



# POLYCOPIE

## DE RESEAUX INFORMATIQUES

(Rappel de cours et Exercices)

Version finale , Novembre 2020

Abdelmalek Abdelhafid & Slimane Zohra

# AVANT-PROPOS

Ce polycopié de réseaux informatiques, destiné pour les étudiants de troisième année licence télécommunications, est le fruit de plusieurs années d'enseignements dans la matière. Le polycopie comporte des rappels de cours, et une panoplie de plus de 120 exercices dont une partie avec solutions, traitant les principales notions fondamentales des réseaux en général, et mettant l'accent sur les réseaux TCP/IP en particulier. Il représente un support de travaux dirigés et éventuellement pratiques très riche et actualisé, permettant à l'étudiant d'appréhender les concepts fondamentaux mais aussi appliqués des réseaux informatiques (conception, installation, configuration, dépannage, analyse de réseau, ...).

Ce document vise à hisser l'étudiant à un niveau de connaissances et d'aptitudes dans le domaine de réseaux informatiques ; les connaissances théoriques et pratiques acquises constitueront pour lui un tremplin garant d'une insertion immédiate dans le milieu professionnel.

Compétences visées (liste non exhaustive) :

Installer, configurer, exploiter et administrer un réseau informatique ; Participer au choix, mettre en œuvre et conduire un projet d'évolution et d'extension d'un réseau ;

Le manuscrit est structuré en cinq chapitres :

- CHAPITRE I - Eléments de base des réseaux
- CHAPITRE II - Modèle en couches et Protocoles
- CHAPITRE III - Adressage IP, Sous-réseaux
- CHAPITRE IV - Interconnexion de réseaux, STP, VLAN et Routage
- CHAPITRE V - Analyse de trames et de protocoles

# Sommaire

## CHAPITRE I

### Eléments de base des réseaux

Exercice 1.1	Half/Full Duplex, Synchrone/Asynchrone, V24/X21 .....	1
Exercice 1.2	Codes en ligne.....	1
Exercice 1.3	Transmission en bande de base .....	1
Exercice 1.4	Critères de Shannon, Nyquist, Modulation QAM FSK .....	2
Exercice 1.5	Efficacité spectrale et débit.....	2
Exercice 1.6	Analyse d'un chronogramme de modulation QAM .....	3
Exercice 1.7	Modulation OOK .....	3
Exercice 1.8	Constellation .....	3
Exercice 1.9	Modulation FSK.....	4
Exercice 1.10	Performance de modulation .....	4
Exercice 1.11	Analyse d'un chronogramme de modulation .....	4
Exercice 1.12	Performance de modulation PSK-M .....	4
Exercice 1.13	Critère de Shannon .....	5
Exercice 1.14	Modulation PAM .....	5
Exercice 1.15	Topologie de réseau physique.....	6
Exercice 1.16	Topologie de réseau logique .....	6
Exercice 1.17	LAN, MAN, WAN, Topologie et Support .....	6
Exercice 1.18	LAN, MAN, WAN.....	7
Exercice 1.19	Codage de canal en bloc .....	7
Exercice 1.20	Codage cyclique.....	7
Exercice 1.21	Codes parfaits .....	8
Exercice 1.22	Matrice génératrice, pouvoir détecteur correcteur.....	9
Exercice 1.23	Procédure de codage.....	9
Exercice 1.24	Procédure de décodage par syndrome .....	9
Exercice 1.25	Longueur, dimension et rendement d'un code.....	9
Exercice 1.26	Cablage.....	10
Exercice 1.27	Réseau Token Ring .....	10

## CHAPITRE II

### Modèle en couches et Protocoles

Exercice 2.1	Modèle OSI.....	11
Exercice 2.2	Délai d'acheminement d'un réseau .....	11
Exercice 2.3	Comparaison des performances des transmission synchrone et asynchrone .....	12
Exercice 2.4	Protocole avec acquittements .....	12

Exercice 2.5	Taux d'occupation d'une voie .....	12
Exercice 2.6	Délai sur un anneau .....	13
Exercice 2.7	Temps de téléchargement .....	13
Exercice 2.8	Commutation de paquets .....	13
Exercice 2.9	Etude d'un réseau en anneau .....	14
Exercice 2.10	Echange HDLC .....	15
Exercice 2.11	Echange HDLC .....	15
Exercice 2.12	Technique d'accès IEEE 802.3 .....	16
Exercice 2.13	Protocole CSMA/CD.....	16
Exercice 2.14	Etude d'un scénario de collision .....	17
Exercice 2.15	Algorithme Backoff.....	17
Exercice 2.16	Multiplexage dans X25.....	17
Exercice 2.17	Normes WLAN, Technique d'accès CSMA/CD .....	17
Exercice 2.18	Echange HDLC .....	18
Exercice 2.19	Longueur minimale d'une trame .....	18
Exercice 2.20	Echange HDLC .....	19
Exercice 2.21	Adressage Frame Relay .....	19
Exercice 2.22	DLCI Frame Relay.....	19
Exercice 2.23	FECN, BECN et DE.....	19
Exercice 2.24	Circuit virtuel Frame Relay .....	20
Exercice 2.25	Correction d'erreurs Frame Relay.....	20
Exercice 2.26	Collision dans un réseau Ethernet en bus .....	20
Exercice 2.27	Technique d'accès par Jeton .....	20
Exercice 2.28	Débit utile dans une liaison HDLC .....	21
Exercice 2.29	REJ et SREJ dans LAP-B.....	21
Exercice 2.30	Collision CSMA/CD .....	22
Exercice 2.31	Acquittement explicite/implicite HDLC.....	22
Exercice 2.32	Format du Paquet IP.....	23
Exercice 2.33	IP et TCP .....	23
Exercice 2.34	Connexion TCP.....	23
Exercice 2.35	Comparaison UDP TCP .....	23
Exercice 2.36	Encapsulation X25 IP TCP.....	24

## CHAPITRE III

### Adressage IP, Sous-réseaux

Exercice 3.1	Adresse IP unicast multicast .....	25
Exercice 3.2	Masque de sous réseau .....	25
Exercice 3.3	Sous réseaux .....	25
Exercice 3.4	Nombre maximal de sous réseaux.....	26
Exercice 3.5	Service DHCP .....	26
Exercice 3.6	IP et TCP .....	26
Exercice 3.7	Adresses du même sous réseau .....	27
Exercice 3.8	Nombre de machines par sous-réseau .....	27
Exercice 3.9	Dépannage d'un réseau.....	27
Exercice 3.10	Acheminement des trames Ethernet et paquets IP .....	27
Exercice 3.11	Plan d'adressage IP d'un nouveau réseau .....	28
Exercice 3.12	Compréhension de quelques problèmes réseau.....	29
Exercice 3.13	VLSM, Routage, Décodage de trame.....	30
Exercice 3.14	Super adressage IP .....	32
Exercice 3.15	Adressage, ARP, Table de routage .....	32

Exercice 3.16	Masque de sous réseau non trivial.....	34
Exercice 3.17	Déploiement d'un réseau sur deux sites .....	34
Exercice 3.18	Adressage à longueur fixe, analyse de paquet IP .....	36
Exercice 3.19	Recherche du même sous réseau.....	37
Exercice 3.20	Plan d'adressage d'un réseau .....	37
Exercice 3.21	Plan d'adressage d'un réseau .....	38
Exercice 3.22	Adressage à longueur fixe et variable .....	39
Exercice 3.23	Super adressage.....	40
Exercice 3.24	Adressage, sous réseaux , routage.....	40
Exercice 3.25	Configuration type d'un réseau .....	41
Exercice 3.26	Adressage, sous réseaux , routage.....	43
Exercice 3.27	Etude de cas VLSM, configuration routeur, table de routage.....	44
Exercice 3.28	VLSM (problème inverse), configuration routeur, routage RIP .....	46

## CHAPITRE IV

### Interconnexion de réseaux, STP, VLAN et Routage

Exercice 4.1	Erreur de routage.....	47
Exercice 4.2	Traversée d'un routeur .....	47
Exercice 4.3	ARP .....	47
Exercice 4.4	Fonction de routage.....	47
Exercice 4.5	Protocole à état de lien .....	48
Exercice 4.6	Topologies redondantes.....	48
Exercice 4.7	Rôle de STP .....	48
Exercice 4.8	Première étape de STP.....	48
Exercice 4.9	STP pont racine.....	49
Exercice 4.10	Fonctionnement de STP .....	49
Exercice 4.11	Routage statique et routage dynamique.....	51
Exercice 4.12	Routage à vecteur de distance et à état des liens.....	51
Exercice 4.13	Fonctionnement du protocole RIP.....	52
Exercice 4.14	Convergence des tables de routage à vecteur de distance .....	52
Exercice 1.15	Tables de routage des routeurs dans un réseau .....	53
Exercice 4.16	Tables de routage .....	54
Exercice 4.17	Plan d'adressage et table de routage.....	54
Exercice 4.18	Construction des trames ARP .....	56
Exercice 4.19	Plan d'adressage et tables de routage.....	57
Exercice 4.20	Configuration Cisco VLAN Switch et Routeur .....	59
Exercice 4.21	Configuration Cisco VLAN Switch et Routeur .....	60

## CHAPITRE V

### Analyse de trames et de protocoles

Exercice 5.1	Reconstruction du dialogue au niveau trame et paquet d'une liaison X25 .....	61
Exercice 5.2	Diagramme d'échange HDLC .....	62
Exercice 5.3	Dialogue au niveau trame et paquet X25 .....	62
Exercice 5.4	Longueur minimale d'une trame Ethernet .....	64
Exercice 5.5	Préambule d'une trame Ethernet II .....	64

---

Exercice 5.6	Contrôle de flux dans TCP .....	64
Exercice 5.7	Décodage d'une trame Ethernet II .....	64
Exercice 5.8	Décodage d'une trame Ethernet II .....	65
Exercice 5.9	Analyse d'un paquet TCP .....	66
Exercice 5.10	Bourrage dans une trame .....	66
Exercice 5.11	Analyse des protocoles encapsulés au niveau réseau, transport et application .....	67
Exercice 5.12	Retraçage d'une connexion TCP par analyse des paquets TCP .....	68
Exercice 5.13	aquittements et contrôle de flux dans TCP .....	69
Exercice 5.14	Fragmentation dans IP .....	70
Exercice 5.15	Analyse du routage directe et indirecte .....	71
Exercice 5.16	Fragmentation IP .....	72
Rappels de cours .....		74
Bibliographie .....		105

## Chapitre I – Éléments de base des réseaux

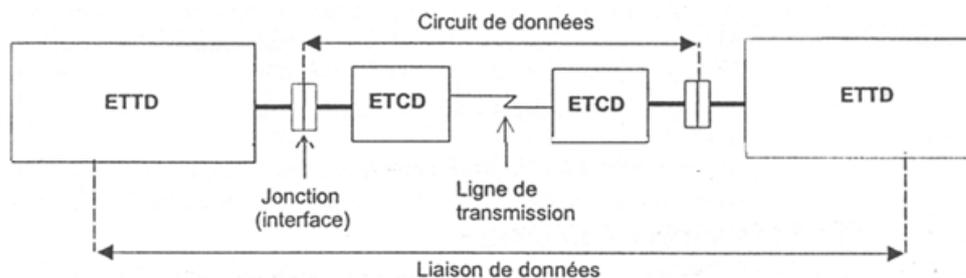
### ■ Exercices corrigés

#### Exercice 1.1

- 1) Représenter un schéma donnant les éléments constitutifs d'une liaison de données. Dans quel cas parle-t-on de full duplex ?
- 2) Dans une transmission asynchrone, quelle est la durée entre l'émission de deux caractères ?
- 3) Dans une transmission synchrone, comment le récepteur peut-il synchroniser son horloge sur celle de l'émetteur ?
- 4) Quelle est la principale différence entre V24 et X21 ?
- 5) Citer pour chaque mode de transmission (synchrone et asynchrone) un protocole de niveau liaison.

#### Solution :

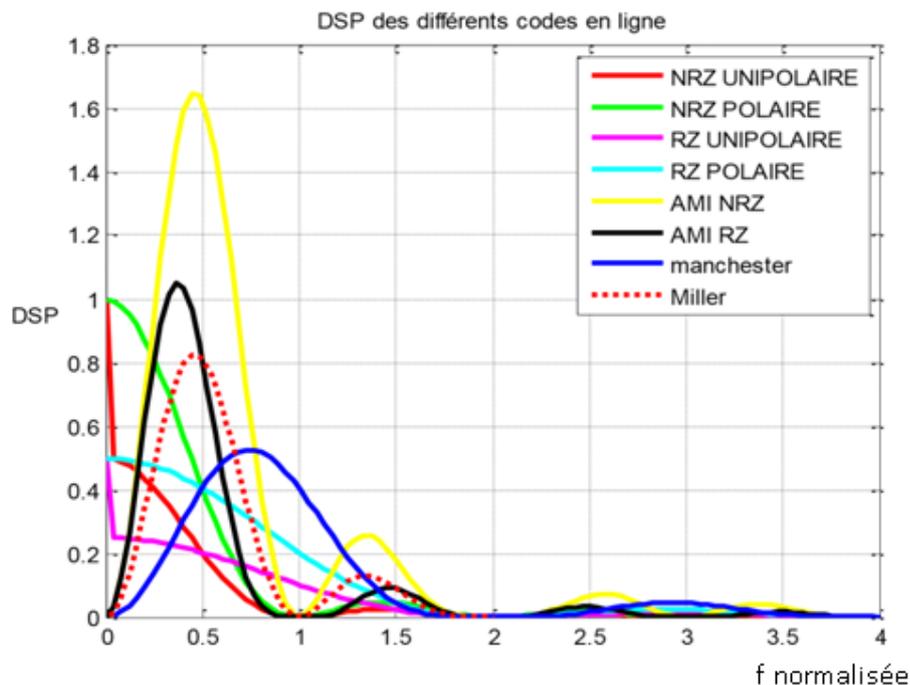
- 1) Schéma d'une liaison de données



- full duplex : lorsque la transmission s'effectue dans les deux sens simultanément
- 2) Quelconque, variable, aléatoire
  - 3) Soit directement à partir de l'horloge d'émission, soit à partir des instants de transition du signal de données
  - 4) ETCD analogique/numérique ; approche matérielle/logicielle ; nombre et fonction des circuits ; débit ; temps de connexion
  - 5) mode synchrone : HDLC ; BSC ; SDLC ; PPP  
mode asynchrone : XON/XOFF ; X-MODEM

### Exercice 1.3

- 1) Définir ce qu'est une transmission en bande de base (BdB).
- 2) Dans quel contexte de liaisons de données le mode de transmission BdB est-il utilisé ?
- 3) Pour les transmissions BdB, on utilise les codes en ligne. Le choix des codes en ligne se fait suivant plusieurs critères, parmi les quels, citons :
  - Critère C1 : l'occupation spectrale (bande passante du code)
  - Critère C2 : la facilité avec laquelle il est possible de récupérer l'horloge
  - Critère C3 : la présence de la composante continue



Compte tenu du graphe ci dessus, donnant les densités spectrales de puissance de plusieurs codes en ligne, compléter le tableau suivant :

Code	Critère C1	Critère C2	Critère C3
NRZ Unipolaire	D	NON	OUI
NRZ Polaire			
NR Unipolaire			
NR Polaire			
AMI NRZ			
AMI RZ			
Manchester			
Miller			

### Solution :

- 1) Une transmission est dite en bande de base si le signal émis ne subit aucune transposition de fréquence (ou modulation).

- 2) Liaisons courte distance
- 3)

Code	Critère C1	Critère C2	Critère C3
NRZ Unipolaire	D	NON	OUI
NRZ Polaire	D	NON	OUI
NR Unipolaire	2D	OUI	OUI
NR Polaire	2D	OUI	OUI
AMI NRZ	D	NON	NON
AMI RZ	D	NON	NON
Manchester	2D	OUI	NON
Miller	D	NON	NON

### Exercice 1.5

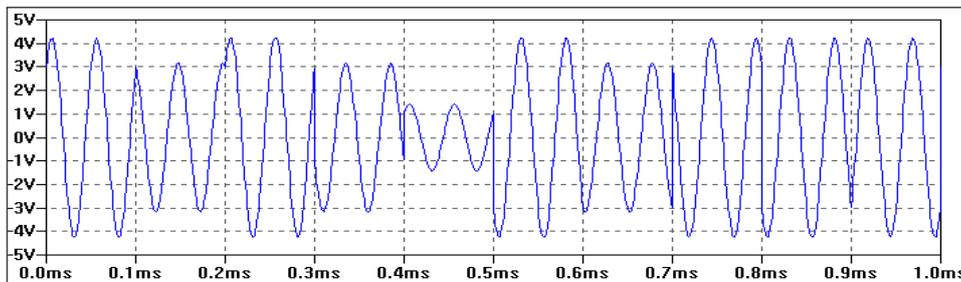
Pour une modulation numérique dont l'efficacité spectrale est 3.2 et la fréquence de la porteuse est 10 MHz, quel débit maximal peut-on atteindre sur un canal de 20 KHz ?

**Solution :**

64 Kbps

### Exercice 1.6

Soit le chronogramme suivant d'un signal produit par modulation QAM-16.



Donner :

- 1) le nombre de symboles M-aire
- 2) la durée d'un symbole M-aire
- 3) la durée d'un bit
- 4) la bande B du signal modulé
- 5) l'efficacité spectrale.

**Solution :**

- 1)  $M = 16$
- 2)  $T = 0.1\text{ms}$

- 3)  $T_b = 0.1/4 = 0.025$  ms
- 4)  $B = 20$  kHz
- 5) Efficacité = Débit/B = 2 bit/s/Hz

**Exercice 1.14**

Pour transmettre un débit binaire de 2 Mbits/s, on utilise une modulation PAM (Pulse Amplitude Modulation) à 4 états. La probabilité d’erreurs par bits est de  $10^{-5}$ . On désire, avec le même type de modulation, doubler le débit binaire, sur ce même canal (et donc avec la même bande), sans toucher à la probabilité d’erreurs par bits. Quelle doit être la nouvelle valeur de la taille de l’alphabet de modulation ?

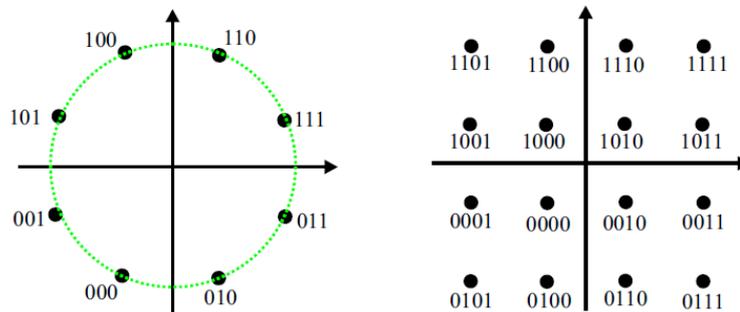
- a) 2
- b) 4
- c) 8
- d) 16

**Solution :**

16 états

**Exercice 1.8**

- 1) Les deux constellations suivantes correspondent à deux modulations numériques différentes, lesquelles ?
- 2) Donner le type de codage utilisé pour les points des constellations. Quel est l’intérêt d’utiliser un tel codage ?



- 3) Pour la constellation 1, indiquer les différentes phases.
- 4) Comparer les deux modulations en fonction de l’efficacité spectrale.
- 5) On désire transmettre un débit de 512 Kbps sur un canal de bande passante 300 KHz, quelle modulation doit-on utiliser ?

**Solution :**

1) Constellation 1 : PSK-8

Constellation 1 : QAM-16

2) Codage de Gray

$$3) \frac{\pi}{8}, \frac{3\pi}{8}, \frac{5\pi}{8}, \frac{7\pi}{8}, \frac{9\pi}{8}, \frac{11\pi}{8}, \frac{13\pi}{8}, \frac{15\pi}{8}$$

4) L'efficacité spectrale de la QAM-16 est plus grande que celle de la PSK-8

PSK-8  $\rightarrow 1.5 \text{ bit/s/Hz}$

QAM-16  $\rightarrow 2 \text{ bit/s/Hz}$

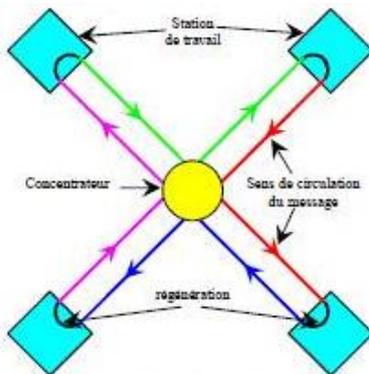
$$5) B_{\text{canal}} \geq B_{\text{modulation}} \Rightarrow B \geq \frac{2}{T} \Rightarrow \log_2(M) \geq \frac{2D}{B}$$

Soit :  $\log_2(M) \geq 3.41$ , et  $M \geq 10.63$

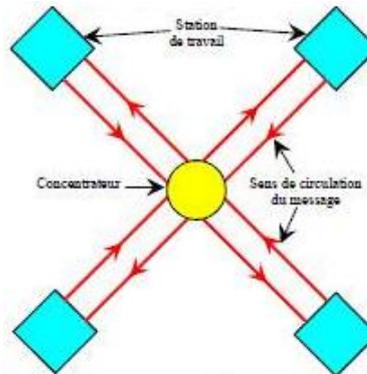
La modulation qui sera utilisée est donc la QAM-16.

