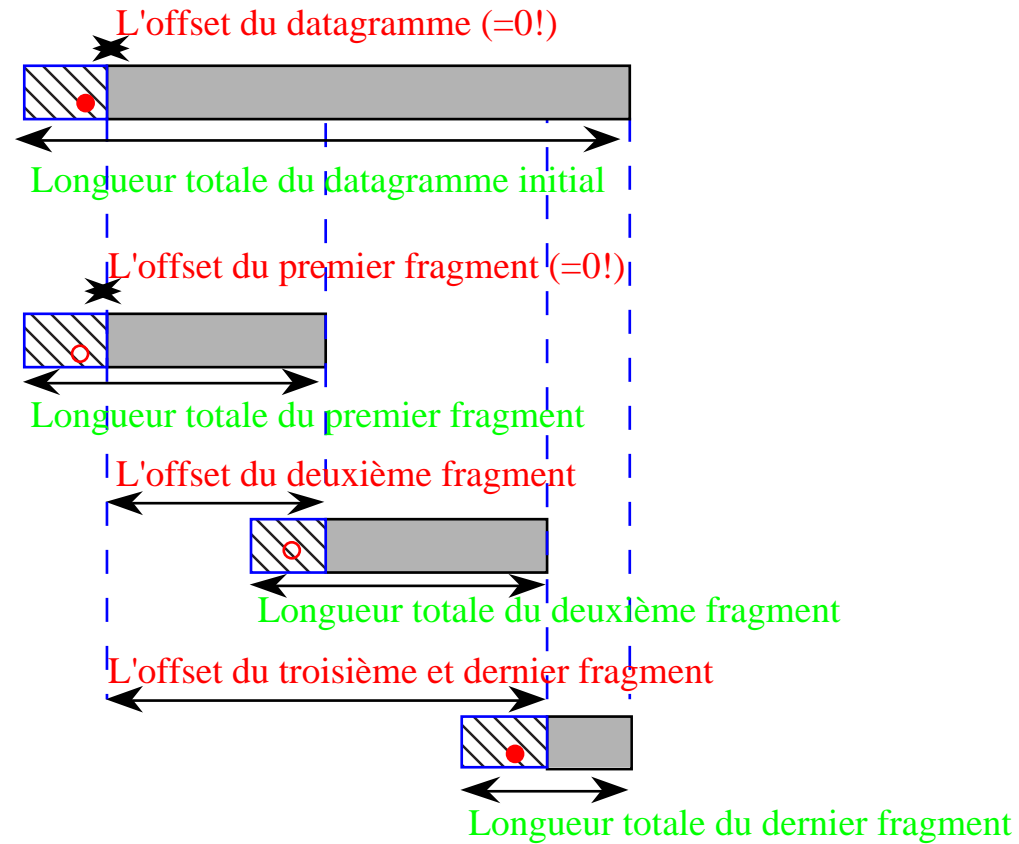
-  $\text{longueur\_de\_l\_entête}(\text{du\_dernier\_fragment}) * 4$ .

. Calcul et vérification que tous les fragments sont présents.

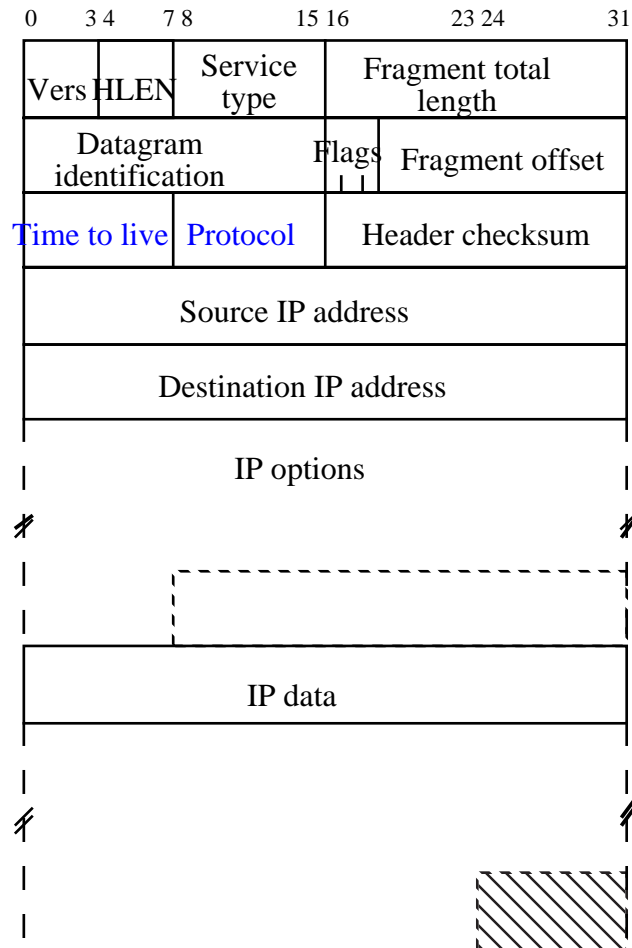
. Reconstitution du champ de données du datagramme.



