

# Réseaux - Couche Réseau

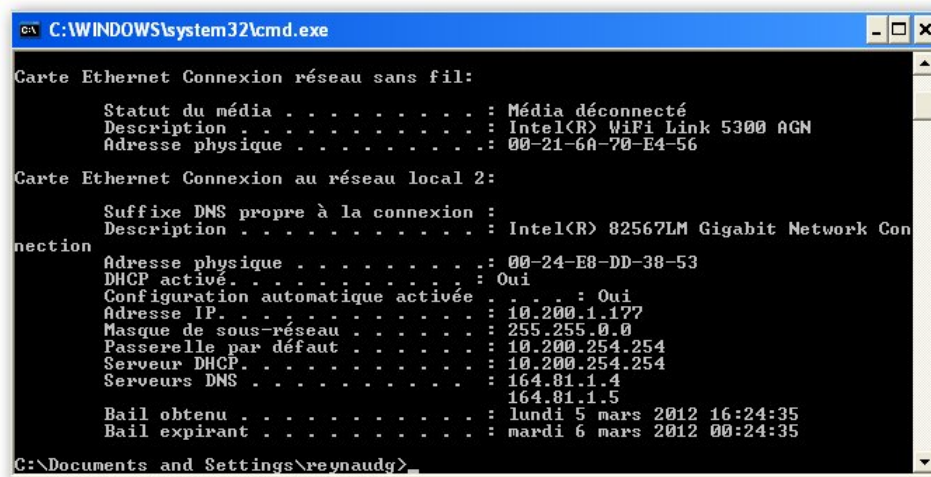
10 octobre 2024

## 1 Ressources utiles

— <https://racine.gatoux.com/lmdr/>

## 2 Internet Protocol - IP

L'identification des machines sur Internet passe par l'*Internet Protocol*, abrégé IP. C'est un nombre à 4 octets, dont la représentation décimale se fait en séparant chaque octet. Lorsqu'une personne souhaite installer l'accès à Internet dans sa maison, le FAI (*Fournisseur d'Accès à Internet*) attribue une adresse IP publique. Lorsque les appareils vont utiliser Internet, c'est cette adresse qui sera utilisée pour recevoir et transmettre les données. Initialement, elles sont formées par 4 nombres compris entre 0 et 255, on parle d'adresse IPv4.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Carte Ethernet Connexion réseau sans fil:
    Statut du média . . . . . : Média déconnecté
    Description . . . . . : Intel(R) WiFi Link 5300 AGN
    Adresse physique . . . . . : 00-21-6A-70-E4-56

Carte Ethernet Connexion au réseau local 2:
    Suffixe DNS propre à la connexion :
    Description . . . . . : Intel(R) 82567LM Gigabit Network Con
    nection
    Adresse physique . . . . . : 00-24-E8-DD-38-53
    DHCP activé . . . . . : Oui
    Configuration automatique activée . . . . . : Oui
    Adresse IP . . . . . : 10.200.1.177
    Masque de sous-réseau . . . . . : 255.255.0.0
    Passerelle par défaut . . . . . : 10.200.254.254
    Serveur DHCP . . . . . : 10.200.254.254
    Serveurs DNS . . . . . : 164.81.1.4
    . . . . . : 164.81.1.5
    Bail obtenu . . . . . : lundi 5 mars 2012 16:24:35
    Bail expirant . . . . . : mardi 6 mars 2012 00:24:35

C:\Documents and Settings\reynaudg>
```

FIGURE 1 – Résultat de la commande `ipconfig /all` sur Windows.

Les adresses IP (RFC 790) sont regroupées par classes, pour définir un nombre maximum d'hôtes.

- La classe A, où 1 octet définit la partie réseau, et les 3 autres la partie hôte. Ce premier octet a une valeur comprise entre 1 et 126, ce qui revient à avoir un bit de poids fort égal à 0.

- La classe B, où 2 octets définissent la partie réseau, et les 2 autres la partie hôte. Le premier octet a une valeur comprise entre 128 et 191, ce qui revient à avoir les deux premiers bits de poids fort à 10.