**Exercice 1.16**

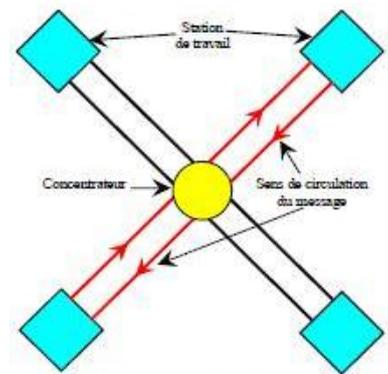
Quelle est, pour chacune des configurations suivantes, la topologie logique établie sur la topologie physique en étoile ?



(a) Le message circule dans un seul sens et est régénéré par les stations de travail



(b) Le message est envoyé simultanément à toutes les stations de travail



(c) La liaison entre deux stations est établie, puis le message est envoyé

**Solution :**

(a) : anneau

(b) : bus

(c) : étoile

**Exercice 1.21**

1. Un code linéaire en bloc  $C(n, k, d_{\min})$  où  $n$  est la longueur du code,  $k$  la longueur des bits de données et  $d_{\min}$  la distance minimale du code, est dit parfait si et seulement si  $\sum_{i=0}^e C_n^i = 2^{n-k}$  ( $e$  étant le nombre d'erreurs pouvant être corrigées). Le quel de ces codes n'est pas parfait ?
- $C(7,4,3)$
  - $C(15,11,5)$
  - $C(23,12,7)$
  - $C(33,11,7)$

**Solution :**

b)  $C(15,11,5)$  ; d)  $C(33,11,7)$

**Exercice 1.22**

Soit  $G$  la matrice génératrice du code linéaire systématique  $C(7,3)$   $G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

Quel est le pouvoir détecteur/correcteur de ce code ?

- détection : une erreur ; correction : une erreur
- détection : deux erreurs ; correction : une erreur
- détection : deux erreurs ; correction : deux erreurs
- détection : trois erreurs ; correction : une erreur

**Solution :**

d) détection : trois erreurs ; correction : une erreur

**Exercice 1.23**

Soit  $G$  la matrice génératrice du code linéaire systématique  $C(7,3)$ ,  $G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

Le quel de ces mot-codes n'appartient pas au code ?

- 1100011
- 0111001
- 1011100
- 1001011

**Solution :**

a) 1100011

**Exercice 1.24**

Soit H la matrice de contrôle du code linéaire systématique C(7,3),  $H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Si on a reçu le mot r = (1110101), quel est le mot qui a été émis ?

(indication : le syndrôme est donné par  $= rH^T$  ).

- a) 1110100
- b) 1110001
- c) 0110111
- d) 1011101

**Solution :**

b) 1110001

**Exercice 1.25**

Soit C un code linéaire dont les mots suivants forment une base :

{100001010, 010000101, 001001100, 000100011, 000011001}.

Quels sont la dimension, la longueur et le rendement du code ?

- a) 9 ; 5 ; 5/9
- b) 5 ; 4 ; 4/5
- c) 4 ; 9 ; 4/9
- d) 3 ; 5 ; 3/5

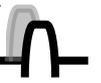
**Solution :**

d) 3 ; 5 ; 3/5

**Exercice 1.26**

Dans le cadre de l'installation d'un nouveau réseau, quels sont les éléments qu'un administrateur réseau doit utiliser pour mettre en œuvre un réseau de type 10/100 BaseT/Tx ?

- a) Des câbles de raccordement RJ-48
- b) Des connecteurs BNC
- c) Des câbles UTP de catégorie 5



- d) Une prise RJ-11
- e) Des hubs ou des Switch
- f) Des connecteurs RJ-45

**Solution :**

- c) Des câbles UTP de catégorie 5 ; e) Des hubs ou des Switch ; f) Des connecteurs RJ-45

▪ *Exercices supplémentaires*

**Exercice 1.2**

Représenter le chronogramme de la séquence binaire : 10110001, en utilisant les codes :

- 1) NRZ unipolaire
- 2) RZ polaire
- 3) Biphase (Manchester)
- 4) Miller

**Exercice 1.4**

- 1) Calculer le débit maximal autorisé sur un canal de largeur de bande 200KHz, si on utilise une modulation QAM-64. (Indication : vérifier les 2 critères Nyquist et Shannon , on donne  $S/N=25$  dB).
- 2) Une modulateur FSK-4 opère à 4 fréquences porteuses : 450, 450.2, 450.4 et 450.6 MHz , avec un débit maximal de 300Kbps. Quelle est la bande du canal ?

**Exercice 1.7**

Pour une modulation OOK à une fréquence porteuse de 75 MHz et un débit de 5 Mbps, donner: le nombre de bits par symbole M-aire, la bande passante minimale du canal si on utilise un filtrage de Nyquist de coefficient roll-off  $\alpha=0.4$ , et l'efficacité spectrale. Dessiner le spectre du signal modulé.

**Exercice 1.9**

Une modulateur FSK-2 opère à deux fréquences porteuses : 9 et 10 MHz, sur un canal de 3MHz . Quel est le débit transmis ?

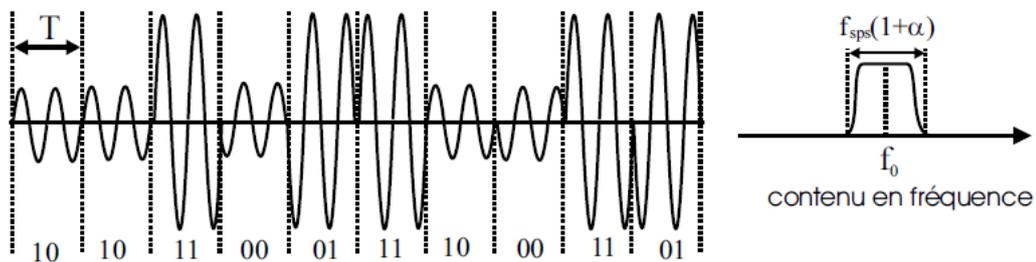
**Exercice 1.10**

Un signal binaire à 10 Mbps est modulé à 1 GHz, en utilisant un filtrage de Nyquist de coefficient roll-off  $\alpha=0.6$ . Quelles modulations numériques peuvent être utilisées si le canal est de 1 MHz ?

On veut assurer une probabilité d'erreur inférieure ou égal à  $10^{-5}$ , quelle modulation permet de fournir le meilleur rapport signal à bruit binaire ?

**Exercice 1.11**

Soit le chronogramme suivant d'un signal produit par une modulation numérique avec un filtrage de Nyquist de coefficient roll-off  $\alpha=0.8$ . Le débit étant égal à 256 Kbps.



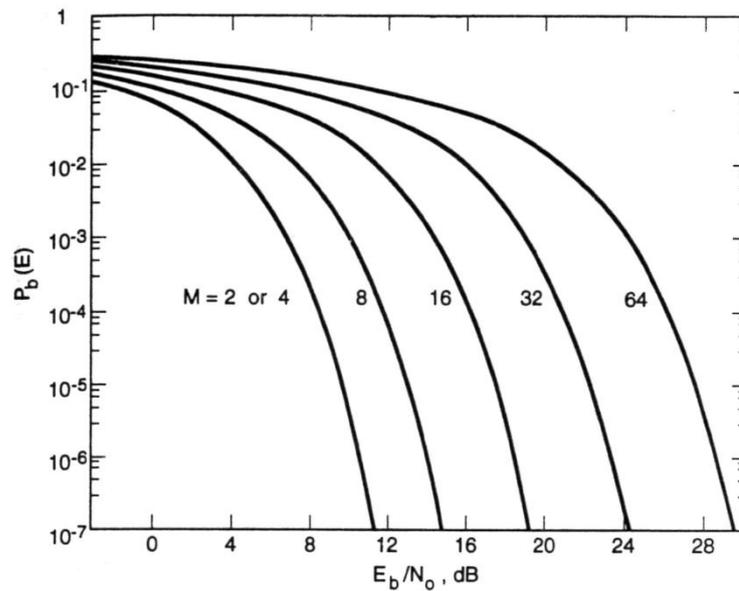
Donner :

- 1) le type de la modulation utilisée
- 2) la durée T
- 3) la bande passante du canal.

**Exercice 1.12**

On désire transmettre un débit d'informations de 50 Mbits/s sur un canal de bande passante 20 MHz en utilisant une modulation PSK-M et un filtrage de Nyquist de coefficient roll-off  $\alpha=0.6$ .

Déterminer la valeur minimale du rapport de l'énergie par bit à la densité de bruit  $\frac{E_b}{N_0}$  requis pour une probabilité d'erreur bit  $P_b(E)$  inférieure ou égal à  $10^{-6}$ . (Utiliser la figure suivante).



### Exercice 1.13

Sur une connexion ADSL à Internet on fixe les débits comme suit :

- Flux de données montant (upstream) : 512 kbps
- Flux de données descendant (downstream) : 1.5 Mbps

Déterminer la bande de fréquence minimale qu'il faut réserver pour chaque canal.

On donne : le rapport signal/bruit sur la paire symétrique :  $S/N = 30$  dB,

la modulation pratiquée : QAM-64 .

### Exercice 1.15

On considère  $N$  nœuds de réseau connectés selon l'une des topologies suivantes :

- a) en étoile
- b) en anneau
- c) en interconnexion complète

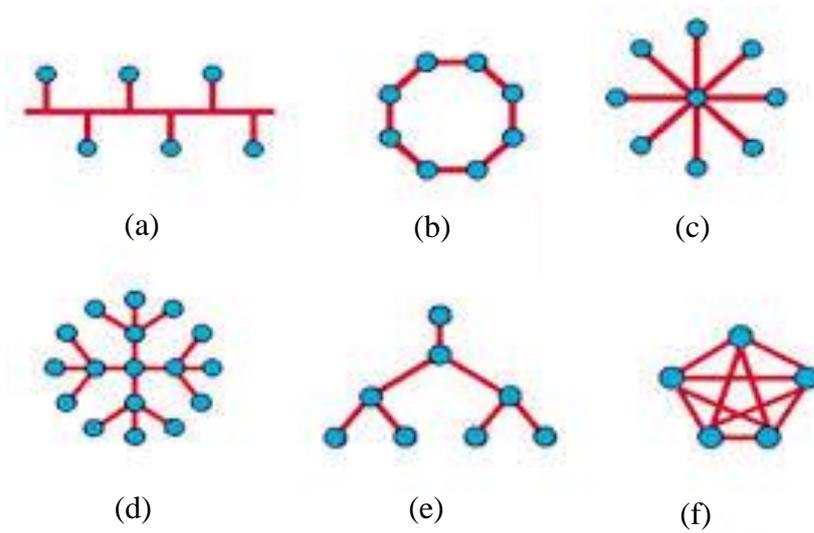
Dans chacun des cas, calculer le nombre de liaisons empruntées en moyenne dans le transport d'un message d'un point à un autre.

### Exercice 1.17

- 1) Donner les types des réseaux qui peuvent couvrir les lieux suivants :

Un stade, Parking, Toutes les mosquées d'une ville, un supermarché, un hôpital, un corps humain, une voiture, le réseau CCP, une banque, le réseau bancaire algérien, le réseau bancaire mondial

- 2) Donner pour chaque figure suivante la topologie physique correspondante et le type de support approprié.

**Exercice 1.18**

Enumérez les principales différences entre les trois types de réseaux (LAN, MAN et WAN). Quel est le type de réseau le plus adapté pour connecter deux sites localisés l'un à Oran et l'autre à Tlemcen ?

**Exercice 1.19**

Soit le code linéaire en bloc systématique  $C(n,k)$  de matrice de contrôle  $H$  suivante :

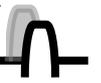
$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- 1) Déterminer la matrice génératrice de  $C(n,k)$ .
- 2) Déterminer tous les mots code. En déduire la distance minimale et le pouvoir correcteur du code  $C$ .  
Le code est-il parfait ?
- 3) Quel est le nombre de syndrome possible pour ce code ? En déduire la probabilité du décodage correct.
- 4) Si le mot 1111101 est reçu, quel est le mot qui a été émis ?

**Exercice 1.20**

On désire construire un code cyclique  $C(15,12)$ .

- 1) Donner son polynôme générateur.



- 2) Quel est son pouvoir détecteur vis-à-vis : des erreurs simples, des erreurs doubles, des erreurs d'ordre impair et des erreurs en paquets ?
- 3) Soit  $u$  un message utile :  $u = 100110100101$ , quel est le message transmis ?
- 4) Au passage du canal de transmission, le message transmis est affecté par les erreurs représentées par le polynôme erreur suivant :  $e(x) = x^3 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{13}$ 
  - a) Combien de bits sont erronés ?
  - b) Quel est le message reçu ?
  - c) Ces erreurs sont-elles détectées ? Justifier en calculant le polynôme syndrome.

On donne :

Décomposition en facteurs irréductibles :

$$x^{15} + 1 = (1 + x + x^4)(1 + x^3 + x^4)(1 + x + x^2 + x^3 + x^4)(1 + x + x^2)(1 + x)$$

Pouvoir détecteur des codes cycliques :

- Tous les codes cycliques permettent de détecter les erreurs simples.
- Les erreurs doubles sont détectées si et seulement si :
  - $x^j + 1$  n'est pas divisible par le polynôme générateur pour  $1 \leq j \leq n-1$
- Si le polynôme générateur comporte  $(1 + x)$  en facteur, toutes les erreurs d'ordre impair sont détectées.
- Tous les codes cycliques permettent de détecter les paquets d'erreurs de longueur au plus égale au degré du polynôme générateur.

### Exercice 1.27

Sur un réseau Token Ring, si une station admettant la priorité 4 et désirant émettre, reçoit un jeton dont l'« access control » est \$31 (code hexadécimal).

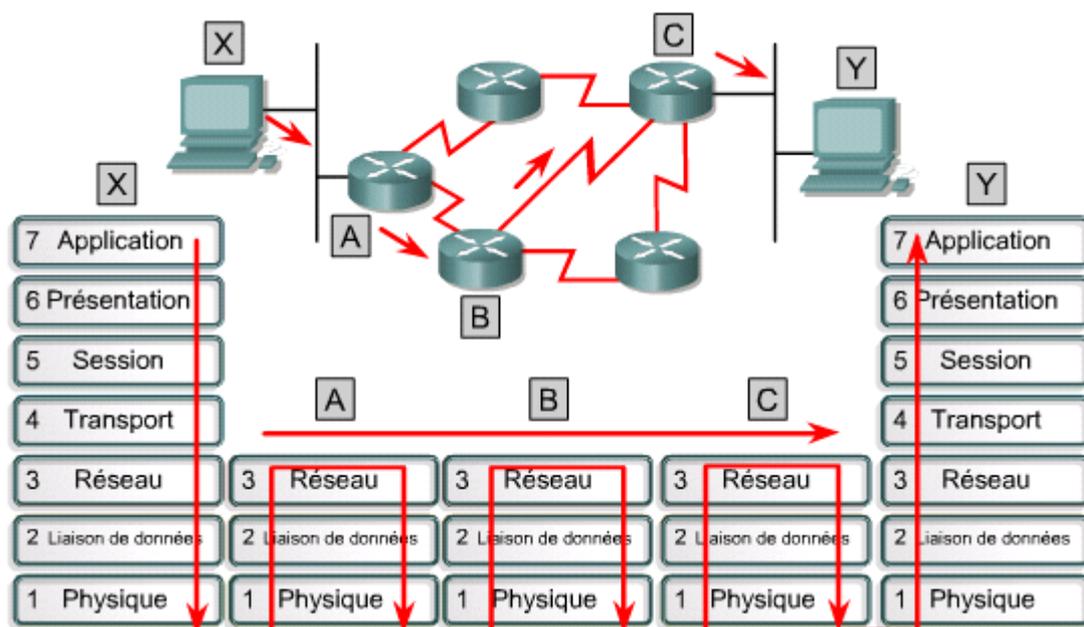
- a) elle intercepte le jeton et émet parce que sa priorité est supérieure à celle du jeton
- b) elle demande une réservation parce que la trame a fait plus d'un tour
- c) elle demande une réservation parce que le jeton n'est pas libre
- d) elle recopie la trame à la sortie et positionne les bits RRR à la valeur binaire 100 parce que le jeton est libre

## Chapitre II – Modèle en couches et Protocoles

### ▪ Exercices corrigés

#### Exercice 2.1

Soit la figure suivante représentant le schéma d'une communication utilisant une architecture réseau en 7 couches.



- 1) Donner un exemple de couches homologues et couches adjacentes.
- 2) Comment la couche Application de la machine X communique-t-elle avec la couche Application de la machine Y ?
- 3) Comment la couche Application de la machine X communique-t-elle avec la couche Présentation de la machine X ?
- 4) Comment la couche Application de la machine X communique-t-elle avec la couche Présentation de la machine Y ?
- 5) Comment la couche Application de la machine X communique-t-elle avec la couche Transport de la machine X ?
- 6) Pourquoi au niveau des nœuds A, B et C l'architecture réseau présente 3 couches seulement ?

**Exercice 2.2**

Soit à télécharger un document de 100 Moctets par un client connecté directement au serveur au moyen d'une liaison de 256 Kbits/s sur une distance de 1km.

On admettra que la vitesse de propagation du signal sur le support de transmission est :  $v = 0,77c$

$$T_t = 16 \mu\text{s}/\text{paquet}$$

$$T_a \approx 0$$

Estimer le temps du téléchargement si le document est transmis :

- a) en 1 seul paquet
- b) en plusieurs paquets de 1000 octets chacun

On néglige les bits de services (entêtes des paquets). Il n'y a pas d'accusé de réception.

**Exercice 2.6**

Quel est le délai de retour d'un message de Kbits envoyé sur un réseau en anneau de débit 16 Mbits/s, comprenant 7 stations ? Chaque station introduit un temps d'attente  $T_a$  secondes et un temps de traitement  $T_t$ . Les stations sont reliées, deux à deux, par un câble de 100 mètres. La vitesse de propagation de signaux est 100 000 km/s.

**Exercice 2.7**

Soit à télécharger un document de X Moctets par un client connecté directement à un serveur FTP au moyen d'une liaison à un débit de D Mbits/s sur une distance de d km.

On admettra que la vitesse de propagation du signal sur le support de transmission est  $v$  km/s.

Les temps de traitement et d'attente d'un paquet sont supposés négligeables.

Estimer le temps du téléchargement si le document est transmis en plusieurs paquets de longueur L octets chacun.

**Exercice 2.8**

On considère un réseau dont le débit est de D Mbits/s. Les messages envoyés sur ce réseau ont une taille maximale de n bits dont un champ de contrôle de p bits.

- 1) Quel est le nombre de messages nécessaires pour envoyer un document de X Kbits d'une station à une autre ?
- 2) On considère l'hypothèse où une station ne peut pas envoyer un nouveau message qu'après avoir reçu un acquittement de la bonne réception du message précédemment envoyé. L'acquittement prend la forme d'un message de k bits. Un temporisateur est armé à une durée T après l'envoi de

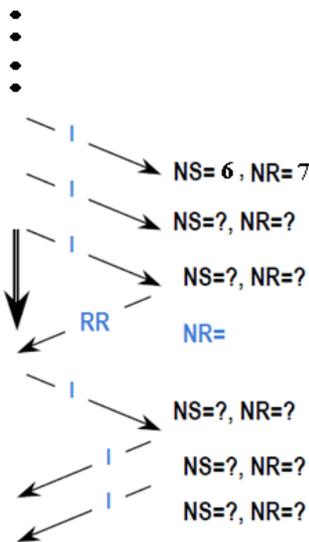


chaque message. Si le temps  $T$  expire avant la réception d'un acquittement la station émettrice renvoi le même message. La distance qui sépare les deux stations les plus éloignés sur ce réseau est de  $d$  km. La vitesse de propagation de signaux est  $v$  km/s. On admettra que les temps de traitement et d'attente  $T_t = T_a = 0$ . Quelle est la durée minimum de  $T$  ?