### 5.4.3 Offset et longueur



## 5.5. Les champs du datagramme IP : TTL et Protocol



**Time to live** : durée de vie résiduelle du fragment (en nombre de “hops” ou de secondes de résidence).

- . valeur initialisée par l'émetteur.
- . décrémentée par chaque routeur et le récepteur,
- . si TTL=0 alors le datagramme est détruit,  
⇒ on retourne à l'émetteur un message ICMP

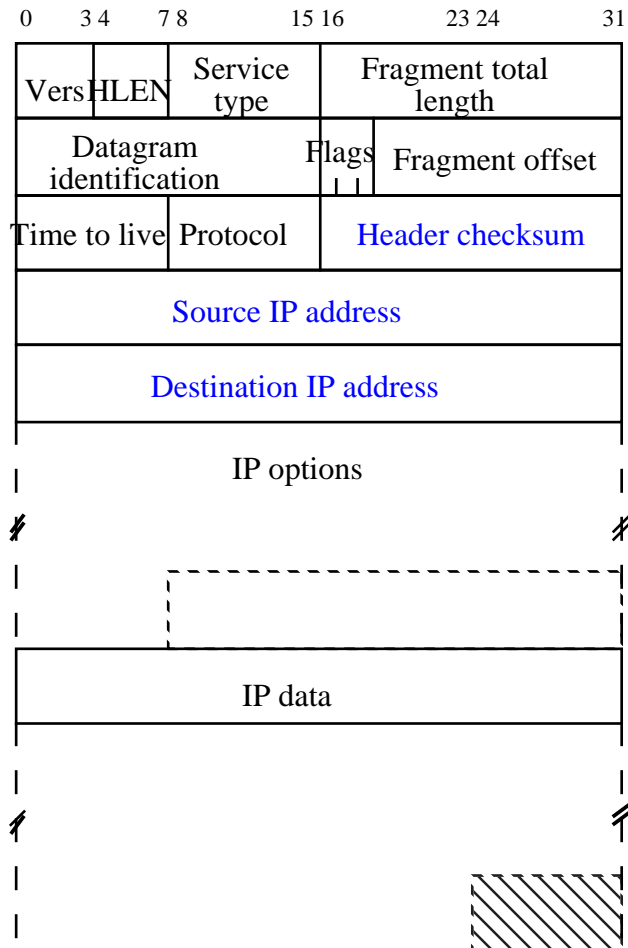
Fonction :

- . limitation de l'étendue de diffusion des paquets (“scope”)
- . suppression des trames fantômes.
- . limite la durée d'attente des fragments.

**Protocol** : identification du protocole chargé d'exploiter (décoder) le champ de données.

- . UDP = 17
- . TCP = 6
- . ICMP = 1
- . IP = 4 (IP in IP, par ex : mbone)
- . ⇒ RFC 1700