- La classe C, où 3 octets définissent la partie réseau, et le dernier la partie hôte. Le premier octet a une valeur comprise entre 192 et 223, donc les trois premiers bits du premier octet seront à 1.

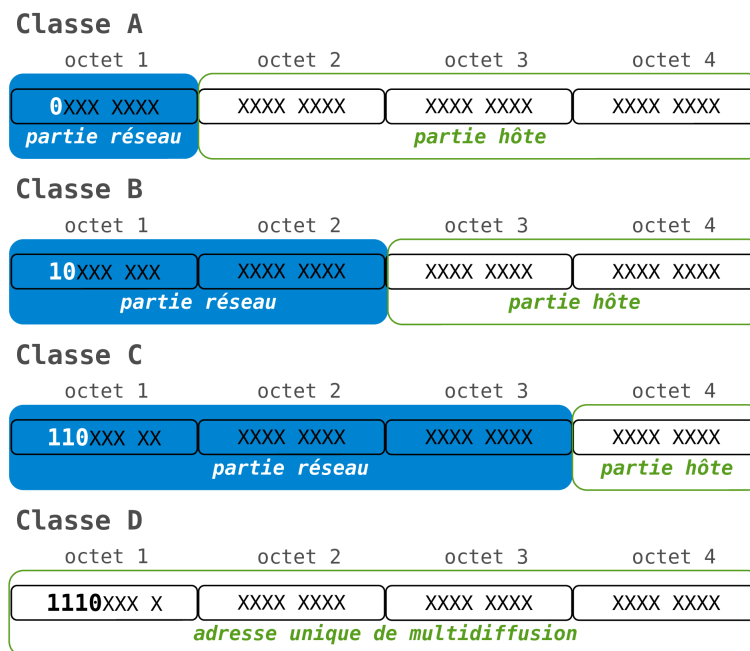


FIGURE 2 – Schéma des différentes classes.

Une partie de l'adresse IP est réservée pour le réseau, et l'autre pour la machine. Pour en faire la distinction, on utilise un masque de sous-réseau. Il permet de vérifier si la machine émettrice et la machine réceptrice sont sur le même sous-réseau.

C'est une suite de 4 octets, dont les bits à 1 représentent la partie réseau (ou Net-ID), et les bits à 0 la partie machine (Host-ID).

Exemple : notre machine dispose de l'adresse IP 192.45.2.9, avec le masque de sous-réseau 255.255.255.0. La partie réseau de cette adresse correspond alors aux trois premiers octets de cette adresse IP, soit 192.45.2, et le dernier octet, ayant la valeur 9, permet d'identifier cette machine sur le sous-réseau.

Cette opération correspond au ET logique, effectué bit à bit entre l'adresse IP et le masque.

Comme il y a 8 bits avec la valeur 0, on peut alors connecter 256 ( $2^8$ ) machines sur ce sous-réseau. En retirant une adresse réservée pour le réseau (192.45.2.0) et l'adresse réservée pour le broadcast (192.45.2.255), cela fait un total réel de 254 machines. Plus généralement, en notant  $n$  le nombre de bits accordés à la partie hôte, on dispose de  $2^n - 2$  adresses.

L'adresse **localhost**, 127.0.0.1 est spéciale : c'est une adresse de bouclage où les paquets envoyés par un ordinateur reviennent automatiquement. On s'en sert pour effectuer des tests d'application réseau.

	192	45	2	9
Adresse IP	11000000	00101101	00000010	00001001
	255	255	255	0
Masque	11111111	11111111	11111111	00000000
	192	45	2	0
Sous réseau	11000000	00101101	00000010	00000000
	0	0	0	9
Hôte	00000000	00000000	00000000	00001001

FIGURE 3 – Application du masque de sous-réseau.

Depuis quelques années, à cause d’une croissance exponentielle du nombre d’appareils et d’objets connectés, il a été nécessaire d’augmenter ce nombre à 16, on parle alors d’adresse IPv6.