- 3) En ignorant le temps de propagation, quelle est la durée totale de l'envoi du document ci-dessus?
- 4) Quelle est l'efficacité du réseau dans ces conditions ?

### Exercice 2.10

Renseigner les valeurs des compteurs  $N(s)$  et  $N(r)$  dans l'échanges HDLC suivant:



### Exercice 2.31

On considère deux stations A et B utilisant la version LAP-B du protocole HDLC. Nous supposons que la liaison de données est correctement initialisée et que l'échange de données est half-duplex. On suppose, également, que la taille de la fenêtre d'acquiescement est 2.

Nous allons envisager deux scénarios pour le transfert de données entre la station A et la station B:

- 1) Premier cas : Acquiescement explicite.

La station B n'a aucune trame d'informations à émettre. La station A a 4 trames d'informations à émettre. Les trames numérotées 0 et 3 sont erronées lorsqu'elles sont émises la première fois. Elles sont réémises correctement la fois suivante. La trame numérotée 2 est erronée lorsqu'elle est émise les deux premières fois. Elle est réémise correctement la fois suivante.

- a) Donnez le diagramme des trames échangées entre les deux stations avec le mode de rejet simple (REJ).



b) Donnez le diagramme des trames échangées entre les deux stations lorsqu'elles utilisent le mode de rejet sélectif (SREJ au lieu de REJ).

2) Deuxième cas : Acquittance implicite.

On suppose la station B à 6 trames d'informations à émettre sans erreurs et que le compteur  $N(S)$  de la station A est initialisé à 5.

- Donnez le schéma des échanges entre les deux stations en indiquant le numéro des trames émises et reçues avec la nomenclature classique : I,  $N(S)$ ,  $N(R)$ .

3) On suppose maintenant que le temps d'acquittance des trames est négligeable. Les deux stations dialoguent à une vitesse de transfert de 4096 bits/s et limitent la taille du champ de données des trames d'information à 512 octets. La station A émet un fichier de 1,875 Koctets, en faisant l'hypothèse de la question b) (1<sup>er</sup> cas) :

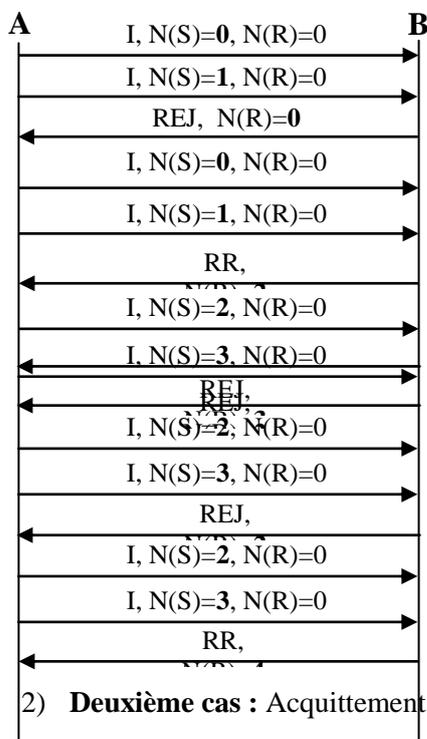
- Calculer le temps de transfert total du fichier.
- Quel est le rendement de transmission ?

**Solution :**

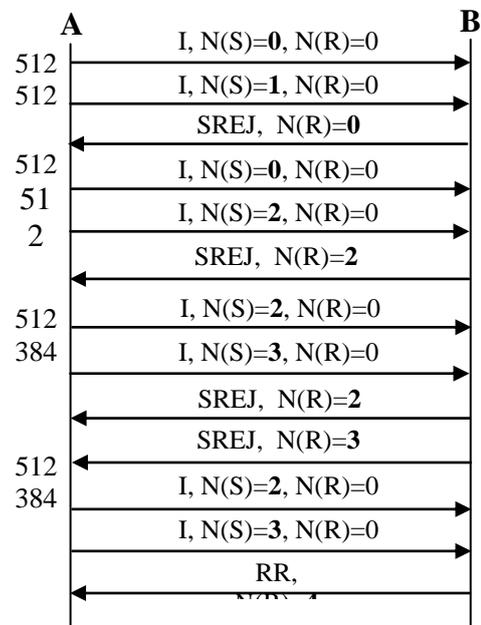
1) **Premier cas : Acquittance explicite.**

Le diagramme des trames échangées entre les deux stations A et B :

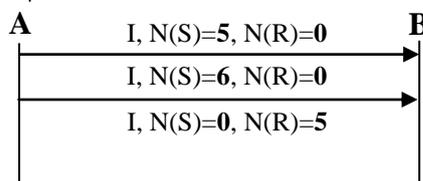
Le mode de rejet simple (REJ).

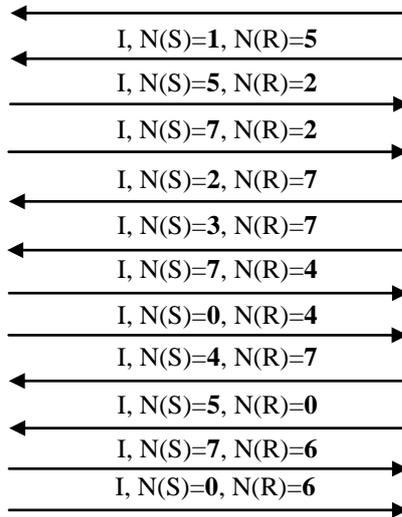


Le mode de rejet sélectif (SREJ).



2) **Deuxième cas : Acquittance implicite.**





3) Temps de transfert total du fichier :

La taille du fichier est de 1,875 Koctet et la taille du champ info = 512 octets **max**, donc le fichier doit être fragmenté **1,875 Ko = 1,875 x 1024 = 1920 = 512+512+512+384**

Chaque trame d'information doit ajouter 6 octets supplémentaires. (**1** Fanion + **1** Address + **1** commande + **2** FCS + **1** Fanion).

La taille de fichier devient :

$$(512+6)+(512+6)+(\mathbf{512+6})+(\mathbf{512+6})+(\mathbf{512+6})+(384+6)+(\mathbf{512+6})+(384+6) = \mathbf{3888 \text{ octets}}$$

**SREJ**
**SREJ**
**SREJ**
**SREJ**

$$T = \frac{3888 \times 8}{4096} = \mathbf{7,59 \text{ s}}$$

4) Rendement de transmission :

$$R = \frac{\text{Taille du fichier original}}{\text{Taille de fichier transmis}} = \frac{1920}{3888} = \mathbf{0,49 = 49\%}$$

### Exercice 2.12

Quelle est la méthode d'accès utilisée dans les normes de réseaux LAN IEEE 802.3 ?

- a) Aloha
- b) Jeton
- c) CSMA/CA
- d) CSMA/CD
- e) CSMA/CC
- f) polling

### Exercice 2.15

Dans un réseau CSMA/CD, après la  $n^{\text{ième}}$  collision, compte tenu de l'algorithme Backoff, les stations tenteront la retransmission au bout d'un temps aléatoire pris dans un intervalle :

- a) égal au précédent
- b) double du précédent
- c)  $n$  fois le précédent
- d)  $2^n$  fois le précédent

### Exercice 2.16

Dans un réseau X.25, le multiplexage de plusieurs communications sur la même liaison de données est possible en utilisant :

- a) une fragmentation des paquets X25
- b) le même circuit virtuel et différents N° d'abonné
- c) la même voie logique et différents circuits virtuels
- d) différentes voies logiques

### Exercice 2.17

Parmi les normes de réseaux LAN sans fil suivantes, quelles sont celles qui permettent de les distinguer en débit ?

- a) IEEE 802.11a
- b) IEEE 802.11b
- c) IEEE 802.11e
- d) IEEE 802.11g
- e) IEEE 802.11i
- f) IEEE 802.11n

### Exercice 2.17

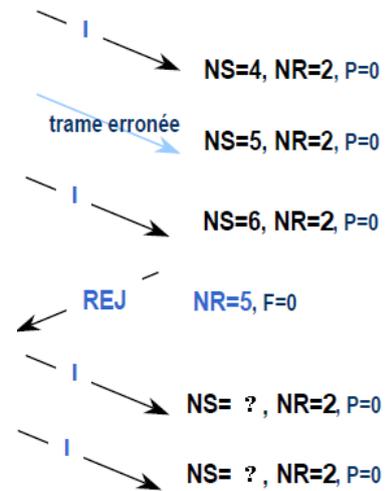
Quel est le standard de réseaux, parmi les suivants, qui utilise la technique d'accès CSMA/CD ?

- a) IEEE 802.3
- b) IEEE 802.4
- c) IEEE 802.5
- d) IEEE 802.11
- e) IEEE 802.15
- f) IEEE 802.16

**Exercice 2.18**

1. Dans l'échange HDLC (LAP-B) suivant, quelles sont les valeurs des compteurs N(s) manquants ?

- a) NS= 4 puis NS= 7
- b) NS= 5 puis NS= 6
- c) NS= 5 puis NS= 7
- d) NS= 7 puis NS= 0



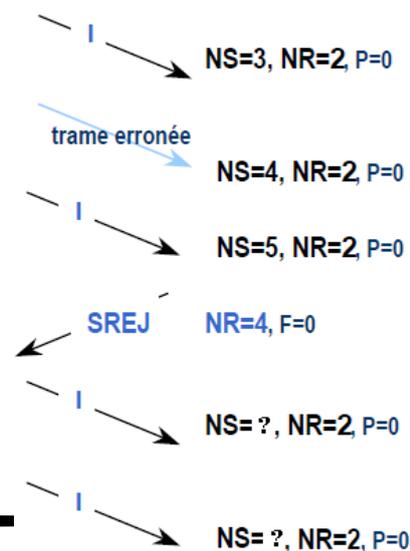
**Exercice 2.19**

Soit un réseau local en bus de longueur  $d=2560\text{m}$ , le débit étant  $D=10\text{Mbps}$ , la vitesse de propagation  $v=0.33c$ . Donner la longueur minimale d'une trame sur le bus pour que le protocole CSMA/CD fonctionne (c.-à-d. que la station doit détecter la collision pendant sa propre émission).

**Exercice 2.20**

2. Dans l'échange HDLC (LAP-B) suivant, quelles sont les valeurs des compteurs N(s) manquants ?

- a) NS= 4 puis NS= 6
- b) NS= 4 puis NS= 5
- c) NS= 5 puis NS= 6
- d) NS= 6 puis NS= 7



**Exercice 2.29**



On considère deux stations A et B utilisant la version LAP-B du protocole HDLC. On suppose que l'initialisation de la liaison de données n'a pas été effectuée et que le temps de propagation et d'acquittement des trames est négligeable. On suppose de même que la taille de la fenêtre d'acquittement est 2 et que l'échange de données est half-duplex.

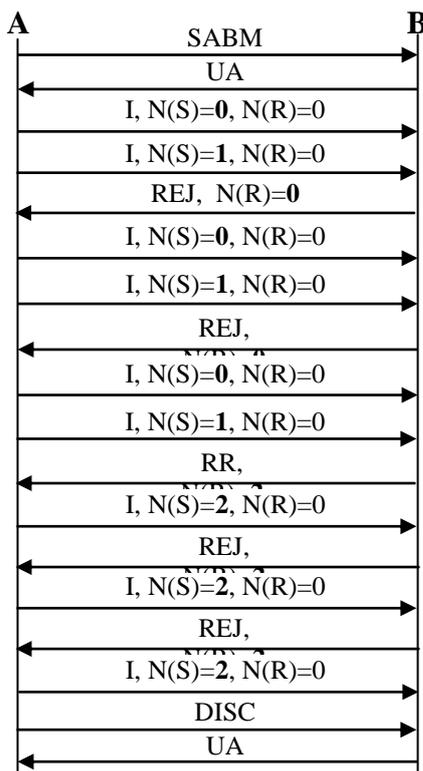
La station B n'a aucune trame d'informations à émettre. La station A a 3 trames d'informations à émettre. Les trames numérotées 0 et 2 sont erronées lorsqu'elles sont émises les deux premières fois. Elles sont réémises correctement la fois suivante.

1. Donnez le diagramme des trames échangées entre les deux stations avec le mode de rejet simple (REJ).
2. Donnez le diagramme des trames échangées entre les deux stations lorsqu'elles utilisent le mode de rejet sélectif (SREJ au lieu de REJ).

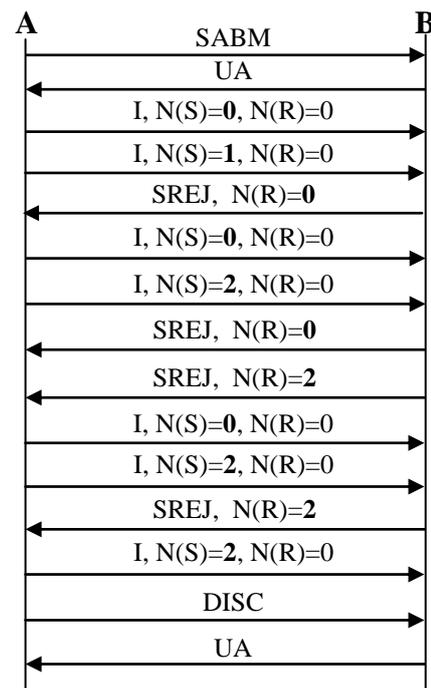
**Solution :**

Le diagramme des trames échangées entre les deux stations A et B :

Le mode de rejet simple (REJ).



Le mode de rejet sélectif (SREJ).



**Exercice 2.21**

Dans sa version basique, la technologie Frame Relay utilise un adressage de voie logique comportant :

- a) 8
- b) 10
- c) 17
- d) 24

**Exercice 2.22**

Dans le réseau Frame Relay, lequel des (DLCI) suivants est réservé pour la signalisation de la congestion? Pour l'établissement d'un circuit virtuel ?

- a) 0
- b) 15
- c) 1023
- d) 1024

**Exercice 2.23**

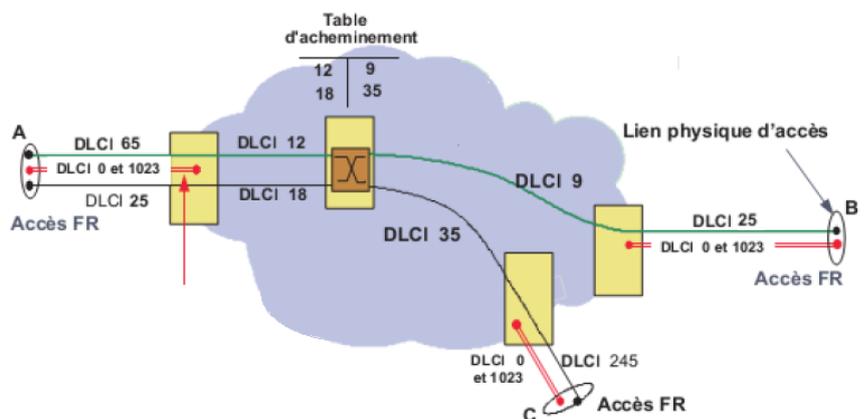
Dans la technologie Frame Relay, les bits FECN, BECN et DE sont des bits :

- a) pour le contrôle de la congestion
- b) pour traiter les erreurs
- c) pour effectuer des contrôles de flux
- d) pour numéroté les trames

**Exercice 2.24**

Dans le schéma suivant, le circuit virtuel entre A et C résulte de la concaténation des voies logiques suivantes :

- a) 65, 12, 35, 245
- b) 25, 18,35, 245
- c) 0, 18, 35, 1023
- d) 25, 18, 12, 65



**Exercice 2.25**

Comment la technologie Frame Relay traite-t-elle les trames qui contiennent des erreurs ?

- a) La technologie Frame Relay oblige l'équipement récepteur à demander à l'émetteur la retransmission des trames erronées.
- b) Les bits FECN, BECN et DE sont configurés dans les trames afin de réduire les erreurs.
- c) L'équipement récepteur supprime toutes les trames contenant des erreurs sans en informer l'émetteur.
- d) Un commutateur Frame Relay indique à l'émetteur les erreurs qu'il détecte.

**Exercice 2.32**

- 1) Quelle est la longueur de l'entête d'un paquet IP version 4 ? Quel champ de l'entête IP permet de déterminer le protocole transport encapsulé dans IP ?
- 2) Quel service permet d'assurer une configuration automatique des paramètres réseau ?

**Exercice 2.33**

- 1) Lorsqu'un datagramme IP est perdu avant d'atteindre sa destination, expliquer comment le récepteur peut-il le récupérer.
- 2) Donner la représentation d'une connexion TCP en Three-way Handshake entre client –serveur.  
On donne :

	numéro de séquence initial	port d'application	@ IP
client	7000	1500	198.100.150.3
serveur	2000	25	66.20.35.177

- 3) Par quel mécanisme est assuré le contrôle de flux dans TCP ?

### ▪ *Exercices supplémentaires*

**Exercice 2.3**

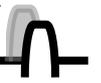
Des caractères ASCII sur 8 bits sont envoyés sur une voie de transmission de débit nominal  $D$ .

- 1) On effectue la transmission en mode asynchrone avec un bit start et un bit stop. Exprimer en fonction de  $D$  le débit utile  $D_u$ .
- 2) On effectue la transmission en mode synchrone avec des trames comportant un fanion de début et un fanion de fin, chacun de 8 bits, un champ de contrôle de 48 bits et un champ d'information de  $L$  bits. Exprimer en fonction de  $D$  le débit utile  $D_u$ .

**Exercice 2.4**

On définit un protocole de transmission de trames d'un nœud A vers un nœud B de la manière suivante :

- l'émetteur envoie successivement trois trames puis attend leur acquittement de la part de B.



- quand cet acquittement arrive, l'émetteur envoie les N trames suivantes et attend un nouvel acquittement.
  - les trames sont composées de 1024 bits dont 80 bits de contrôle
  - les acquittements sont composés de 64 bits
  - le débit de la voie est de 2 Mbits/s, la distance entre A et B est de 10 km et la vitesse de propagation des OEM est de  $3 \cdot 10^8$  m/s.
- 1) Quelle est la durée T nécessaire à l'expédition confirmée (avec ACK) d'une trame ?
  - 2) Quel est le taux d'occupation de la voie ?
  - 3) Un message de 1 Mo est envoyé de A vers B par utilisation du protocole précédent. Quelle est la durée totale de la transmission de ce message ?

### Exercice 2.5

On imagine un protocole de transmission obéissant aux règles suivantes :

- le débit est D
- à la suite de l'envoi d'une trame par la station A, un acquittement est renvoyé à A par la station B destinataire de la trame. On considérera que cet acquittement peut être réduit à 1 bit.
- la longueur L de la trame est fixe

On désigne par d la distance entre les stations A et B et par v la vitesse de propagation du signal sur la voie reliant A et B.

- 1) Exprimer le temps total de transmission d'une trame T (depuis l'émission du premier bit jusqu'à la réception de l'acquittement) en fonction de L, D, d, v.
- 2) En déduire en fonction du rapport  $\lambda = T_p / T_e$  le taux d'occupation de la voie  $\xi$  (le temps d'émission  $T_e$  d'une trame sur le temps total de transmission T) ;  $T_p$  désigne le temps de propagation entre A et B.
- 3) Application numérique : Calculer  $\xi$  pour  $L=1024$  bits ;  $D = 64$  Kbits/s ;  $d = 1000$  m ;  $v = 2 \cdot 10^8$  m/s
- 4) Application numérique : Calculer  $\xi$  pour  $L = 53$  octets ;  $D = 155$  Mbits/s ;  $d = 1000$  m ;  $v = 2 \cdot 10^8$  m/s (situation présentant des analogies avec l'ATM).
- 5) A partir des résultats des deux applications numériques précédentes, quelles conclusions pouvez-vous en tirer ?