## 5.6. Les champs du datagramme IP : Checksum et address



**Header checksum** : Addition en complément à 1 des demi-mots (16 bits) constituant l'entête du fragment.

- . peu et calcul facile
- . capacité de détection faible

**Source IP address** : identifie la station émettrice.

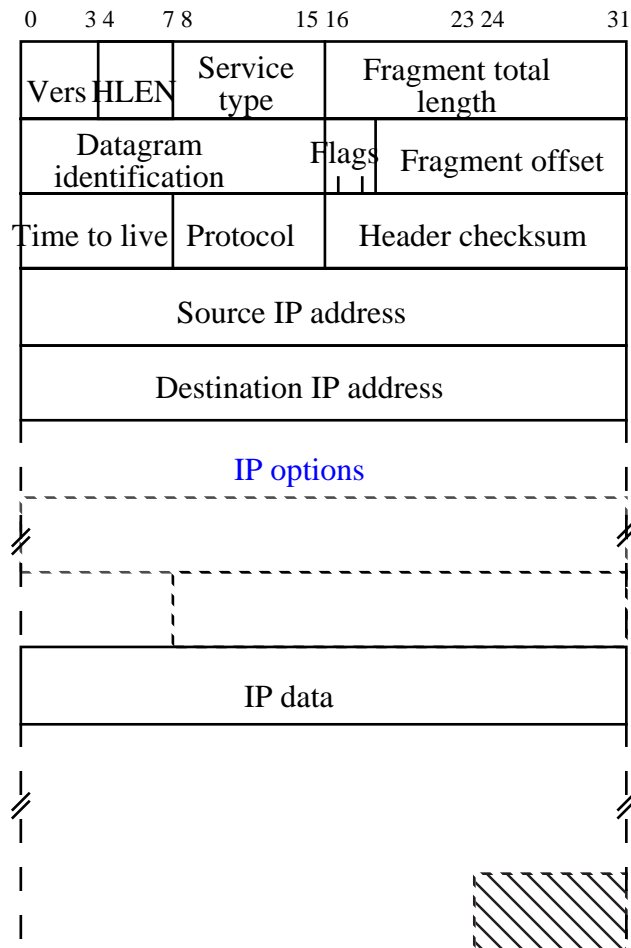
- . retour à l'envoyeur (message ICMP).

**Destination IP address** : identifie le récepteur (ou le groupe).

- . permet l'acheminement jusqu'au(x) destinataire(s).

## 5.7. La partie variable de l'entête du datagramme

### 5.7.1 Le champ des options du datagramme IP



#### Partie variable de l'entête

. limitée à 40 octets

Leur traitement ralentit le routage :

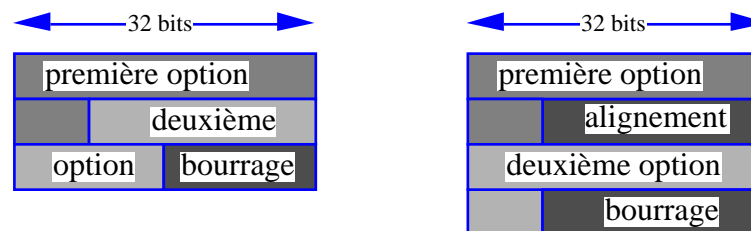
. certains routeurs ont deux files de datagrammes :

- datagrammes avec options
- datagrammes sans option

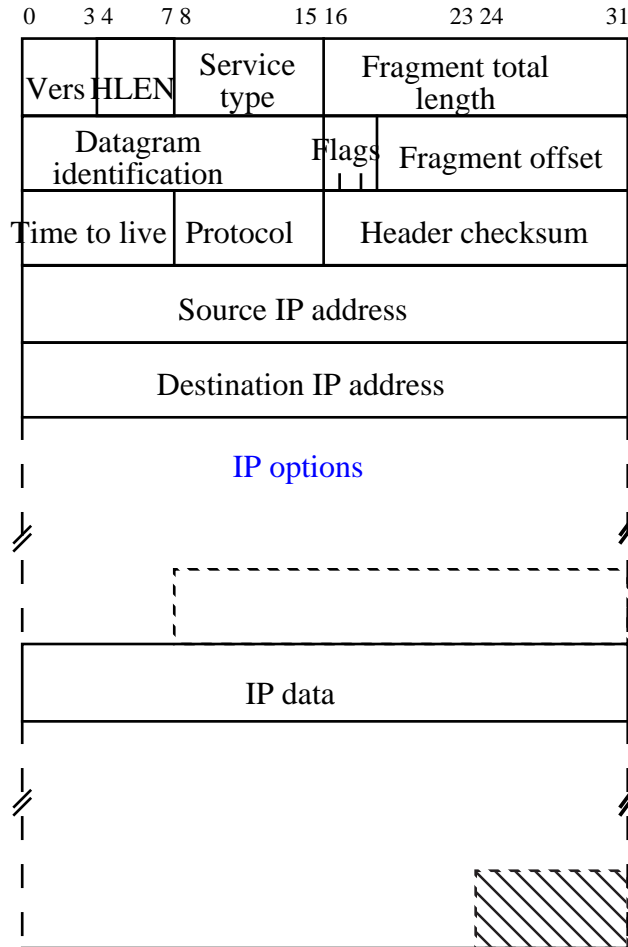
Fonction principale :