### 3 Création de sous-réseau

Pour des raisons techniques, économiques, et logiques, il peut être nécessaire de scinder les différentes machines d’un réseau dans plusieurs groupes de sous-réseaux. Pour pouvoir les identifier clairement, on va utiliser une partie des bits de la partie hôte.

Exemple : on dispose d’un réseau ayant pour adresse 200.85.120.0 (254 hôtes possibles), qu’on souhaite diviser en 6 sous-réseaux.

- On cherche la plus petite puissance de 2 supérieure à 6 : c’est 3 ( $2^3 = 8$  et  $6 < 8$ ) ;
- On dit alors que 3 bits sont masqués : du masque de sous-réseau 255.255.255.0, on passe au masque 255.255.255.224 ;
- On obtient alors 8 sous-réseaux. Chacun dispose d’une adresse unique (qui ne peut pas être affectée) et d’une adresse de diffusion (qui ne peut pas être affectée non plus). Ces sous-réseaux ont alors 30 adresses disponibles<sup>1</sup>.

Nous pouvons alors dresser une table<sup>2</sup> répertoriant les plages d’adresses (voir fig. 4).

On remarque que tous les réseaux ont la même taille. Cependant, il est très rare qu’une telle division corresponde aux besoins réels d’une organisation.

### 4 Adressage sans classes

Pour résoudre ce problème, le protocole CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*, RFC 1517) est appliqué dès 1993. Il consiste à découper un sous-réseau en plusieurs sous-réseaux.

Les différentes classes d’adresses IP sont donc techniquement obsolètes avec une telle spécification. On utilise alors un masque de sous-réseau à longueur variable (Variable Length Subnet Mask), qui permet de créer des sous-réseaux au sein d’un sous-réseau.

1.  $2^{8-3} - 2 = 30$

2. La table de la figure 4 est générée sur le site à l’adresse suivante : <https://www.site24x7.com/fr/tools/ipv4-sous-reseau-calculatrice.html>

Subnet ID	Subnet Address	Host Address Range	Broadcast Address
1	200.85.120.0	200.85.120.1 - 200.85.120.30	200.85.120.31
2	200.85.120.32	200.85.120.33 - 200.85.120.62	200.85.120.63
3	200.85.120.64	200.85.120.65 - 200.85.120.94	200.85.120.95
4	200.85.120.96	200.85.120.97 - 200.85.120.126	200.85.120.127
5	200.85.120.128	200.85.120.129 - 200.85.120.158	200.85.120.159
6	200.85.120.160	200.85.120.161 - 200.85.120.190	200.85.120.191
7	200.85.120.192	200.85.120.193 - 200.85.120.222	200.85.120.223
8	200.85.120.224	200.85.120.225 - 200.85.120.254	200.85.120.255

FIGURE 4 – Plage d'adresse des 8 sous-réseaux