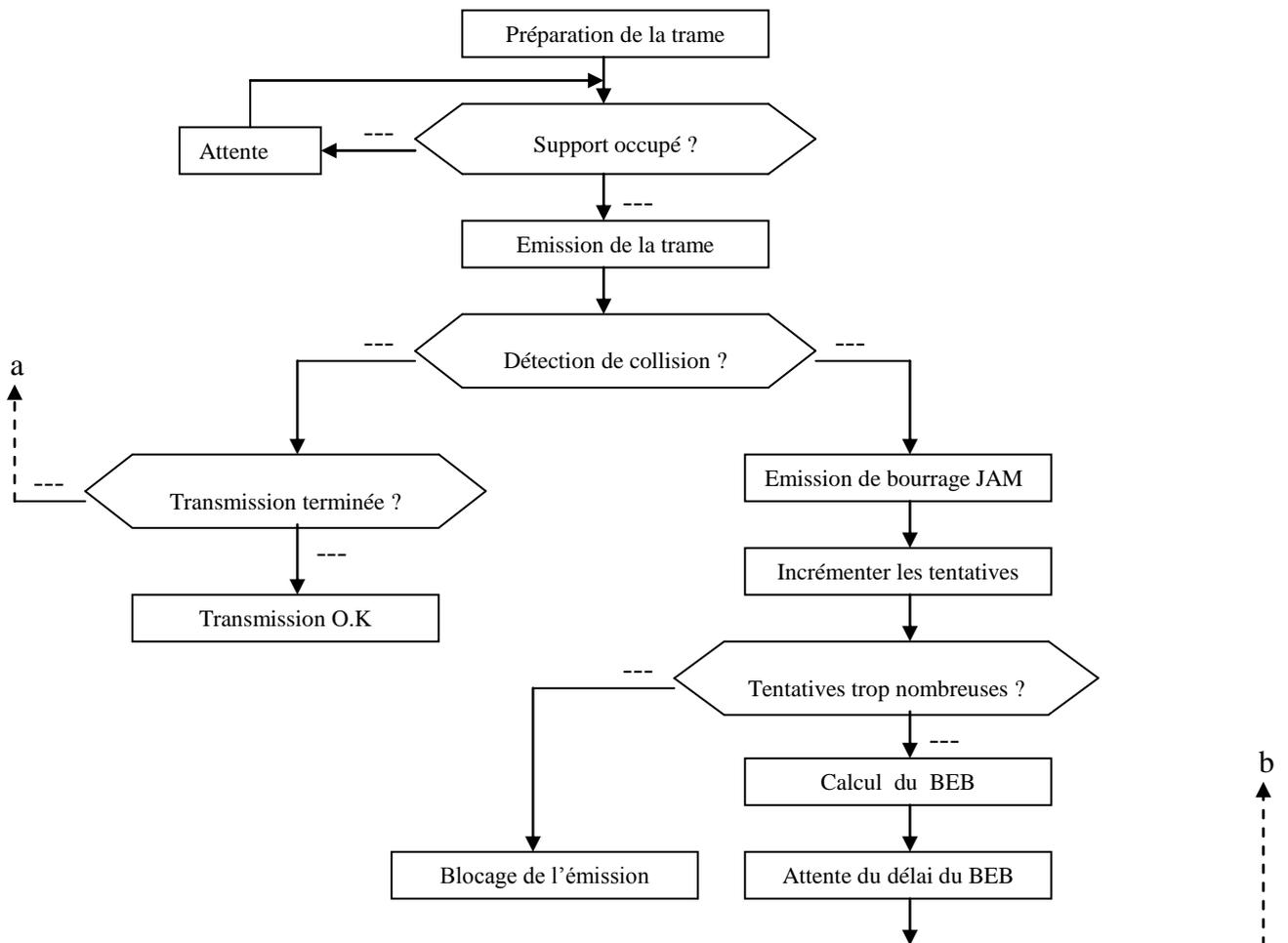
### Exercice 2.9



**Exercice 2.13**

Soit le schéma d'émission d'une trame Ethernet (CSMA/CD) suivant :

Compléter l'organigramme en remplaçant les pointillés par oui ou non. Donner les branchements a et b



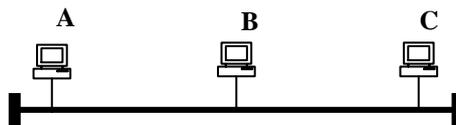
**Exercice 2.14**

Un réseau à 10 Mbps utilisant la méthode CSMA/CD, est composé de 3 stations A, B et C.

1. Calculer le temps de propagation  $t_p$  entre les deux stations les plus éloignées pour une trame Ethernet II minimale de 64 octets.
2. A l'instant  $t_0$ , la station A émet une trame vers la station B, quelle est la durée minimale d'écoute pour pouvoir détecter une collision ?
3. A l'instant  $t_0 + t_p/5$ , la station C émet vers la station B, à quel instant la collision se produit-elle ?
4. A quels instants la collision est détectée par C, et par A ?

### Exercice 2.26

Un réseau Ethernet en bus à 10 Mbits/s est composé de 3 stations A, B et C



- 1) Calculer  $T_p$  (max) entre les 2 stations les plus éloignées pour une trame de 64 octets ?
- 2) Quelle est la durée minimale d'écoute avant toute émission ?
- 3) à  $t=0s$ , A émet vers C, et à  $t=T_p/3$ , C émet vers B. On demande l'instant de collision  $T_c$  ?
- 4) A quel instant la collision est détectée par C et par A ?

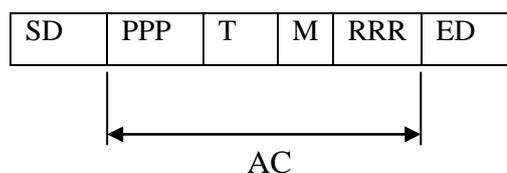
### Exercice 2.27

Sur un réseau Token Ring, une station admettant la priorité 4 et désirant émettre, reçoit un jeton dont l'access control (AC) est \$31 (code hexadécimal).

Donner :

- 1) La méthode d'accès au support utilisée dans le réseau.
- 2) L'état du jeton.
- 3) L'état de l'active monitor, et sa signification
- 4) La priorité du jeton.
- 5) La priorité de la station émettrice.
- 6) Le nouveau champ « AC » pour que la station de la priorité 4 intercepte le jeton pour émettre, justifier votre réponse?

Format du jeton:



SD: Starting Delimiter ( 1 Octet).

ED: Ending Delimiter ( 1 Octet).

AC: Access Control (1 Octet).

### Exercice 2.28

On considère sur une liaison HDLC, le transfert d'un fichier de 80 koctets= $80 \times 1024 \times 8$  bits d'une station vers le réseau X25 auquel elle est rattachée à une distance  $d=2$  km.

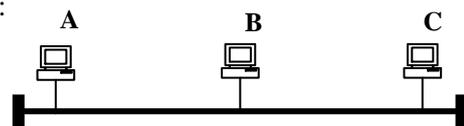
La taille de la trame LAP-B est  $L=328$  bits, la fenêtre d'acquittement niveau trame est égal à 4 et la taille de la trame d'acquittement est  $\ell$ , la vitesse de propagation est  $v=100\,000$  km/s le débit est de 54Kbit/s. Les données utiles sont encapsulées dans des paquets X25-3.

- 1) Calculer le temps de propagation  $T_p$ , le temps d'émission  $T_e$  d'une trame de données et le temps d'émission d'une trame d'acquittement  $T_a$ .
- 2) Donner le nombre  $n$  de trames nécessaires au transfert.
- 3) Calculer le temps total  $T_{tot}$  de transfert du fichier ; En déduire le débit utile  $D_u$ .

### Exercice 2.30

Soit le réseau en bus (Méthode d'accès CSMA/CD) suivant :

- à  $t=0\mu\text{s}$  A émit vers C.
- à  $t=2\mu\text{s}$  C émit vers B.
- à  $t=10\mu\text{s}$  C reçoit la collision.



Déterminer le temps de propagation  $T_p$ .

### Exercice 2.34

Soit une connexion TCP reliant deux applications A et B, et permettant d'envoyer des segments TCP de 800 octets au maximum. A envoie à B trois segments de tailles respectives 750, 350 et 10 octets. Le premier segment est perdu par le réseau.

Donner le chronogramme d'échange des paquets TCP sur cette connexion.

### Exercice 2.35

On considère deux stations A et B connectées sur un réseau local 10BaseT. On exécute sur les deux machines une application d'échange de messages texte utilisant le protocole TCP. La taille maximale d'un message texte est fixée à 33 caractères. Un caractère est codé sur 1 octet. La taille de la fenêtre TCP est fixe à 33 octets.

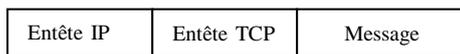
- 1) Quel est le taux d'utilisation du réseau lors d'une session d'échange de  $x$  messages de taille maximale ?
- 2) Quel est ce taux si l'on utilise UDP au lieu de TCP?



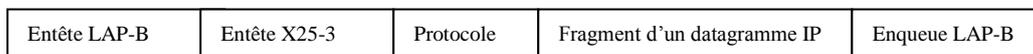
- 3) Calculer le temps d'exécution d'une session d'échange avec TCP de 10 messages texte de taille maximale, ainsi que le taux d'utilisation du réseau.

### Exercice 2.36

Deux réseaux locaux Ethernet distants, utilisant le protocole TCP/IP sont interconnectés par une liaison X25. Ils échangent des données sous forme de  $n$  messages de  $p$  octets chacun. Chaque message correspond à un datagramme IP sous forme :



Le transfert d'un paquet IP se fait par fragmentation de celui-ci en plusieurs paquets X25 de  $q$  octets chacun, correspondant au champ de données X25. L'encapsulation des datagrammes IP dans les paquets X25, utilisant 2 octets protocolaires, se fait comme suit :



Le débit de la liaison X25 étant égal à  $D$ .

- 1) Donner :
  - le nombre de paquet X25 nécessaire au transfert d'un paquet IP.
  - la taille des données utiles transmises pour la première trame et les trames suivantes.
  - la taille des données transmises (données utiles et informations de service) pour chaque message.
- 2) Déterminer les valeurs de  $p$  et  $q$  qui permettent d'optimiser le débit utile.

## Chapitre III – Adressage IP, Sous-réseaux

### Exercice 3.1

1. Quelle classe d'adresse IPv4 est utilisée pour l'unicast? pour le multicast ?
  - a) A
  - b) B
  - c) C
  - d) D
  - e) E
  - f) F

### Exercice 3.2

Une petite entreprise dispose d'une licence réseau de classe C et doit créer cinq sous-réseaux utilisables, chacun d'eux étant capable de prendre en charge au moins 20 hôtes. Quel est le masque de sous-réseau approprié ?

- a) 255.255.255.0
- b) 255.255.255.192
- c) 255.255.255.224
- d) 255.255.255.240

### Exercice 3.3

Lequel des hôtes ci après doit utiliser un routeur pour communiquer avec l'hôte 129.23.144.10 si le masque de sous réseau est 255.255.192.0 ?

- a) 129.23.191.21
- b) 129.23.2.259
- c) 129.23.130.33
- d) 129.23.148.127
- e) 129.23.264.127

**Exercice 3.4**

Une organisation a obtenu le numéro de réseau 100.0.0.0. Elle a décidé d'utiliser des sous réseaux ne dépassant pas 5000 stations chacun. Quel masque de sous réseau permettra d'obtenir le nombre maximal de sous réseaux ?

- a) 255.255.0.0
- b) 255.255.240.0
- c) 255.224.0.0
- d) 255.255.224.0
- e) 255.255.255.0
- f) 255.255.255.240

**Exercice 3.5**

Quelle est l'adresse initiale d'une machine configurée pour utiliser un serveur DHCP ?

- a) 127.0.0.1
- b) 255.255.255.255
- c) 0.0.0.0
- d) 192.168.0.1
- e) 1.1.1.1
- f) 1.0.0.0

**Exercice 3.6**

- 1) Quelles adresses IP se trouvent sur le même sous réseau que 130.12.127.231  
si : a) le masque est 255.255.0.0,  
b) le masque est 255.255.240.0

130.45.130.1    130.22.127.231    130.12.64.23    130.12.128.167

- 2) Comment fonctionne le système d'acquittement dans TCP ? Expliquer comment le récepteur peut-il récupérer un paquet IP perdu avant d'atteindre sa destination.
- 3) Quels sont les champs d'un paquet IP qui seront modifiés lors d'un passage à travers un routeur ?

**Exercice 3.7**

Soit le réseau 172.16.0.0 avec un masque de sous réseau 255.255.254.0 donner les adresses impossibles et celles qui sont dans le même sous réseau ?

- |                 |                |                 |
|-----------------|----------------|-----------------|
| - 172.16.1.1    | - 172.16.1.50  | - 172.16.50.50  |
| - 172.16.254.52 | - 172.16.50.51 | - 172.16.250.50 |
| - 172.16.6.3    | - 172.16.7.20  | - 172.16.249.45 |
| - 172.51.51.20  | - 172.16.45.20 | - 172.16.45.21  |

**Exercice 3.8**

A partir d'une adresse IP de réseau et d'un nombre voulu de sous-réseaux, calculez le masque de sous-réseau et le nombre de machines par sous-réseau.

- 148.25.0.0 et 37 sous-réseaux
- 198.63.24.0 et 4 sous-réseaux
- 110.0.0.0 et 1000 sous-réseaux
- 175.23.0.0 et 550 sous-réseaux
- 209.206.202.0 et 60 sous-réseaux

**Exercice 3.9**

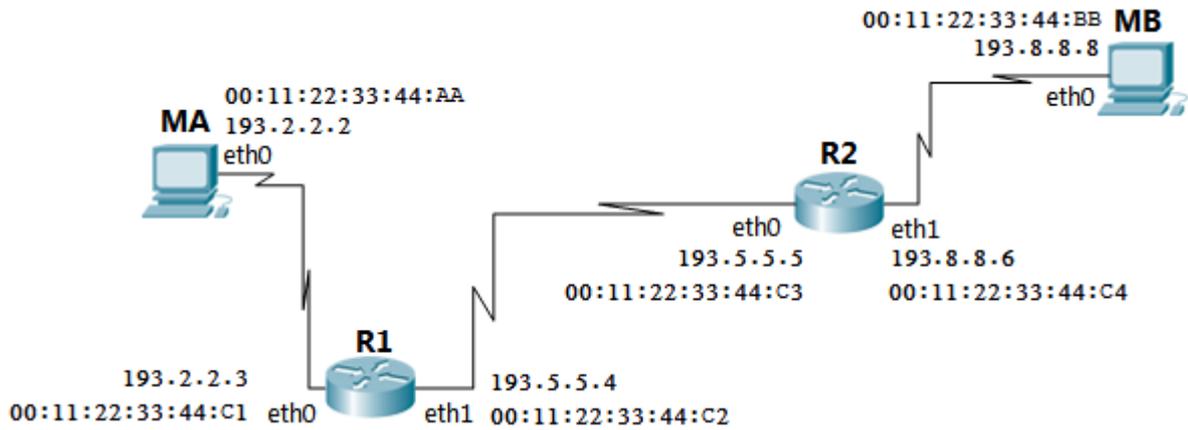
Deux réseaux X et Y utilisant le protocole TCP/IP sont reliés via un routeur. L'entreprise utilise un adressage de classe A et a défini le masque de sous réseau suivant : 255.50.0.0 . Vous êtes appelé par un de vos utilisateurs qui travaille sur le réseau X avec une machine d'adresse 70.16.0.1 et qui veut joindre la machine 70.80.0.1 du réseau Y. Il n'y parvient pas .Expliquer pourquoi.

**Exercice 3.10**

On considère le réseau, représenté par la figure ci-dessous, où la machine MA souhaite envoyer un datagramme à la machine MB. Les deux machines n'étant pas sur le même sous-réseau, le datagramme va donc devoir être routé via les deux routeurs R1 et R2.

Ce réseau est supporté par trois réseaux physiques Ethernet dont les adresses Internet, de classe C et de masque 255.255.255.0, sont 193.2.2.0, 193.5.5.0 et 193.8.8.0.

- 1) Donnez les adresses source et destination du paquet IP prêt à être envoyé préparé sur MA
- 2) Donnez les tables de routage initiales les plus simples (minimales), sur chaque machine (MA, R1, R2 et MB), permettant l'acheminement du paquet de MA vers MB.

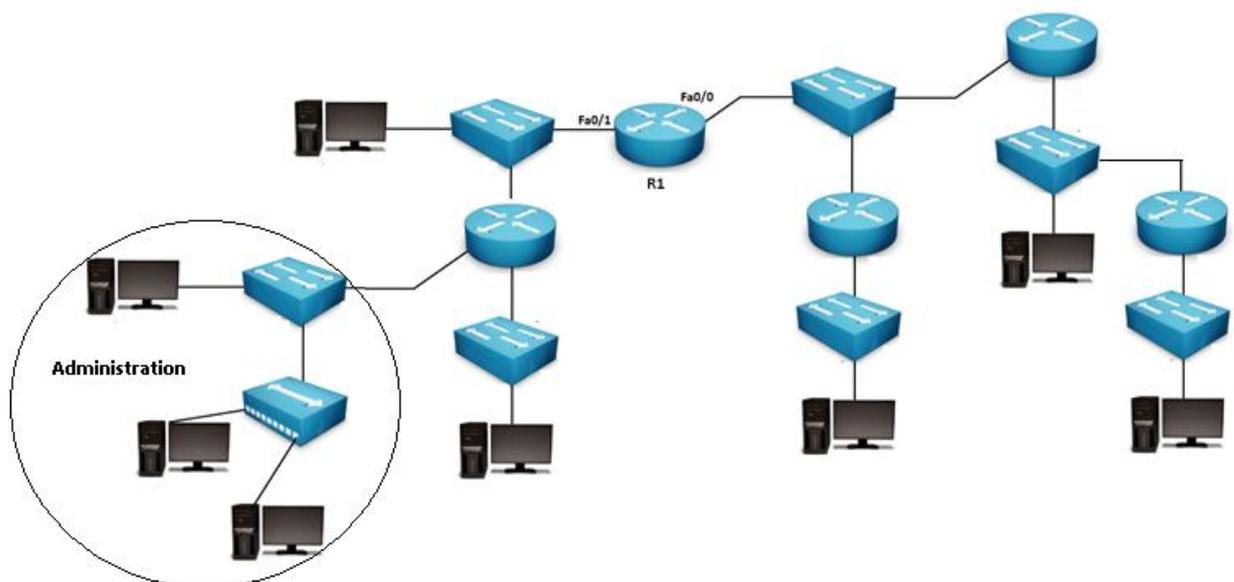


- 3) Donnez les étapes successives nécessaires à cet acheminement, en précisant les adresses utilisées dans les en-têtes des trames Ethernet envoyées pour transporter le paquet ci-dessus (On suppose que chaque machine connaît préalablement les @MAC des machines de son réseau local)

### Exercice 3.11

Une entreprise organisée en plusieurs départements, décide pour ses besoins en technologie d'information et de communication de déployer un réseau informatique sur le modèle TCP/IP.

- Chaque département est mis dans un sous réseau à part
- Après en avoir fait la demande l'entreprise a obtenu l'adresse de réseau 180.80.0.0
- Compte tenu de l'organisation actuelle de l'entreprise l'ingénieur système doit définir au moins 7 sous-réseaux. Compte tenu de l'évolution prévisible de l'entreprise, l'ingénieur système pense que le sous-réseau le plus important peut comporter à moyen terme 80 machines.

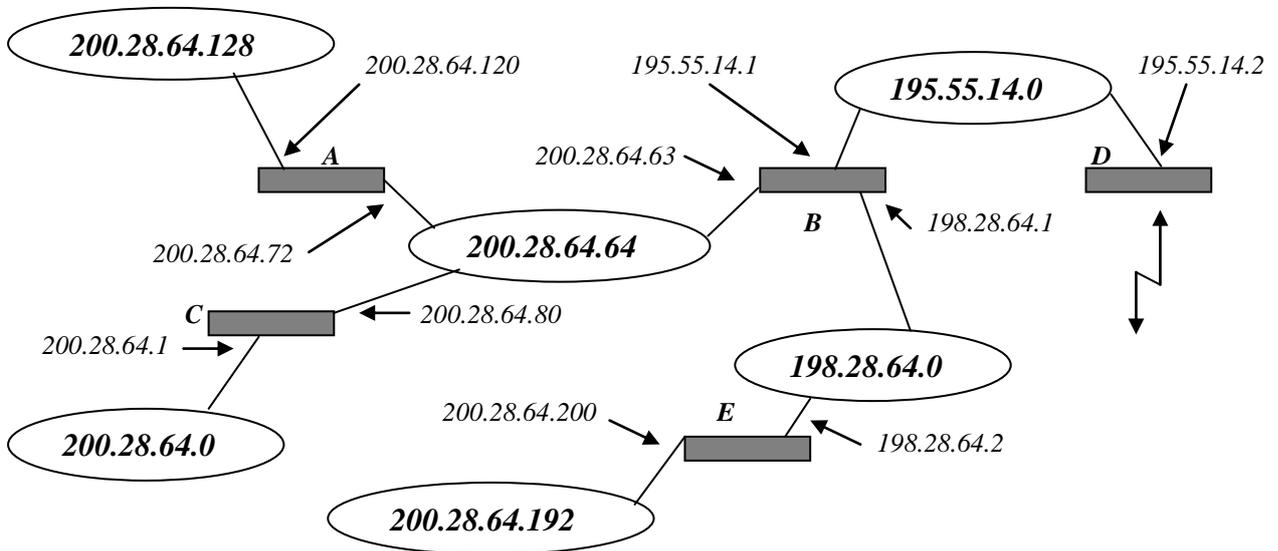




- 1) Quel masque de sous réseau permet d'obtenir le nombre maximal de sous réseaux ? Quel est ce nombre ?
- 2) Le masque retenu est 255.255.254.0.
  - Donner le nombre maximal de machines par sous réseau. Cela convient-il aux prévisions de l'entreprise ?
- 3) Pour des raisons administratives, on réserve pour le département Administration l'adresse de sous réseau 180.80.0.0
  - Donner, en notation CIDR, les adresses IP des sous réseaux ainsi que leurs adresses de diffusion correspondantes.
  - Reporter les adresses IP des sous réseaux sur la figure, en indiquant les adresses des interfaces des routeurs.