. choix de la route par l'émetteur

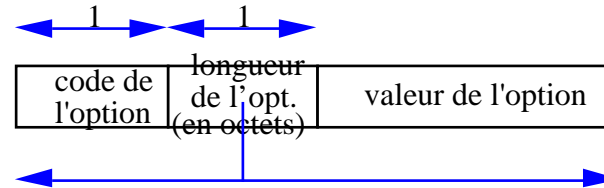
Assemblage des options : indépendamment des mots de 32 bits ou non.



## 5.7.2 Les différentes options



Structure générale d'une option :  
type, longueur, valeur ("TLV encoding")



Code de l'option :

|      |       |        |   |       |
|------|-------|--------|---|-------|
| 7    | 6     | 5      | 4 | 0 bit |
| copy | class | number |   |       |

Quelques options :

- | classe | numéro | longueur | sémantique |    |   |   |   |
|--------|--------|----------|------------|----|---|---|---|
| 0      | -      | 0        | -          | // | - | - | "End of Option list" : bourrage de fin de liste d'options |
| 0      | -      | 1        | -          | // | - | - | "NOP" : bourrage de fin d'option                          |
| 0      | -      | 2        | -          | 11 | - | - | "Security" : rfc 1108                                     |
| 0      | -      | 3        | -          | >3 | - | - | "Loose source routing"                                    |
| 0      | -      | 7        | -          | >3 | - | - | "Record route" -> trace_route                             |
| 0      | -      | 9        | -          | >3 | - | - | "Strict source routing"                                   |
| 2      | -      | 4        | -          | >3 | - | - | "Internet timestamp"                                      |

### 5.7.3 Les options Source Routing

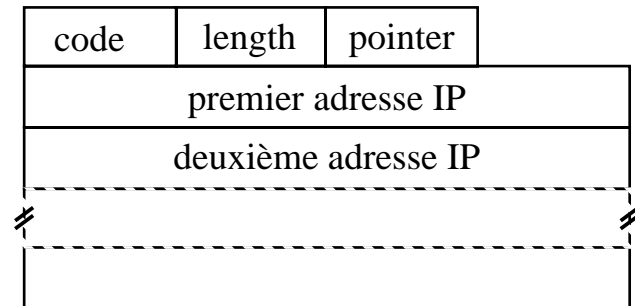
Un chemin = Liste des adresses IP des routeurs  
 . 9 au maximum !

Record Route :

- . l'émetteur prépare une liste vide ( pointer=0),
- . qui est remplie par chacun des routeurs du chemin ( pointer+=4),
- . tant qu'il y a de la place dans la liste (pointer<length).

Source Routing :

- . Le chemin que doit suivre le datagramme est explicitement décrit.
  - strict source routing : totalement décrit (S'il manque un routeur le datagramme est détruit).
  - loose source routing : partiellement décrit (S'il manque un routeur l'algorithme de routage standard est appliqué).