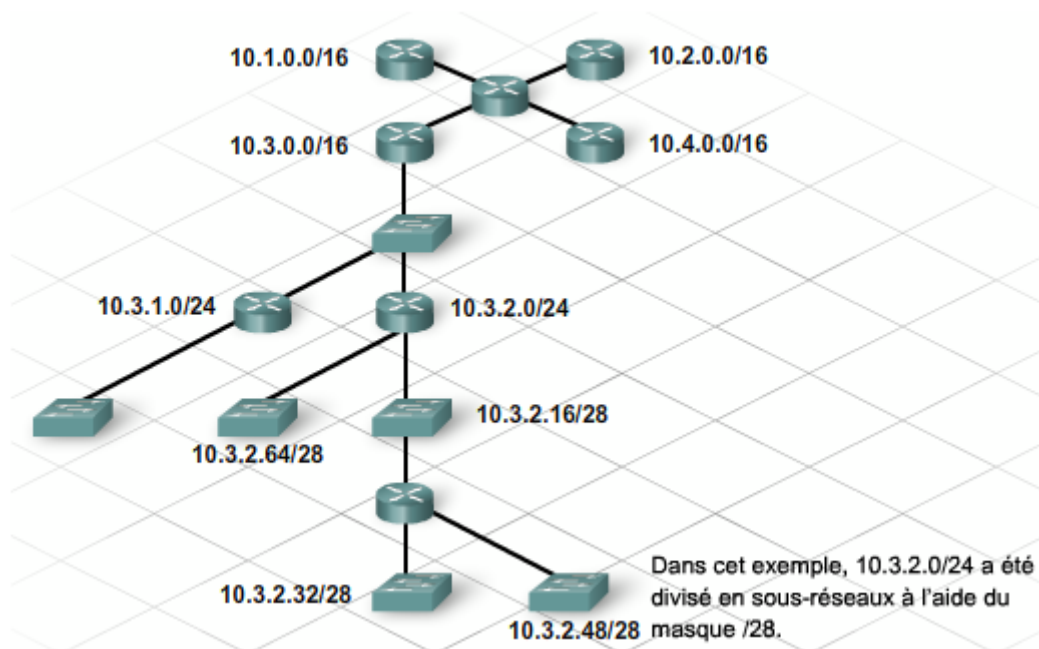


FIGURE 5 – Exemple d'architecture avec VLSM.

Dans l'exemple de la figure 5, on dispose d'un réseau avec l'adresse 10.0.0.0/8. On dispose alors de 256 sous-réseaux, chacun pouvant contenir 16382 hôtes. Ici, c'est le sous-réseau d'adresse 10.3.0.0/16 qui est divisé avec le masque /24. On a alors 256 sous-réseaux possibles pouvant contenir chacun 254 hôtes. Deux sont représentés : 10.3.1.0/24 et 10.3.2.0/24. On peut continuer la subdivision tant qu'il reste des bits disponibles.

## 5 En-tête IP

Nous détaillons les informations du schéma de la figure 7.

- Le champ Version (4 bits) indique le numéro de version du protocole IP utilisé. Les valeurs les plus courantes sont 4 et 6 pour IPv4 et IPv6.

Masque de sous-réseau décimal à point	Masque de sous-réseau binaire	Notation de barre oblique	Nombre de bits d'hôtes	Hôtes possibles $2^n-2$
255.0.0.0	11111111.00000000.00000000.00000000	/8	24	16777214
255.128.0.0	11111111.10000000.00000000.00000000	/9	23	8388606
255.192.0.0	11111111.11000000.00000000.00000000	/10	22	4194302
255.224.0.0	11111111.11100000.00000000.00000000	/11	21	2097150
255.240.0.0	11111111.11110000.00000000.00000000	/12	20	1048574
255.248.0.0	11111111.11111000.00000000.00000000	/13	19	524286
255.252.0.0	11111111.11111100.00000000.00000000	/14	18	262142
255.254.0.0	11111111.11111110.00000000.00000000	/15	17	131070
255.255.0.0	11111111.11111111.00000000.00000000	/16	16	65534
255.255.128.0	11111111.11111111.10000000.00000000	/17	15	32766
255.255.192.0	11111111.11111111.11000000.00000000	/18	14	16382
255.255.224.0	11111111.11111111.11100000.00000000	/19	13	8190
255.255.240.0	11111111.11111111.11110000.00000000	/20	12	4094
255.255.248.0	11111111.11111111.11111000.00000000	/21	11	2046
255.255.252.0	11111111.11111111.11111100.00000000	/22	10	1022
255.255.254.0	11111111.11111111.11111110.00000000	/23	9	510
255.255.255.0	11111111.11111111.11111111.00000000	/24	8	254
255.255.255.128	11111111.11111111.11111111.10000000	/25	7	126
255.255.255.192	11111111.11111111.11111111.11000000	/26	6	62
255.255.255.224	11111111.11111111.11111111.11100000	/27	5	30
255.255.255.240	11111111.11111111.11111111.11110000	/28	4	14
255.255.255.248	11111111.11111111.11111111.11111000	/29	3	6
255.255.255.252	11111111.11111111.11111111.11111100	/30	2	2

FIGURE 6 – Tableau récapitulatif des masques de sous-réseaux, et du nombre d'hôtes possibles.