### Exercice 3.12

Soit le système de réseau TCP/IP suivant :



Donner :

- 1) les classes de réseaux IP figurant dans le système de la figure ci-dessus
- 2) les différents réseaux et sous-réseaux
- 3) les masques de réseaux et sous -réseaux.

Des adresses IP des cartes interfaces réseaux des routeurs du système ci-dessus sont mal configurées.



- 4) Quels sont les routeurs et les adresses en question ?
- 5) Quelles seront les adresses IP exactes des cartes interfaces si on veut que les adresses machines de celles-ci dans les sous-réseaux correspondants soit 10.

On suppose maintenant, que tous les routeurs sont bien configurés. Le routeur-D reçoit un paquet IP d'entête :

45000054C427000001067CA82B1C3856C81C40CE

- 6) A quelle machine est destiné ce paquet ?
- 7) A quelle classe appartient l'adresse de l'émetteur ?
- 8) Donner la longueur en octets des données transportées par ce paquet.
- 9) Quel est le protocole transport encapsulé dans ce paquet ?
- 10) Ce paquet ne parviendra pas à destination. Pourquoi ?

### Exercice 3.13

#### Partie A

Les adresses réseau 172.16.128.0/17 sont utilisées pour fournir l'adressage IP du réseau présenté dans le diagramme de topologie suivant :

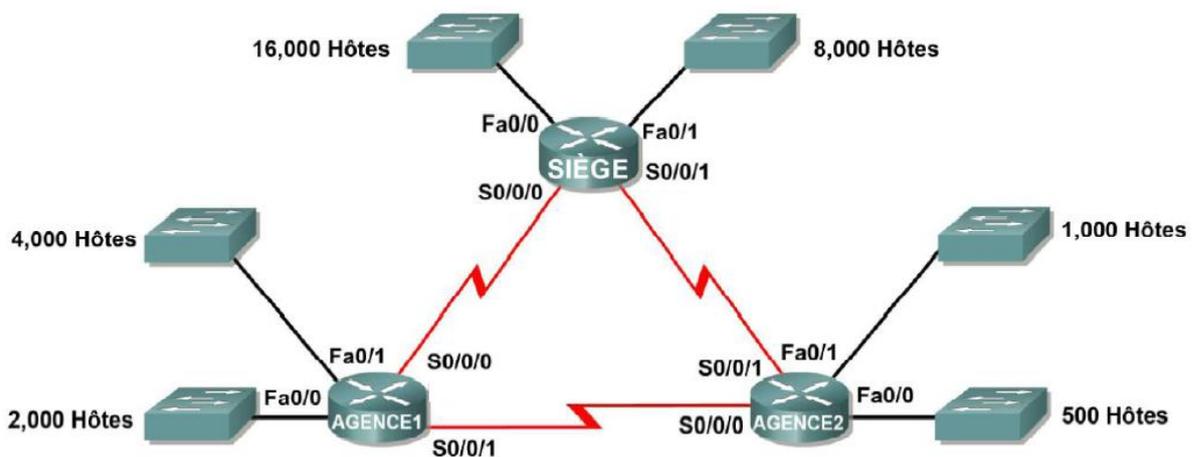


Figure 1

Dans le plan d'adressage ci-dessous élaboré pour ce réseau, la technologie VLSM est incorrectement utilisée pour définir l'espace d'adressage de sous-réseau. On vous demande :

- 1) de déterminer où se trouvent les erreurs et de les corriger.
- 2) d'attribuer aux interfaces des routeurs les adresses IP disponibles les plus hautes possibles.

## Plan d'adressage

Sous-réseau	Nombre d'adresses IP nécessaires	Adresse réseau
Réseau local LAN1 de SIEGE	16 000	172.16.128.0/19
Réseau local LAN2 de SIEGE	8 000	172.16.192.0/18
Réseau local LAN1 de AGENCE1	4 000	172.16.224.0/20
Réseau local LAN2 de AGENCE1	2 000	172.16.240.0/21
Réseau local LAN1 de AGENCE2	1 000	172.16.244.0/24
Réseau local LAN2 de AGENCE2	500	172.16.252.0/23
Liaison de SIEGE à AGENCE1	2	172.16.254.0/28
Liaison de SIEGE à AGENCE2	2	172.16.154.6/30
Liaison de AGENCE1 à AGENCE2	2	172.16.254.8/30

## Partie B

Soit le réseau de la Figure 2, réparti en 3 départements : Administratif, Commercial et Production.

Données :

- Chaque département est mis dans un sous réseau à part
- Nombre maximal de machines par département : 40
  - Adresse de réseau 199.80.0.0

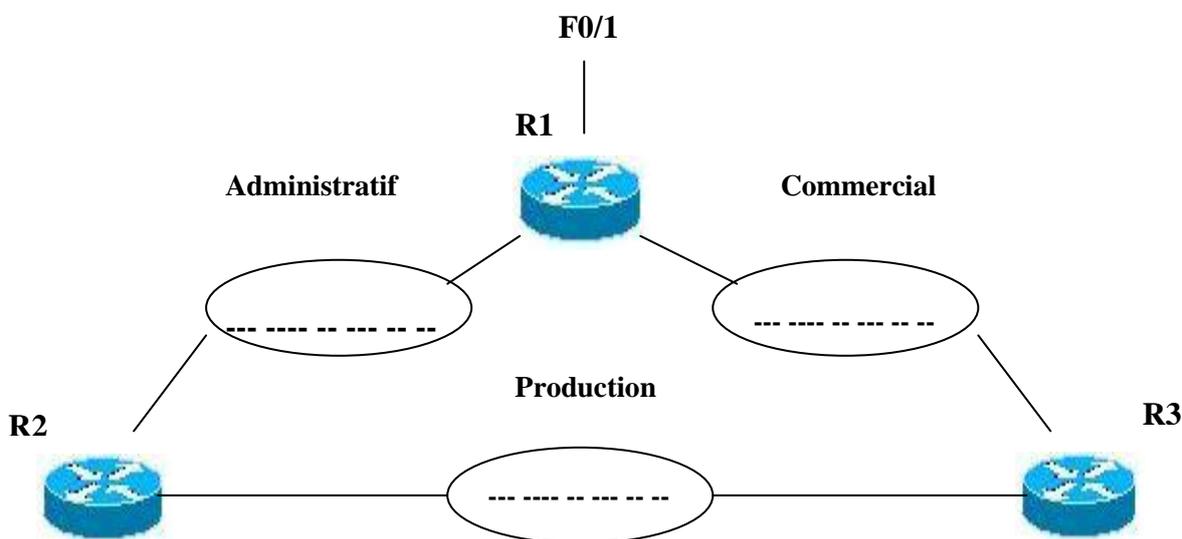
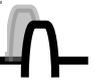


Figure 2

1) Proposer un masque de sous réseau permettant d'obtenir le nombre maximal de sous réseaux ?

Quel est ce nombre ?

2) Pour des raisons administratives, on réserve pour le département Administratif l'adresse de sous réseau 199.80.0.0



- a) Donner les adresses IP des sous réseaux ainsi que leurs adresses de diffusion correspondantes.
  - b) Reporter les adresses IP des sous réseaux sur la figure 2, en indiquant les adresses des interfaces des routeurs.
- 3) Donner la table de routage du routeur R3 (Métrique =0 pour réseau directement accessible).
  - 4) Le réseau de la Figure 2 est maintenant relié par le biais de l'interface F0/1 du routeur R1, au réseau de la Figure 1, sur le LAN 2 (AGENCE2).
    - a) Donner ce qu'il y a lieu de changer.
    - b) Donner la table de routage du routeur AGENCE2.
    - c) Décoder la trame suivante et dites sur quelle interface et par quel routeur le paquet encapsulé est-il reçu ?

```

FF FF FF FF FF FF 00 14 2A 91 11 E9 08 06 00 01
08 00 06 04 00 01 00 14 2A 91 11 E9 B0 3E 07 02
00 00 00 00 00 00 B0 3E 05 22 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

```

### Exercice 3.14

Une société veut se connecter à Internet. Pour cela, elle demande une adresse réseau de classe B afin de contrôler ses 1600 machines. L'organisme chargé de l'affectation des adresses réseau lui alloue plusieurs adresses de classe C consécutives au lieu d'une adresse de classe B.

- 1) Combien d'adresses réseau de classe C faut-il pour gérer toutes les machines ?
- 2) La structure de la société comprend 4 services. L'administrateur a prévu pour cela 4 sous-réseaux, un sous-réseau pour chaque service. Le nombre d'adresses de classe C obtenu sera-t-il suffisant ? Donner le masque de sous-réseau utilisé.
- 3) Donner un exemple pratique (adresses réseaux de classe C pour chaque service).

### Exercice 3.15

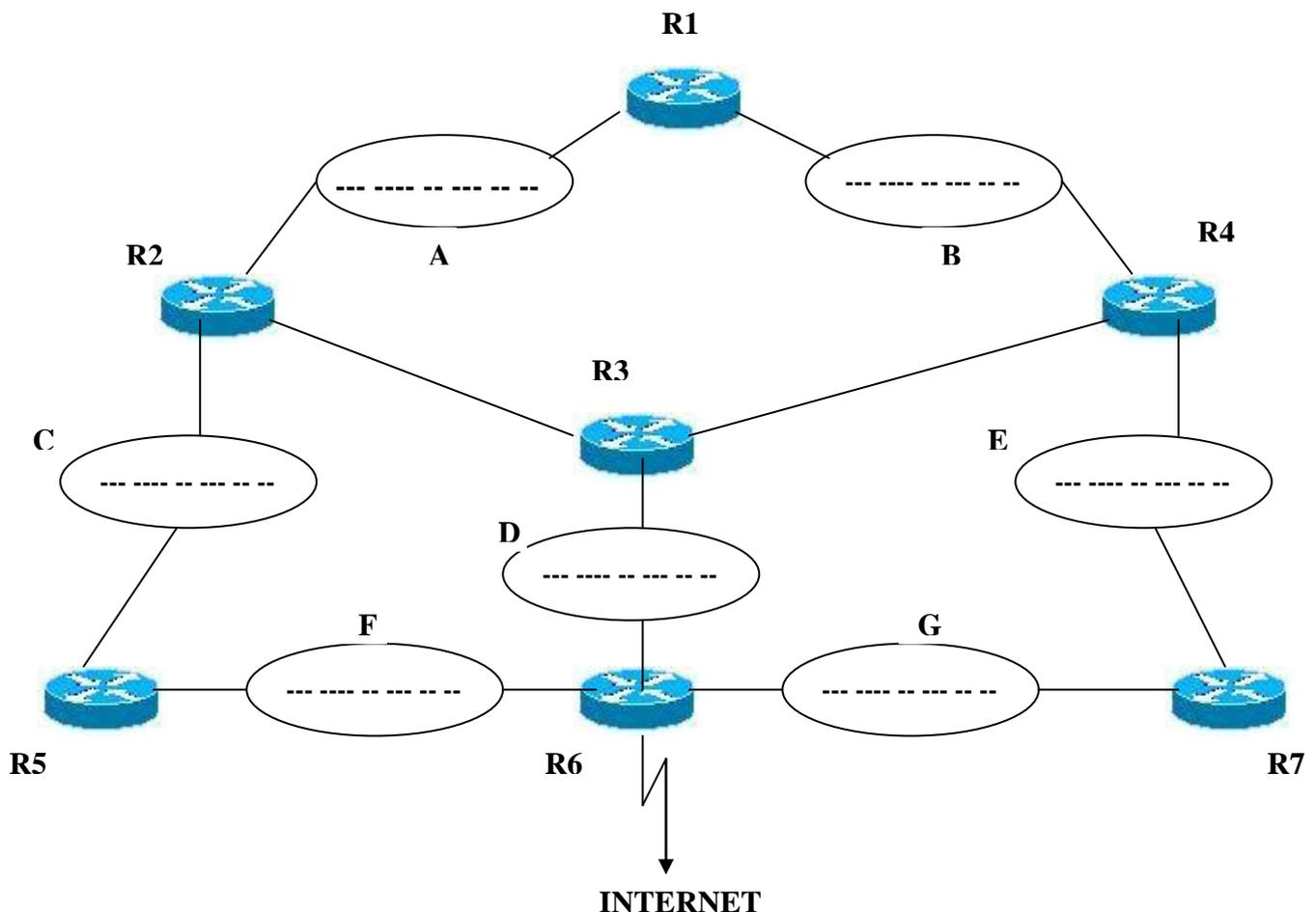
Soit le réseau ci-dessous d'une entreprise répartie en sept départements A, B, C, D, E, F et G.

Données :

- Chaque département doit être mis dans un sous réseau à part
- Nombre maximal de machines par département : 600
- L'entreprise a obtenu auprès de l'ICANN l'adresse de réseau 161.40.0.0



- 1) Quel masque de sous réseau permet d'obtenir le nombre maximal de sous réseaux ? Quel est ce nombre ?
- 2) Le masque retenu est 255.255.240.0. Pour des raisons administratives, on réserve pour le département A l'adresse de sous réseau 161.40.0.0
  - a) Donner les adresses IP des sous réseaux ainsi que leurs adresses de diffusion correspondantes.
  - b) Reporter les adresses IP des sous réseaux sur la figure, en indiquant les adresses des interfaces des routeurs.
- 3) Donner la table de routage du routeur R1 (Métrique =1 pour réseau directement accessible)
- 4) Le routeur R6 reçoit un paquet IP d'entête :  
45000500640000001406A10C 90991001 A128 0001
  - a) Sur quelle interface est reçu le paquet ?
  - b) Le routeur R6 doit-il faire une résolution d'adresse IP en adresse MAC pour ses besoins de routage ? Si oui, quelle est cette adresse ?
  - c) Donner les adresses IP source et destination du paquet IP qui sera émis par le routeur R6.
  - d) En supposant que le routeur R6 n'a pas pu résoudre en adresse MAC l'adresse IP en question. Quel est l'élément mis en cause ? Comment doit en conséquence procéder le routeur R6 ?



**Exercice 3.16**

Une entreprise dispose d'un réseau avec 50 machines supportant le protocole TCP/IP .

L'adresse de réseau est 200.200.0.0

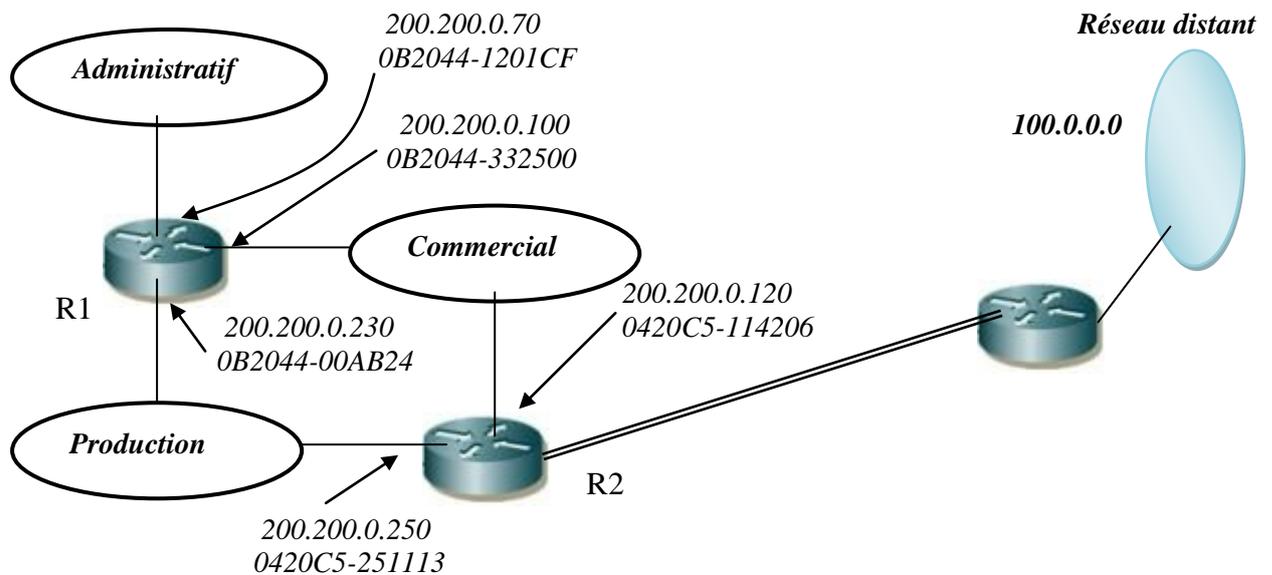
L'entreprise est organisée en trois départements : administratif (20 machines) , commercial (15 machines) et production (15 machines) . On souhaite que chaque département soit placé dans un sous réseau distinct et que les départements aient les plages d'adresses IP suivantes :

administratif : de 200.200.0.71 à 200.200.0.90

commercial : de 200.200.0.101 à 200.200.0.115

production : de 200.200.0.231 à 200.200.0.245

Les différents départements sont reliés à l'aide des routeurs R1 et R2 ; l'entreprise est reliée elle même à un autre réseau distant via une liaison directe entre les routeurs R2 et R3 .



- 1) Quel est le masque de sous-réseau ?
- 2) Donner les différents sous-réseaux ainsi que leurs adresses de diffusion.

**Exercice 3.17**

Une société SARL est actuellement répartie sur 2 sites :

- Le site de Tlemcen qui regroupe les 3 départements : production, communication et finance.
- Le site d'Oran qui regroupe les 3 départements : administration, informatique et marketing.

La direction souhaite que le réseau remplisse les conditions suivantes :



- la société a obtenu auprès de l'ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) l'adresse de réseau 198.100.100.0, et se réserve pour des raisons administratives les adresses de 198.100.100.1 à 198.100.100.10 qui seront attribuées ultérieurement sur le site d'Oran pour le département administration.
- Les 2 sites devront être reliés par une Liaison Louée à 2 Mbps.
- Le site de Tlemcen comprend 28 postes pour la production, 10 pour la communication et 10 pour la finance.
- Le site d'Oran comprend 24 postes pour l'administration, 12 pour l'informatique et 8 pour le marketing.
- Chaque département sera mis dans un sous réseau à part.
- Le réseau de chaque site devra être maillé afin de disposer de deux chemins pour accéder au routeur connecté au WAN (Liaison Louée).
- Le réseau de la société sera connecté à Internet depuis le site d'Oran.
- Le matériel mis à disposition pour la construction du réseau est le suivant :
  - \* 4 Hubs de 24 ports chacun
  - \* 4 Switchs de 24 ports chacun
  - \* 4 routeurs équipés chacun de 2 interfaces Ethernet 10/100
  - \* 2 routeurs équipés chacun de 2 interfaces Ethernet 10/100 et d'une interface série
  - \* 1 routeur équipé d'une interface Ethernet 10/100 et d'une interface série

1) Proposez une architecture pour le réseau de la société tenant compte du cahier de charge.

(Schéma détaillé avec routeurs, switchs et hubs)

NB : Tout le matériel devra être utilisé.