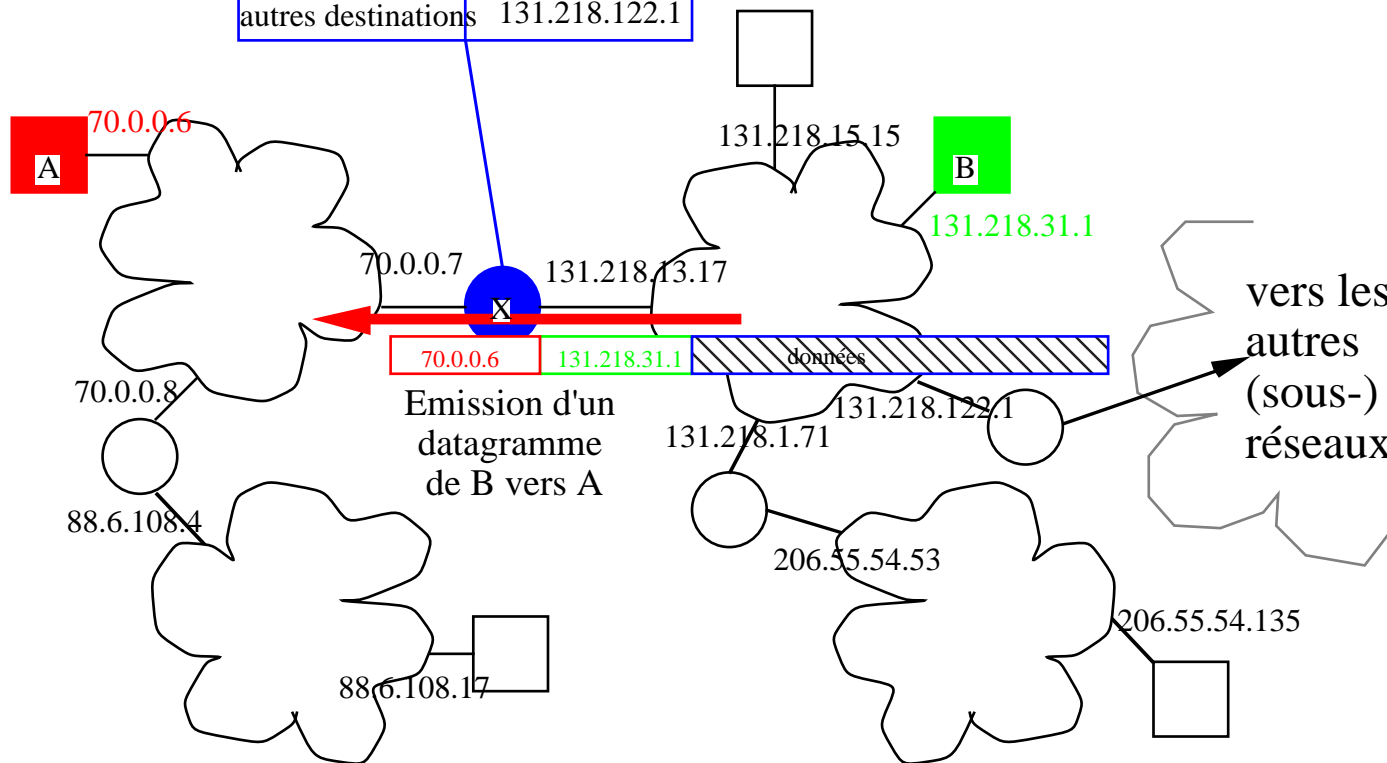
## 6. L'acheminement du datagramme : "datagram forwarding"

### table de routage

⇒

| netid destinataire  | prochain routeur |
|---------------------|------------------|
| 70.                 | accès direct     |
| 131.218.            | accès direct     |
| 88.                 | 70.0.0.8         |
| 206.55.54.          | 131.218.1.71     |
| autres destinations | 131.218.122.1    |

- 1 entrée par sous-réseau connu.
- un routage par défaut vers un routeur principal.
- accès direct vers les sous-réseaux locaux.



## 7. Conclusion

Protocole assurant l'interconnexion de (sous-)réseaux hétérogènes :

- . routage,
- . adressage (adresse IP),
- . fragmentation.

Protocole simple (sans connexion):

- . détection des erreurs (de l'entête uniquement),
- . sans mécanisme de récupération des erreurs (perte, duplication, congestion).

Nécessite d'autres protocoles :

- + ICMP (erreur)
- + RIP (routage)
- + ARP (résolution d'adresse)
- + ...

Et **TCP** ou **UDP** !