- Le champ IHL (4 bits) contient la taille en mots (32 bits, 4 octets) de cet en-tête. 5 minimum, mais peut prendre des valeurs jusqu'à 15.
- Le champ Service (8 bits) permet de gérer la qualité de service de la couche 3 du modèle OSI.
- Le champ Longueur Totale (16 bits) contient un entier indiquant la longueur du paquet en octets, en incluant l'en-tête et les données contenues.
- Le champ Identification (16 bits) sert à identifier le paquet fragmenté pour que le destinataire puisse ordonner les paquets reçus. On rappelle que l'Ethernet limite la taille maximale des paquets à 1500 octets.
- Les champs O, DF, MF (1 bit chacun) renseignent l'état de fragmentation :
  - Le champ O vaut toujours 0 ;
  - DF (*Don't Fragment*) indique si le paquet peut-être fragmenté ;
  - MF (*More Fragments*) indique si le paquet est le dernier.
- Le champ Offset (13 bits) contient un entier représentant le décalage entre le premier octet de données du datagramme non-fragmenté et le premier octet des données fragmentées qu'il transporte. Plus précisément, cette valeur représente le nombre de mots de 8 octets et non le nombre d'octets.



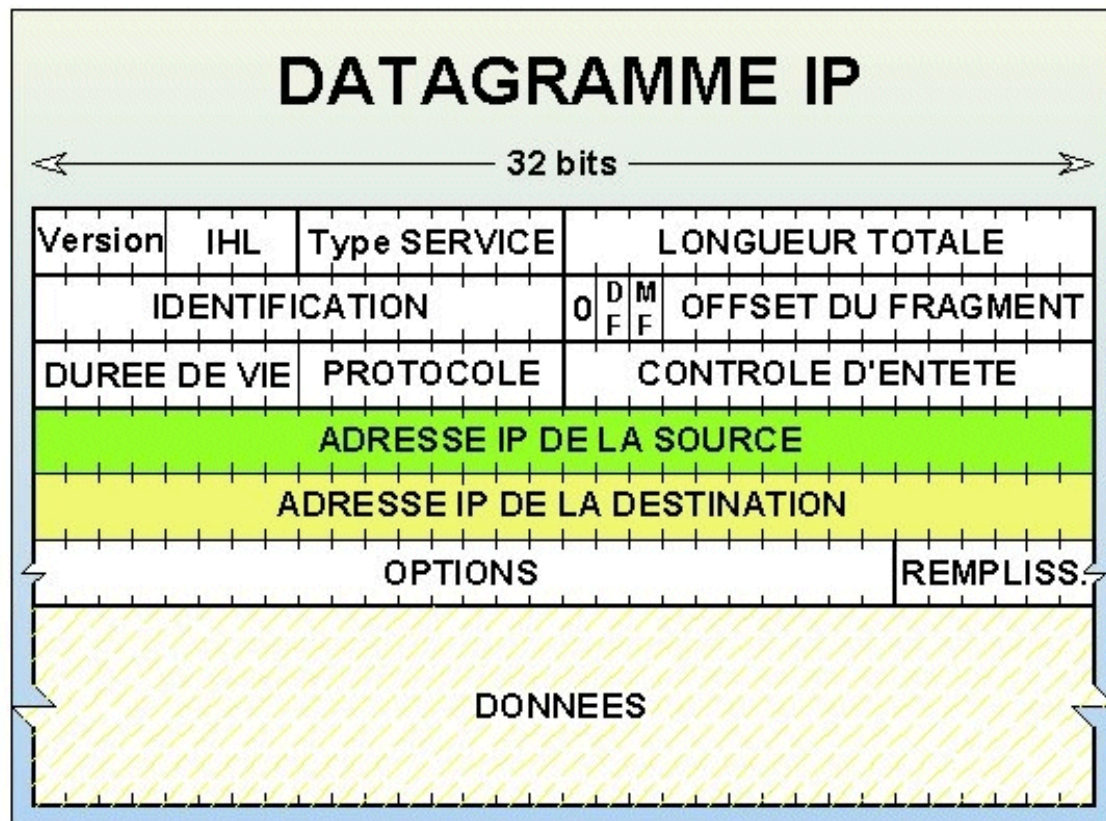


FIGURE 7 – Contenu de l'en-tête IP