2) Définissez un plan d'adressage IP comme suit :

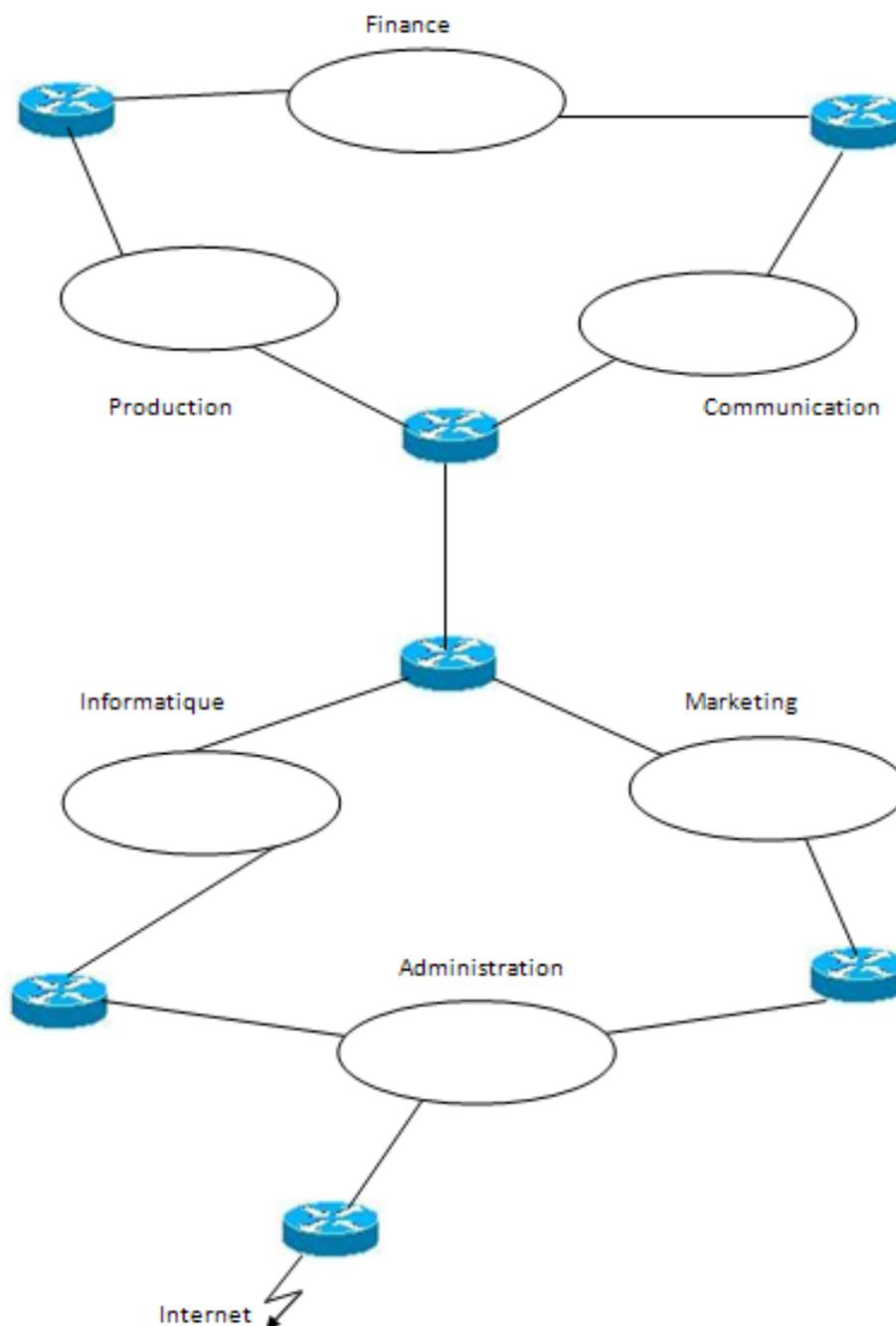
Sous réseau	@ IP de sous réseau	Masque de sous réseau	@ de diffusion de sous réseau	@ IP des postes
Production				de ..... à .....
Communication				de ..... à .....
Finance				de ..... à .....
Administration				de ..... à .....
Informatique				de ..... à .....
Marketing				de ..... à .....

- 3) Reprenez le schéma d'architecture et indiquez l'adresse de chaque sous réseau, ainsi que les adresses IP des interfaces des routeurs.
- 4) Donnez la table de routage du routeur connecté à Internet.

### Exercice 3.18

Une société est actuellement répartie sur 2 sites A et B :

- Le site A regroupe les 3 départements : production, communication et finance.
- Le site B regroupe les 3 départements : administration, informatique et marketing.





La direction souhaite que le réseau remplisse les conditions suivantes :

- Le site A comprend 280 postes pour la production, 100 pour la communication et 100 pour le finance. Le site B comprend 240 postes pour l'administration, 120 pour l'informatique et 80 pour le marketing.
  - Le réseau de la société sera connecté à Internet depuis le site B.
- 1) Définir un plan d'adressage IP en prenant une adresse réseau de votre choix. Le masque de sous-réseau sera à longueur fixe donnant le maximum de sous-réseaux.
  - 2) Sur le schéma d'architecture indiquer l'adresse de chaque sous réseau, ainsi que les adresses IP des interfaces des routeurs.
  - 3) Donner la table de routage du routeur connecté à Internet.
  - 4) Montrer que le paquet suivant reçu par le routeur connecté à Internet ne peut être routé à une machine du site B ni du site A.

```
45 00 00 28 35 58 00 00 3a 06 df cd 29 c9 80 32
c0 a8 01 07 00 50 d3 c7 c5 0d 45 87 fc c2 f2 15
50 10 75 40 01 64 00 00
```

### Exercice 3.19

Une machine a pour adresse IP : 193.222.8.99 et le masque de sous-réseau associé est 255.255.255.224.

- a) Quelle est l'adresse du sous-réseau? Quelle est l'adresse de diffusion (broadcast) ?
- b) Il faut se connecter à un serveur d'adresse IP 193.222.8.111. Appartient-il au même sous réseau que l'adresse précédente ?
- c) même question a) et b) si le masque de sous-réseau est 255.255.255.7

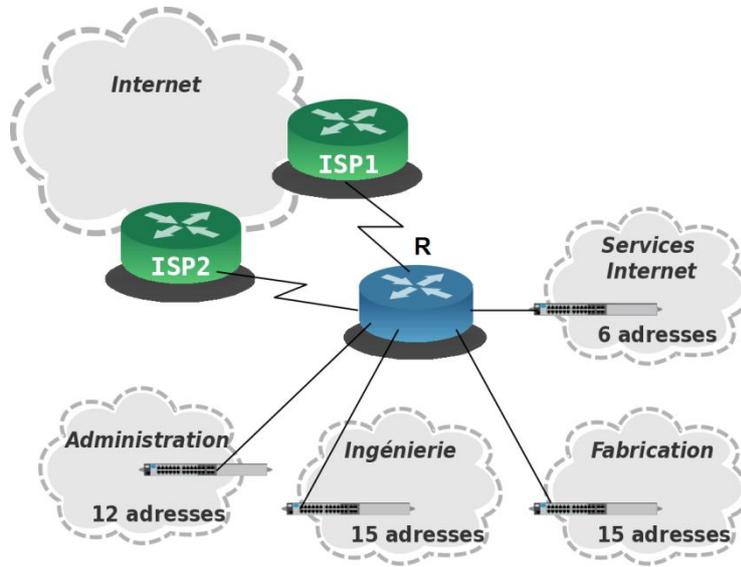
### Exercice 3.20

Le réseau d'une entreprise comporte 4 sous-réseaux (figure ci-dessous) :

- Administration (12 machines)
- Ingénierie (15 machines)
- Fabrication (15 machines)
- Services Internet (6 machines)

Le fournisseur d'accès a attribué l'adresse IP réseau 193.11.0.0 avec le masque 255.255.255.128 ; soit l'adresse réseau 193.11.0.0/25.

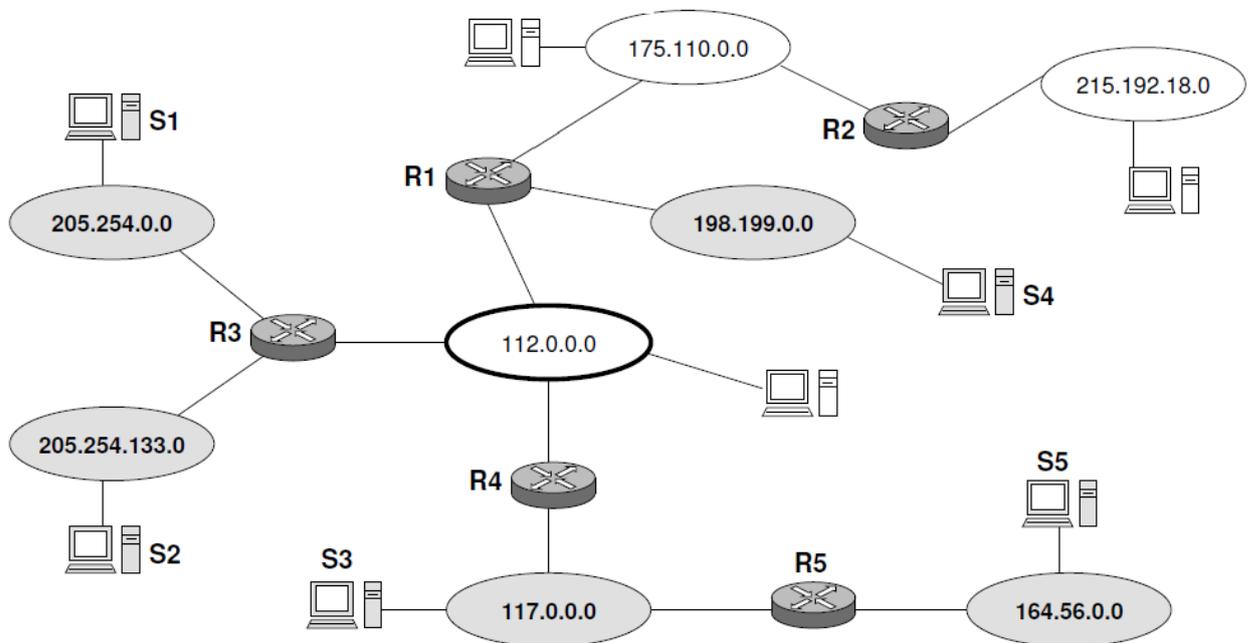
Pour définir les sous-réseaux, on envisage de doubler le nombre d'adresses disponibles de chaque sous-réseau pour prévoir les évolutions futures.



- 1) Donner les sous réseaux et les masques de sous-réseaux.
- 2) Attribuer aux routeurs les adresses les plus hautes possibles.

### Exercice 3.21

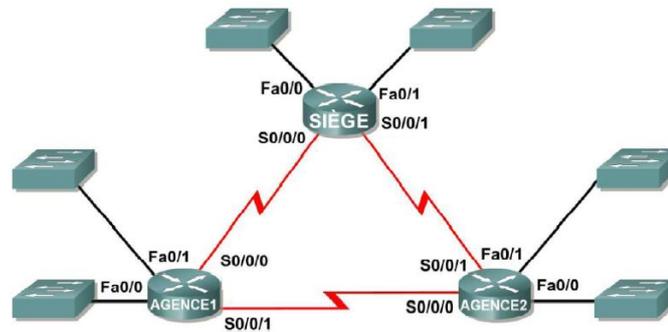
Soit le réseau suivant :



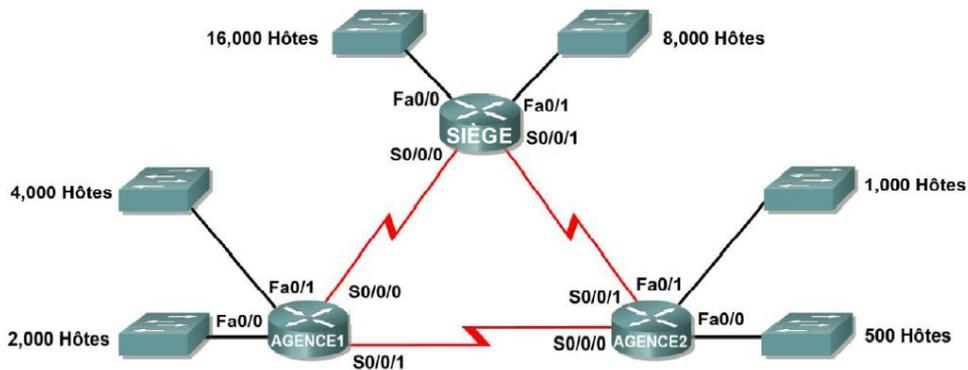
Renseigner les adresses IP des machines et des interfaces des routeurs. Le masque pour chaque réseau sera celui de la classe de réseau utilisé.

**Exercice 3.22**

**Partie A :** Soit le réseau suivant d'adresse 170.25.0.0/16, divisé en plusieurs sous réseaux pouvant contenir jusqu'à 1000 machines chacun. Quel masque permet d'avoir le maximum de sous réseaux. Donner, pour le cas de l'exercice, les adresses de sous-réseaux ainsi que leurs adresses de diffusion respectives. Indiquer les adresses des interfaces des routeurs et donner la table de routage du routeur SIEGE.



**Partie B :** On considère maintenant le réseau suivant. Les adresses réseau 170.25.0.0/17 sont utilisées pour fournir l'adressage IP suivant la technologie VLSM. Elaborer le plan d'adressage pour ce réseau conformément au tableau ci-dessous.



Sous-réseau	Nombre d'adresses IP nécessaires	Adresse réseau
Réseau local LAN1 de SIEGE	16 000	.....t...
Réseau local LAN2 de SIEGE	8 000	.....t...
Réseau local LAN1 de AGENCE1	4 000	.....t...
Réseau local LAN2 de AGENCE1	2 000	.....t...
Réseau local LAN1 de AGENCE2	1 000	.....t...
Réseau local LAN2 de AGENCE2	500	.....t...
Liaison de SIEGE à AGENCE1	2	.....t...
Liaison.....t... NCE2	2	.....t...
Liaison de AGENCE1 à AGENCE2	2	.....t...

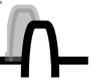
**Exercice 3.23**

- 1) Une société veut se raccorder à Internet. Pour cela, elle demande une adresse réseau de classe B afin de contrôler ses 2 700 machines installées en Algérie. Une adresse réseau de classe B sera-t-elle suffisante ? Expliquez pour quoi ?
- 2) L'organisme chargé de l'affectation des adresses réseau lui alloue plusieurs adresses de classe C consécutives au lieu d'une adresse de classe B. Combien d'adresses de classe C faut-il allouer à cette société pour qu'elle puisse gérer tous ses terminaux installés ?
- 3) Finalement, la société a pu obtenir une adresse réseau de classe B. L'administrateur du réseau choisit de découper le réseau pour refléter la structure de la société, c'est-à-dire qu'il crée autant de sous-réseaux que la société compte de services différents. L'administrateur a donc prévu 9 sous-réseaux, numérotés de 1 à 9.
  - a) Proposez le masque de sous-réseau utilisé dans l'un des services de la société.
  - b) Combien reste-t-il de bits pour identifier les machines de chaque service ?
  - c) Combien de machines peut-on identifier dans chaque service ?
- 4) L'adresse réseau de la société est : 144.48.0.0. Indiquez l'adresse IP du sous-réseau 8
- 5) Dans le sous-réseau choisi, donnez l'adresse IP complète de la machine ayant comme identifiant de machine 7.48.
- 6) Donnez l'adresse IP et les adresses de diffusion du sous-réseau 9, ainsi que l'adresse IP de la 1<sup>ère</sup> et la dernière machine dans ce réseau.

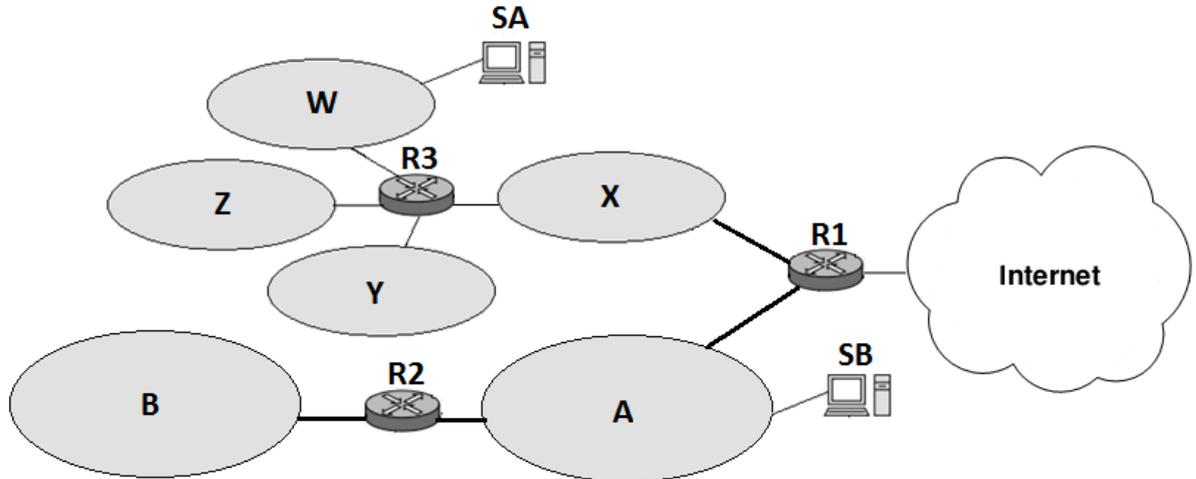
**Exercice 3.24**

Soit une entreprise qui possède l'adresse de classe B 139.124.0.0/16. Pour simplifier, supposons qu'elle n'a que 2 sous-réseaux de 4 000 stations, appelés A et B, et 4 sous-réseaux de 2 000 stations, appelés W, X, Y et Z connectés entre eux par l'intermédiaire de plusieurs routeurs (schéma ci dessous). Considérons que la taille de ces réseaux n'évoluera pas dans le temps.

- 1) Est-ce que cette configuration IP (adresse réseau et masque) sera suffisante ? Expliquez.
- 2) Pour tous les sous-réseaux du schéma, calculer les masques et les adresses des sous-réseaux (Construction des sous-réseaux selon l'ordre : W, X, Y, Z, A, B).
- 3) Donner les adresses de diffusion de chaque sous-réseau.
- 4) Donner les plages d'adresses possibles dans chaque sous-réseau
- 5) Donner la configuration IP des interfaces des routeurs, avec les adresses les plus hautes disponibles dans chaque sous-réseau (R1 est prioritaire).

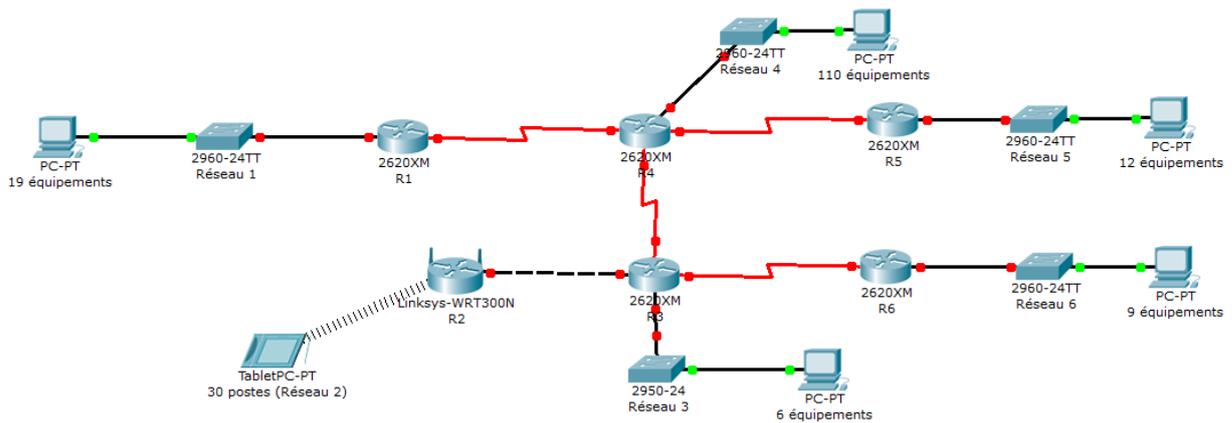


- 6) Donner l'adresse IP complète des machines SA et SB ayant respectivement comme identifiants des machines égales à 2.48 et 4.134
- 7) Déterminer tous les champs des tables de routage des routeurs qui serviront pour que les stations SA et SB puissent échanger des informations (les réseaux et les routeurs concernés uniquement).



### Exercice 3.25

Soit le réseau présenté ci-dessous. Les liaisons entre les routeurs sont de type point à point. Tous les équipements présents sont dans le réseau 192.168.18.0 /24. Le nombre d'hôtes indiqué par réseau représente le nombre maximum d'interfaces que ce réseau aura à supporter (interface routeur compris).



- 1) Le plan d'adressage peut-il être partitionné en affectant le même masque de sous réseau à chaque sous réseau, justifiez votre réponse.
- 2) Établir un partitionnement optimisé des différentes plages d'adresses afin d'attribuer des adresses IPv4 valides à toutes les interfaces dans les différents sous réseaux



<i>Sous-réseau</i>	<i>Nombre d'adresse demandé</i>	<i>Adresse réseau Avec le suffixe</i>	<i>Première adresse</i>	<i>Dernière adresse</i>	<i>Adresse de Diffusion</i>
<i>Réseau _</i>					
<i>Réseau _</i>					
<i>Réseau _</i>					
<i>Réseau _</i>					
<i>Réseau _</i>					
<i>Réseau _</i>					

<b>Réseau</b>	<b>Nombre d'hôtes</b>	<b>Adresse IP avec suffixe</b>	<b>Réseau</b>	<b>Nombre d'hôtes</b>	<b>Adresse IP avec suffixe</b>
<i>PPP 1-4</i>			<i>PPP 2-3</i>		
<i>PPP 3-4</i>			<i>PPP 3-6</i>		
<i>PPP 4-5</i>					

Convention : PPP y-z représente un réseau d'interconnexion entre 2 routeurs (exemple PPP 3-6 liaison en R3 et R6).