**Source:** [http://arsene.perez-mas.pagesperso-orange.fr/reseaux/tcpip/entete\\_ip.htm](http://arsene.perez-mas.pagesperso-orange.fr/reseaux/tcpip/entete_ip.htm)

Ainsi, dans l'exemple proposé par la figure 8, on souhaite envoyer un paquet de 10000 octets au destinataire. Cependant, la connexion entre les routeurs R1 et R2 a un MTU de 4000. Le paquet initial est alors scindé en 3 fragments :

- Le premier a un offset de 0 (c'est le premier), et le champ MF à 1 car il y a encore des fragments ;
- Le deuxième a un offset de 497, car 3976 octets ont été transmis, soit 497 mots de 8 octets (on ne compte pas les données de l'en-tête, qui pèse ici 24 octets) ;
- Le dernier fragment a donc son champ MF à 0.

Comme la liaison entre le routeur R2 et le destinataire a un MTU inférieur à 4000, ces fragments sont à nouveau divisés. La division s'effectue de telle sorte à pouvoir reconstituer les fragments précédents.

- Le champ Durée de Vie (*Time to live* en anglais) (8 bits) indique le nombre de transferts restants du paquet avant d'être détruit. Si le paquet reste dans la file d'attente du routeur plus d'une seconde, alors chaque seconde passée fait décroître ce compteur. Cela évite par exemple de transférer des paquets pris dans des boucles.
- Le champ Protocole (8 bits) indique le code du protocole porté par le datagramme. On aura les valeurs 6 pour le protocole TCP et 17 pour le protocole UDP.
- Le champ Contrôle d'en-tête (16 bits) qui vérifie l'intégrité des données transmises. Il peut être un CRC.

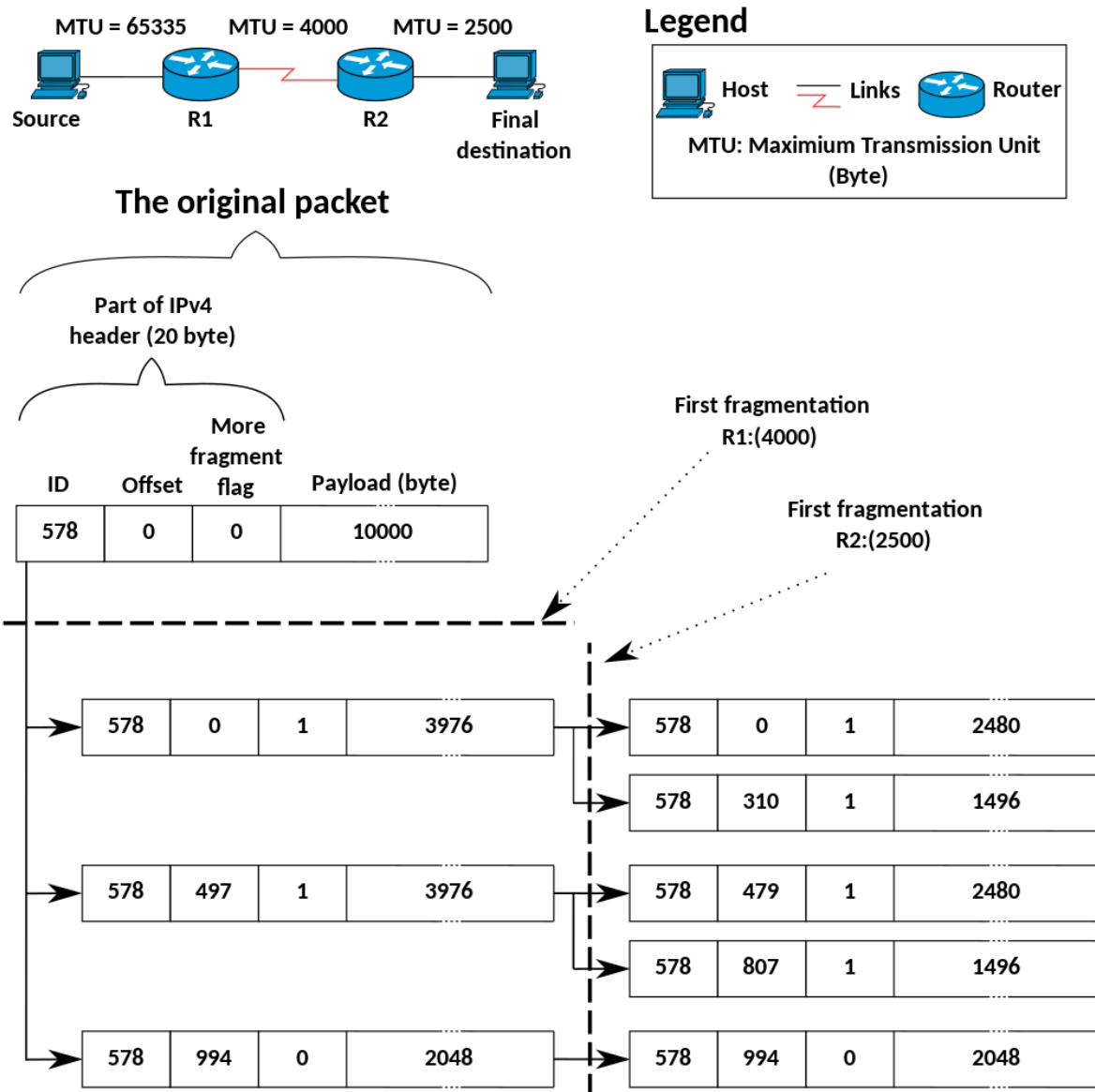


FIGURE 8 – Cas où la fragmentation s'avère nécessaire : la taille du paquet est supérieure à la limite fixée par la liaison.

**Source:** [https://en.wikipedia.org/wiki/IP\\_fragmentation](https://en.wikipedia.org/wiki/IP_fragmentation) (Auteur : Michel Bakni)

- Les champs IP source et IP Destination (32 bits chacun) contiennent les adresses IP nécessaires au transfert.

On précise que ce datagramme fonctionne uniquement avec IPv4. Les adresses IPv6 étant 4 fois plus grandes, le processus de transfert avec un tel protocole nécessite un autre datagramme.

## Exercice 1 Masques de sous-réseaux

Parmi les adresses suivantes, regrouper celles ayant les mêmes sous-réseaux. Pour chaque sous-réseau, on notera son identifiant (networkID) .

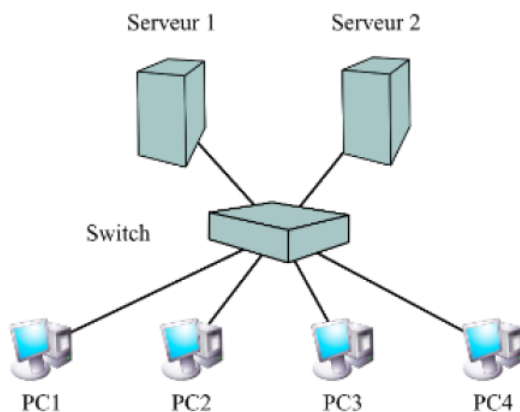
1. 192.168.196.10/24;
2. 192.168.197.10/24;
3. 192.168.196.246/24;

4. 172.162.162.2/19;
5. 172.162.162.3/19;
6. 172.162.191.2/19;
7. 192.168.10.12/25;
8. 192.168.10.50/25;
9. 192.168.10.100/25;
10. 192.168.10.150/25;

## Exercice 2      Adressage IP simple

On donne le réseau ci-dessous.