Les routeurs prennent la dernière adresse disponible de chaque plage. Dans les réseaux d'interconnexion, les routeurs prendront l'adresse la plus basse ou la plus haute en fonction de leur nom (exemple dans la liaison PPP 1-2, R1 prendra l'adresse la plus basse et R2 la plus haute).

- 3) Pour chaque routeur, donnez la configuration IP de chaque interface en complétant le tableau suivant :

Interface	Adresse IP	Masque
R1 – 0		
R1 – 4		
R2 – 0		
R2 – 3		
R3 – 0		
R3 – 2		
R3 – 4		
R3 – 6		
R4 – 0		
R4 – 1		
R4 – 3		
R4 – 5		
R5 – 0		
R5 – 4		
R6 – 0		
R6 – 3		



Par convention de notation, R1 - 0 représente l'adresse de l'interface vers les hôtes du sous réseau. R1 - 2 représente l'adresse de l'interface reliant R1 à R2. Il en va de même pour chaque routeur.

- 4) Donnez pour un hôte de chaque réseau une adresse IP valide autre que celle d'un routeur, le masque associé et la passerelle par défaut dans le tableau suivant.

Réseau	Adresse IP de l'hôte	Masque	Passerelle par défaut
1			
2			
3			
4			
5			
6			

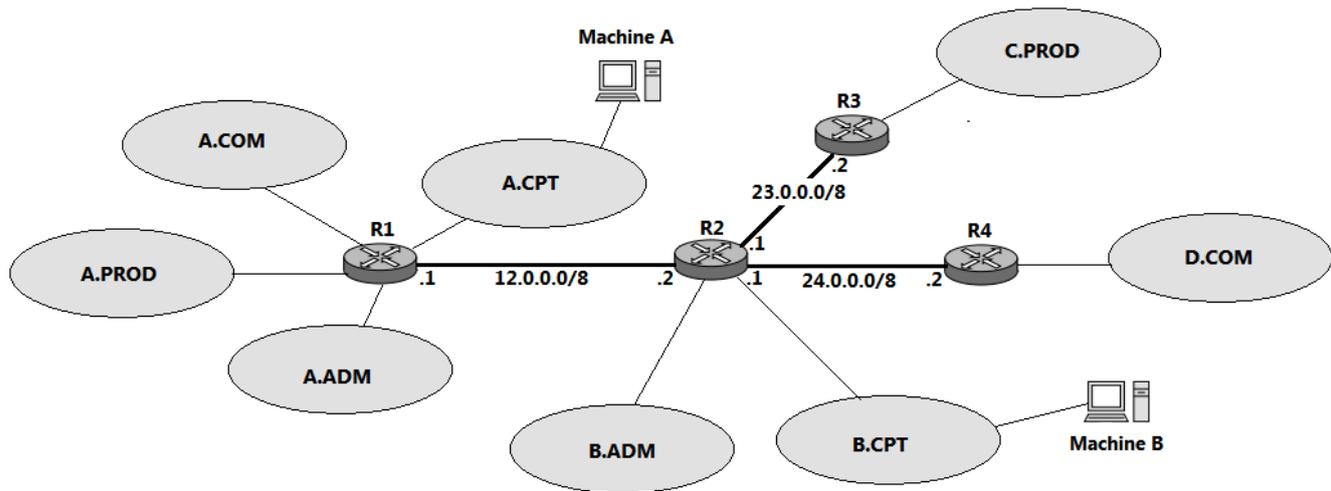
### Exercice 3.26

Une entreprise veut agrandir en achetant sur son site industriel la parcelle voisine. Sur cette parcelle sont construits 4 bâtiments, ces 4 bâtiments sont reliés par des routeurs (Figure ci-dessous). Vous avez la charge de réaliser le plan d'adressage de cette extension du réseau.

Le réseau de cette entreprise possède l'adresse 135.182.0.0/16. L'administrateur réseau vous attribue pour votre tâche l'adresse cette adresse. Veillez à optimiser l'emploi de l'espace d'adressage affecté et à minimiser les tables de routage des routeurs. Les bâtiments sont numérotés A, B, C et D. Les services sont nommés : service commercial (COM), service production (PROD), service administratif (ADM), service comptabilité (CPT). Lorsqu'il existe plusieurs services dans un même bâtiment, ces derniers sont indépendants, il faut donc prévoir un sous-réseau par service par bâtiment.

Description des besoins par bâtiment :

- Bâtiment A : Les postes informatiques dans ce bâtiment sont répartis comme ceci :  
A.COM = 750 postes A.PROD = 450 postes A.ADM = 240 postes A.CPT = 130 postes.
  - Bâtiment B : Les postes informatiques dans ce bâtiment sont répartis comme ceci :  
B.ADM = 220 postes B.CPT = 210 postes.
  - Bâtiment C : Les postes informatiques dans ce bâtiment sont répartis comme ceci :  
C.PROD = 350 postes.
  - Bâtiment D : Les postes informatiques dans ce bâtiment sont répartis comme ceci :  
D.COM = 700 postes.
- 1) Donnez le plan d'adressage de l'entreprise en affectant une adresse et un masque à chaque sous-réseau (Analyse approfondie) on se posera comme contrainte que les adresses des sous-réseaux suivent l'ordre de priorité selon les besoins décrits ci-dessus (justifiez votre réponse).

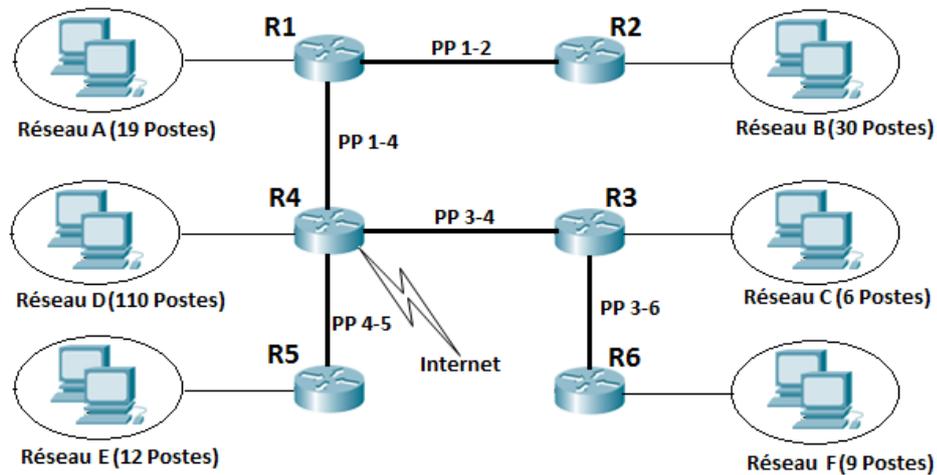


- 2) Donnez L'adresse IP et la plage d'adresses du sous-réseau de service comptabilité (CPT) du bâtiment B (B.CPT).
- 3) Quelle est l'adresse de diffusion (broadcast) du sous-réseau C.PROD.
- 4) Les 4 bâtiments sont reliés par 4 routeurs (R1, R2, R3 et R4) dont les adresses IP des interfaces inter-routeurs sont indiquées sur la figure 1.
- 5) Attribuer aux interfaces des routeurs R1, R2, R3 et R4 les adresses les plus hautes disponibles dans chaque sous-réseau (selon les besoins) et les adresses les plus basses aux machines.
- 6) Écrire les tables de routage les plus simples (minimales) des deux machine A et B ainsi que celles des routeurs permettant l'acheminement du paquet de A vers B (Les réseaux et les routeurs concernés seulement).
- 7) Quelle est l'adresse IP à utiliser par la machine B pour envoyer un datagramme à TOUS les hosts du sous-réseau A.CPT

### Exercice 3.27

Vous êtes l'administrateur du réseau IP présenté dans la figure suivante. Les liaisons entre routeurs sont de type Point à Point. Vous venez d'obtenir de votre fournisseur d'accès à internet l'adresse de réseau 194.122.0.0/24. Toutes les machines de votre réseau doivent posséder une adresse IP dans ce réseau. Le routeur 4 (R4) est relié à internet via une liaison ADSL,

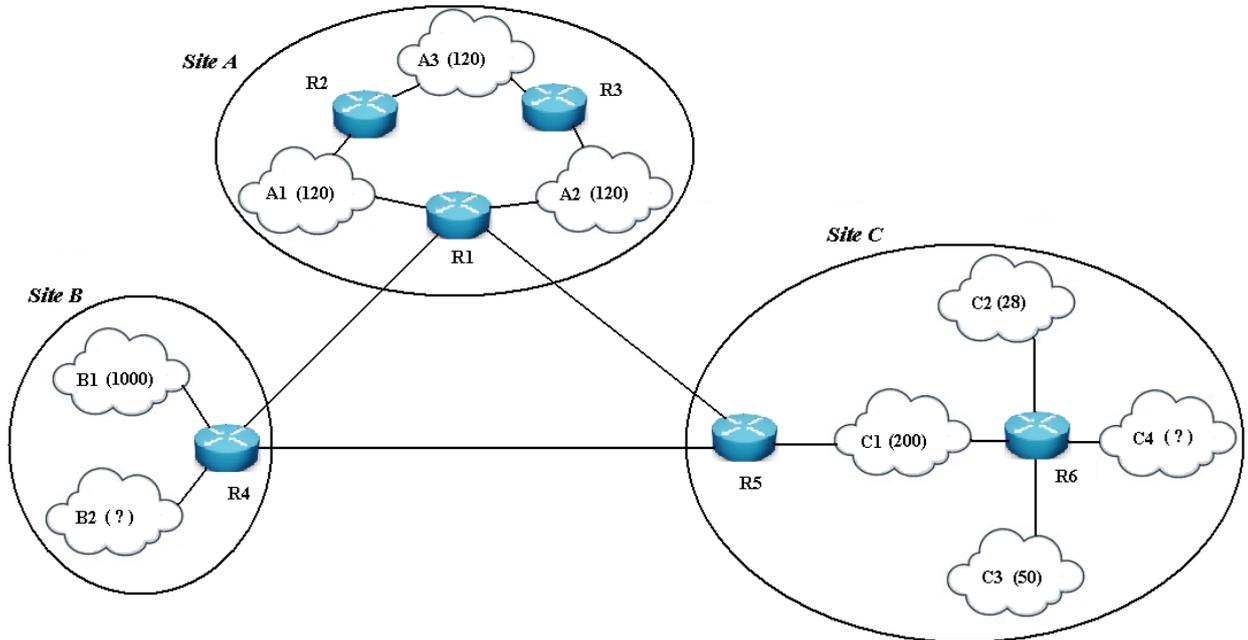
Le nombre de postes indiqué par réseau est le nombre maximum d'interfaces que ce réseau aura à supporter et comprend l'interface du routeur.



- 1) Dire si l'on peut partitionner le plan d'adressage en affectant le même masque de sous-réseau à chaque sous-réseau. Si Oui, donner ce masque. Justifier votre réponse.
- 2) Si Non, Établir un partitionnement de la plage d'adresses afin de pouvoir attribuer des adresses IP valides à tous les hôtes dans les différents sous-réseaux (On ne laissera pas de plages d'adresses non utilisés entre chaque sous réseau) selon l'ordre suivant :
  - a) Les sous-réseaux d'interconnexion (PP), calculer le masque et les adresses des sous-réseaux, en affecte au 1<sup>er</sup> sous-réseau PP l'adresse 0.
  - b) Les 6 sous-réseaux, proposez à chaque sous-réseau le masque et l'adresse sous-réseau disponible correspondant au nombre d'adresses dont il a besoin (Construction des sous-réseaux par ordre croissant de taille).
- 3) Pour chacun de 6 sous-réseaux, Donner les plages d'adresses possibles (l'adresse de la première et la dernière machine) ainsi que les adresses de diffusion.
- 4) Proposer pour chaque routeur les adresses associées à chacune de leurs interfaces (les routeurs prendront la dernière adresse disponible dans un sous réseau et selon leurs noms : R1, R2, ..., R6).
- 5) Donner les tables de routage des routeurs qui serviront pour que les stations des sous-réseaux C et D puissent échanger des informations (les réseaux concernés seulement).

### Exercice 3.28

Soit le réseau TCP/IP suivant construit sur trois sites A, B et C :



Le site A comporte 3 sous-réseaux (A1, A2 et A3); Le site B : 2 sous-réseaux (B1 et B3) et le site C : 4 sous-réseaux (C1, C2, C3 et C4).

Le réseau global dispose de l'adresse réseau : 150.1.16.0/21. Pour des raisons administratives, on a réservé pour le sous-réseau B2 l'adresse sous-réseau : 150.1.16.0 avec le masque 255.255.255.0 .

- 1) Quelle est (en nombre de machines) la capacité de B2 ?
- 2) Donner les sous réseaux et les masques de sous-réseaux.
- 3) Quelle est le nombre maximum de machines qu'on peut connecter sur C4 ?
- 4) Attribuer aux routeurs les adresses les plus hautes possibles.
- 5) En admettant un routage RIP (métrique = nombre de sauts), donner la table de routage du routeur R1.

## *Chapitre IV – Interconnexion de réseaux*

### *STP, VLAN et Routage*

#### **Exercice 4.1**

Lorsqu'un paquet IP est envoyé à un serveur sur internet qui se trouve momentanément inaccessible, quel est le protocole en charge d'aviser l'émetteur ?

- a) IP
- b) TCP
- c) ICMP
- d) RARP
- e) SNMP
- f) HTTP

#### **Exercice 4.2**

Lorsqu'un paquet IP traverse un routeur :

- a) Seule l'adresse MAC destination est modifiée
- b) le paquet est fragmenté
- c) l'adresse IP source est modifiée
- d) les deux adresses MAC sont modifiées
- e) Le champ TTL est modifié

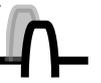
#### **Exercice 4.3**

Le protocole ARP offre un service de résolution :

- a) des adresses MAC en adresses IP
- b) des adresses IP en adresses MAC
- c) des noms Netbios
- d) des noms de domaine

#### **Exercice 4.4**

Quelle proposition décrit la détermination du chemin au niveau de la couche réseau ?



- a) Le routeur compare les informations disponibles dans la table de routage pour sélectionner le chemin optimal.
- b) Le routeur compare les informations disponibles dans la table ARP pour sélectionner le chemin optimal.
- c) Le commutateur utilise le protocole de routage pour déterminer le meilleur chemin en vue de la transmission des données.
- d) Le routeur utilise un protocole de routage pour comparer l'équipement du LAN aux données de route.

#### Exercice 4.5

1. Les quelles de ces propositions sont considérées comme des protocoles à état de liens ?
  - a) Le protocole RIP
  - b) Le protocole RIPv2
  - c) Le protocole IGRP
  - d) Le protocole OSPF
  - e) Le protocole IS-IS
  - f) Le protocole EIGRP

#### Exercice 4.6

Les quels des problèmes suivants sont associés à des topologies Ethernet commutées redondantes ?

- a) Des tempêtes de broadcast
- b) Des boucles
- c) Des copies multiples de trames
- d) L'adressage incorrect des trames

#### Exercice 4.7

Le rôle de l'algorithme du Spanning Tree est :

- a) De trouver un chemin entre 2 stations du LAN
- b) De régler le problème de collision
- c) D'éliminer automatiquement les boucles dans un réseau Ethernet

#### Exercice 4.8

Quelle est la première étape du Protocole Spanning-tree (STP)?

- Choisir un commutateur désigné
- Déterminer le coût du chemin de chaque port actif sur le commutateur
- Choisir un pont racine
- Utiliser un routeur pour localiser la passerelle par défaut

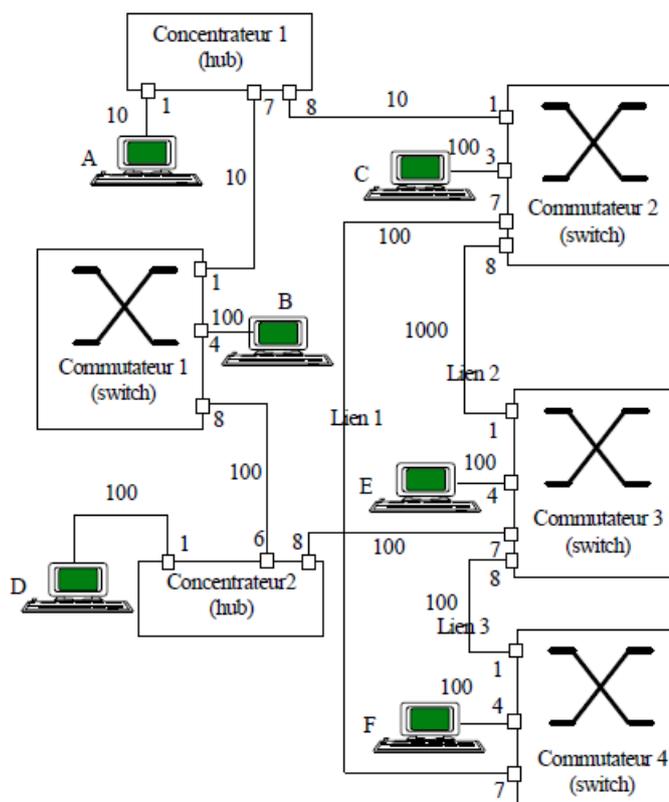
### Exercice 4.9

Comment STP choisit le pont racine ?

- Celui qui a la plus faible priorité
- Celui qui a le plus petit bridge ID
- Celui qui a le plus grand bridge ID
- Celui qui a la plus grande adresse MAC

### Exercice 4.10

Un ingénieur réseau reprend l'administration d'une architecture de réseau local ou tout fonctionne en Ethernet. L'architecture est constituée de quatre switches numérotés 1, 2, 3, 4 et de hubs selon la figure suivante.



Les switches sont configurés en fonctionnement transparent avec l'algorithme STP (spanning tree). Pour chaque appareil, ont été mentionnés les numéros des ports utilisés pour l'interconnexion. L'architecture mentionne aussi trois tronçons Ethernet servant de liaison entre commutateurs (lien 1, 2, 3) ainsi que



quelques stations de travail. Pour chaque voie de communication Ethernet on a mentionné son débit soit 10Mb/s soit 100 Mb/s soit 1000 Mb/S.

Les ports des commutateurs qui sont utilisés, sont numérotés sur la figure. La consultation des tables de configuration dans les commutateurs donne les informations suivantes :

Commutateur 1 (Adresse MAC 00:A0:D6:13:43:65 Priorité 8000)

Numéro du port	Adresse MAC du port	Priorité du port
Port 1	00:A0:D6:13:43:65	8000
Port 4	00:A0:D6:13:43:69	8000
Port 8	00:A0:D6:13:43:73	8000

Commutateur 2 (Adresse MAC 00:A0:D6:14:37:E1 Priorité 8000)

Numéro du port	Adresse MAC du port	Priorité du port
Port 1	00:A0:D6:14:37:E1	8000
Port 3	00:A0:D6:14:37:E4	8000
Port 7	00:A0:D6:14:37:E7	8000
Port 8	00:A0:D6:14:37:E8	8000

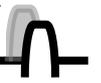
Commutateur 3 (Adresse MAC 00:A0:D6:13:31:F6 Priorité 8000)

Numéro du port	Adresse MAC du port	Priorité du port
Port 1	00:A0:D6:13:31:F6	8000
Port 4	00:A0:D6:13:31:F9	8000
Port 7	00:A0:D6:13:31:FC	8000
Port 8	00:A0:D6:13:31:FD	8000

Commutateur 4 (Adresse MAC 00:A0:D6:09:18:12 Priorité 8000)

Numéro du port	Adresse MAC du port	Priorité du port
Port 1	00:A0:D6:09:18:12	8000
Port 4	00:A0:D6:09:18:15	8000
Port 7	00:A0:D6:09:18:18	8000

- 1) Pour cette architecture, lorsque l'on fait fonctionner l'algorithme de l'arbre couvrant on élit un commutateur racine ('root switch'). Qu'est ce qu'un commutateur racine ? Comment est-il choisi ? Quel est le commutateur qui est élu racine de l'arbre couvrant pour l'architecture donnée en exemple ?