1. Quelle est l'adresse IP du réseau ?
2. Déterminer le nombre de machines qu'on peut brancher dans ce réseau.
3. Donner l'adresse de diffusion du réseau, et la plage d'adresse IP adressable.



Machine	Adresse IP
PC1	192.168.12.6
PC2	192.168.12.7
PC3	192.168.12.8
PC4	192.168.12.9
Serveur 1	192.168.12.100
Serveur 2	192.168.12.200

## Exercice 3      Création de sous-réseaux

1. Soit le réseau 42.0.0.0/8, qu'on souhaite découper en 25 sous-réseaux. Identifier les 4 premiers réseaux (i.e. donner leur adresse) ainsi que les deux derniers avec, pour chaque sous-réseau, l'adresse de broadcast et la plage d'adresses attribuables.
2. Même question avec le réseau 198.168.10.0, qu'on souhaite découper en sous-réseaux de 75 hôtes chacun.

## Exercice 4      Adressage IP complet

Pour chaque adresse suivante :

1. 145.245.45.225
2. 202.2.48.149
3. 97.124.36.142

Donner :

- A) La classe d'adresse ;



- B) Le masque par défaut ;
- C) L'adresse réseau ;
- D) Le masque augmenté pour identifier respectivement 15, 60 et 200 sous-réseaux ;
- E) L'adresse du sous-réseau et son numéro ;
- F) Le numéro de la machine sur le sous-réseau ;
- G) Les intervalles d'adresses utilisables pour les 3 premiers sous-réseaux

### Exercice 5 Adressage avec VLSM

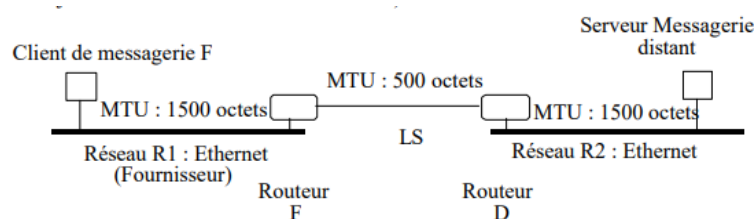
On dispose d'un sous-réseau 192.162.136.0/24. On a pour mission de segmenter ce sous-réseau en plusieurs sous-réseaux, avec les spécifications suivantes :

1. un sous-réseau de 34 hôtes, uniquement pour la direction de l'entreprise ;
2. un sous-réseau de 67 hôtes pour les programmeurs d'applications ;
3. un sous-réseau de 13 hôtes pour les secrétaires ;
4. deux sous-réseaux de 5 hôtes chacun, pour les chargés de communication et les comptables.

Proposer une telle segmentation de ce sous-réseaux, en donnant les adresses des sous-réseaux, leurs masques, et les plages d'adresses.

### Exercice 6 Fragmentation IP

Un client de messagerie F transfère un message électronique de 4000 octets de données vers un serveur distant en utilisant trois voies de communication successives selon la figure ci-après. On considère que toutes les entêtes ajoutées par les différentes couches de protocoles traversées au dessus de la couche IP font partie des 4000 octets. Dans les datagrammes IP l'entête est une entête standard de 20 octets (il n'y a pas d'options rajoutées en extensions dans les entêtes IP).



Combien de datagrammes sont échangés au total ? Détailler les en-tête de chaque datagramme en faisant apparaître l'ID de paquet, l'offset, le *More fragment flag* et la taille du payload, comme présenté en figure 8

### Exercice 7 Routage

Représenter la table de routage du routeur R0, en donnant à chaque ligne le réseau de destination, l'adresse du routeur vers laquelle envoyer le paquet, la passerelle de ce routeur sur laquelle on va émettre le message, et le nombre de sauts qui seront réalisés.