- 2) Pour chaque commutateur on élit un port racine ('root port'). Qu'est ce qu'un port racine ? Comment est-il choisi ? Quels sont pour les quatre commutateurs les ports racine ?
- 3) Pour chaque tronçon de réseau local ou voie de communication on élit un port désigné. Qu'est ce qu'un port désigné ('designated port') ? Comment choisit-on un port désigné ? Quels sont pour les différents tronçons les ports désignés?
- 4) Après cette étude dessinez l'arbre couvrant construit automatiquement par l'algorithme de routage. Placez les commutateurs par niveaux en commençant par le commutateur racine, indiquez les ports racines par des cercles gris et les ports désignés par des carrés noirs, placez les stations ?
- 5) Comment fonctionne la construction des tables de routage. La table de routage peut-elle être indépendante de l'arbre couvrant construit ? Pourquoi ?
- 6) Quelle est la table de routage du commutateur 3 après une durée de fonctionnement suffisamment longue qui permet une connaissance complète du réseau et de son arbre couvrant ?

#### Exercice 4.11

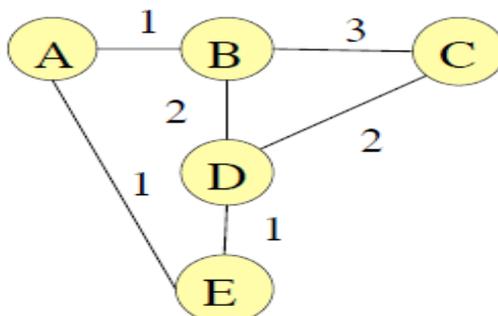
- 1) Quelles sont les différences entre routage statique et routage dynamique ?
- 2) Comment mettre en oeuvre une approche de routage statique ?
- 3) Que fait un routeur IP lorsqu'il reçoit un paquet IP correspondant aux cas suivants :
  - le champ FCS n'est pas valide ;
  - le champ TTL a la valeur 15 ;
  - le champ TTL a la valeur 1 ;
  - le champ adresse de destination a la valeur 192.168.1.1 ;
  - le champ adresse de destination comporte une adresse non répertoriée dans la table de routage du routeur ;
  - un seul fragment est reçu, avec DF= 0, MF= 0 et offset= 20 ;
  - les champs du paquet reçu sont : DF= 1, MF= 0, offset= 0, longueur totale 2 000.Ce paquet doit être envoyé sur une interface Ethernet.
- 4) Donner des exemples de scénarios qui peuvent entraîner des pertes de paquets par un routeur.

#### Exercice 4.12

- 1) Expliquer les différences entre un algorithme de routage à vecteur de distance et d'un algorithme à état des liens.



- 2) Donnez quelques protocoles de routage utilisés dans l'Internet, et précisez s'il s'agit d'un protocole à vecteur de distance ou d'un protocole à état des liens.
- 3) D'après vous pourquoi les protocoles de routage externe utilisent plutôt des protocoles à vecteur de distance ?
- 4) Sur la topologie suivante, donner les vecteurs de distance initiaux des différents routeurs pour un l'algorithme de routage de type Distance-Vector. Les coûts des liens sont représentés sur la figure.



- 5) En supposant qu'à chaque itération l'ordre des routeurs pour l'envoi des vecteurs de distance soit A, B, C, D puis E, donner les messages reçus par E à la première et à la deuxième itération, ainsi que le vecteur de distance de E correspondant à chaque itération de l'exécution de l'algorithme de routage Distance-Vector.

### Exercice 4.13

On considère le réseau suivant :

- A est relié à B par la liaison No 1
- B est relié à C par la liaison No 2
- C est relié à D par la liaison No 3
- D est relié à A par la liaison No 4

On part du principe que ces machines sont des routeurs qui s'envoie simultanément des informations de routage. On vous demande d'illustrer le fonctionnement du protocole RIP en décrivant les modifications successives des tables de routage (donnez la table et l'évènement qui a entraîné la modification) suite à l'envoi des informations de routage. Vous vous arrêterez quand les tables deviennent stables.

### Exercice 4.14

Dans le réseau schématisé sur la figure suivante, on utilise l'algorithme de routage à vecteur de distance avec un coût de transmission qui représente le délai de transmission entre deux routeurs. Les tables des routeurs A, C et D sont indiquées dans le tableau 1.



Routeurs sur le réseau

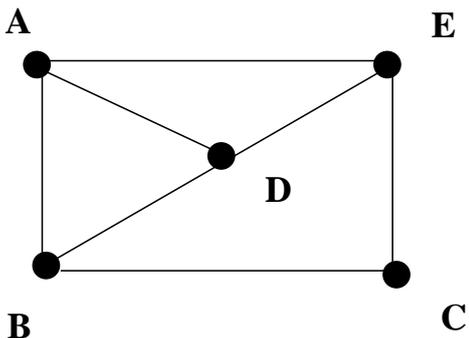


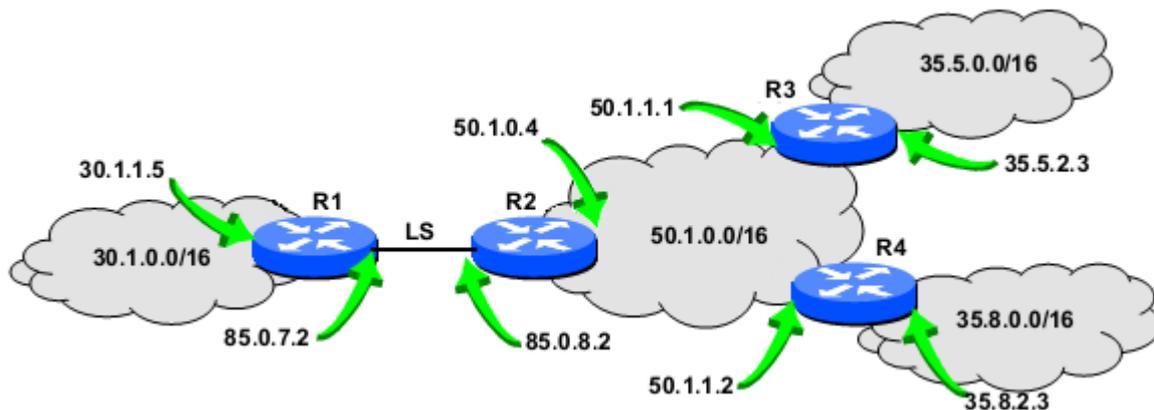
Tableau 1 : Métrique pour A,C & D

	A	C	D
A	0	5	9
B	2	3	3
C	5	0	6
D	9	6	0
E	6	7	8

- 1) Quelle est la table de routage qui en résulte pour B (une table de routage de B indique pour chaque paquet arrivant au nœud B vers quel voisin de B le paquet sera dirigé ainsi que le coût du parcours total) ?
- 2) Quel chemin suivra un message partant de B ayant pour destination E ?
- 3) Les coûts AB et BD passent respectivement de 2 à 5 (pour AB) et de 3 à 8 (pour BD). Quelle est la nouvelle table de routage de B ?

**Exercice 4.15**

Une entreprise comporte 4 réseaux Ethernet d’adresses et de topologies indiquées par la figure suivante:



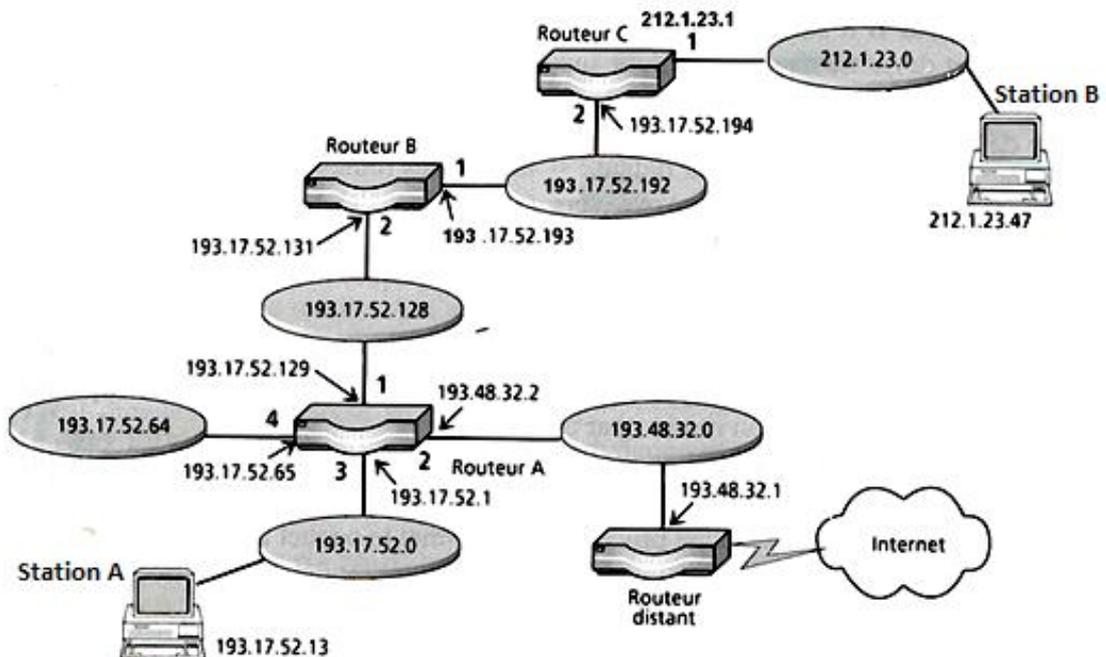
Le routeur R1 est relié au routeur R2 par une liaison spécialisée (LS) dont les adresses d’interface sont respectivement 85.0.7.2 pour le routeur R1 et 85.0.8.2 pour le routeur R2.

Le routeur R2 possède une interface sur le réseau 50.1.0.0/16 ayant une adresse 50.1.0.4. Le routeur R3 relie directement les réseaux 50.1.0.0/16 et 35.5.0.0/16 par des interfaces ayant respectivement comme adresse 50.1.1.1 et 35.5.2.3. De même, le routeur R4 relie directement les réseaux 50.1.0.0/16 et 35.8.0.0/16 par ses interfaces locales d’adresses respectives 50.1.1.2 et 35.8.2.3.

- 1) A quelle classe d'adressage appartient les adresses de ce réseau ?
- 2) Quelle est l'adresse à utiliser par le réseau 30.1.0.0/16 pour envoyer un datagramme à tous les hosts du réseau 35.8.0.0/16 ?
- 3) Établissez les tables de routage (routage statique) de chacun des routeurs de ce réseau.

### Exercice 4.16

Soit le réseau TCP/IP suivant :



- 1) De combien de sous réseau est constitué le réseau 193.17.52.0/24? Proposez un masque pour les différencier.
- 2) Déterminer tous les champs des tables de routage des routeurs qui serviront pour que les stations 193.17.52.13 et 212.1.23.47 puissent échanger des informations.

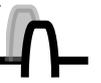
### Exercice 4.17

#### Partie A

Une entreprise dispose d'un réseau Ethernet sur un site A, avec 60 hôtes, supportant le protocole TCP/IP. L'adresse de réseau est 193.250.17.0

L'entreprise est organisé en trois départements : Administratif, Commercial et Production

- Certaines stations du domaine Production utilisées sur les chaînes de montage ont déjà une plage d'adresses IP à garder, de 193.250.17.110 à 193.250.17.117
- Le département administratif contient 25 hôtes, le département Commercial 15 hôtes et le département Production 20.



- Chaque département doit être placé dans un sous-réseau distinct
  - Le réseau sera connecté à Internet via une liaison WAN
  - Le réseau devra être maillé afin de disposer de deux chemins pour accéder au routeur connecté à l'Internet
  - Le matériel mis à disposition pour la construction du réseau est le suivant :
    - \* 4 Hubs de 24 ports chacun
    - \* 4 Switchs de 24 ports chacun
    - \* 4 routeurs équipés chacun de 2 interfaces Ethernet 10/100
    - \* 2 routeurs équipés chacun de 2 interfaces Ethernet 10/100 et d'une interface série
    - \* 1 routeur équipé d'une interface Ethernet 10/100 et d'une interface série
    - \* 1 routeur équipé d'une interface Ethernet 10/100 et de deux interfaces séries
    - \* 1 routeur équipé d'une interface Ethernet 10/100 et d'une interface série
- 1) Proposez une architecture pour le réseau de la société tenant compte du cahier de charge.  
(Schéma détaillé avec routeurs, switchs et hubs)
  - 2) Définissez un plan d'adressage IP comme suit :

Sous réseau	@ IP de sous réseau	Masque de sous réseau	@ de diffusion de sous réseau	@ IP des postes
Administratif				de ..... à .....
Commercial				de ..... à .....
Production				de ..... à .....

- 3) Reprenez le schéma d'architecture et indiquez l'adresse de chaque sous réseau, ainsi que les adresses IP des interfaces des routeurs.
- 4) Donnez la table de routage du routeur connecté à Internet.

**Partie B**

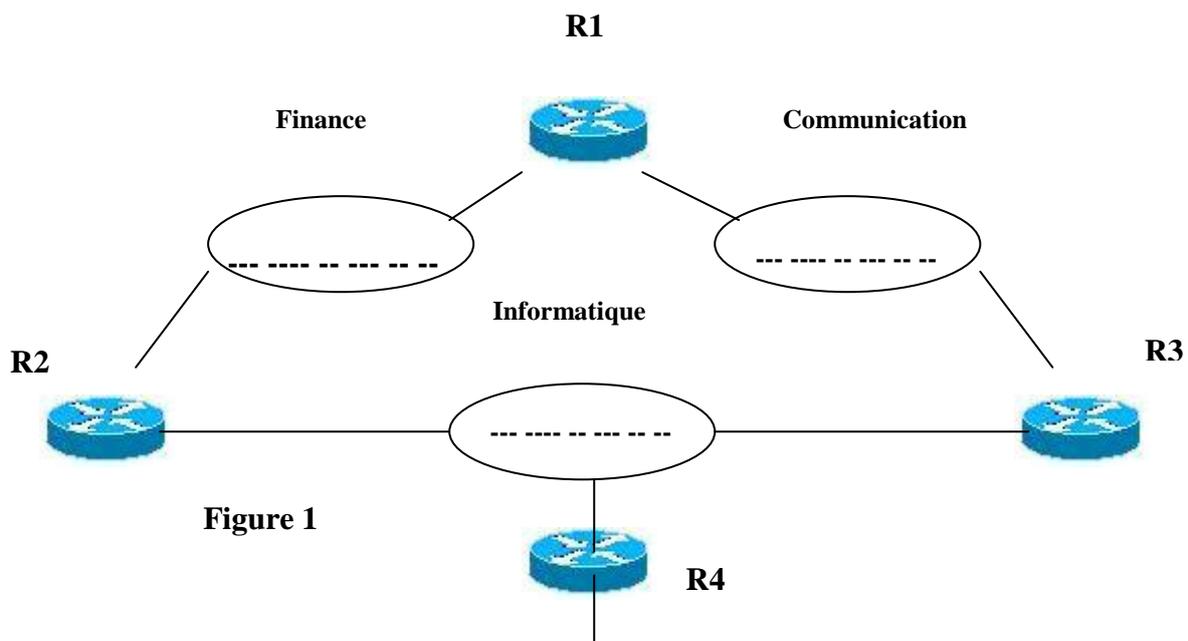
L'entreprise a décidé de faire une extension de son réseau sur un nouveau site distant B.

Le site B est réparti en 3 départements Informatique, finance et communication (figure 1).

Données :

- Chaque département doit être mis dans un sous réseau à part
- Nombre maximal de machines par département : 40
- Adresse de réseau 199.80.0.0

- 1) Quel masque de sous réseau permet d'obtenir le nombre maximal de sous réseaux ?  
Quel est ce nombre ?
- 2) Le masque retenu est 255.255.255.3. Pour des raisons administratives, on réserve pour le département A l'adresse de sous réseau 199.80.0.0
  - a) Donner les adresses IP des sous réseaux ainsi que leurs adresses de diffusion correspondantes.
  - b) Reporter les adresses IP des sous réseaux sur la figure 2 , en indiquant les adresses des interfaces des routeurs.
- 3) Donner la table de routage du routeur R1 (Métrique =1 pour réseau directement accessible)
- 4) Les 2 sites A et B sont reliés à travers le routeur R4.
  - a) Représenter le réseau global et donner ce qu'il y a lieu de changer.
  - b) Donner la table de routage de R1.

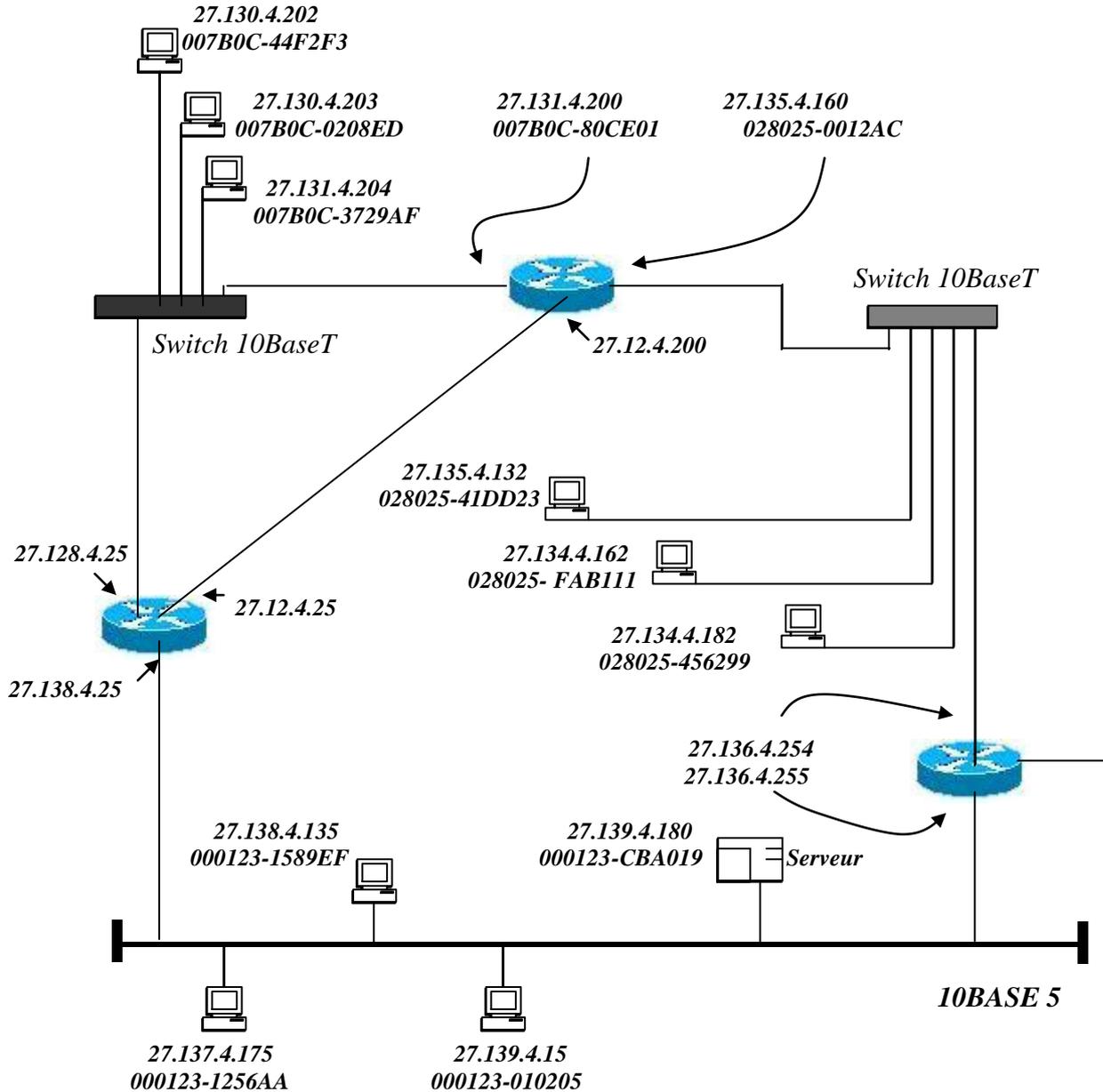


### Exercice 4.18

Soit le réseau de la figure 1, construit sous l'architecture TCP/IP avec le masque de sous réseau : 255.140.0.0

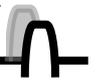
- 1) Donner la classe de réseau, les sous réseaux et les adresses de diffusion des sous réseaux.
- 2) L'une des interfaces d'un des routeurs est mal configurée, laquelle ? justifier.

- 3) Pour des besoins de routage, un des routeurs envoie sur son interface 27.131.4.200 une requête ARP pour demander l'adresse MAC de la machine 27.130.4.203. Donner en code hexadécimal, pour la requête ARP et la réponse à cette requête, les paquets ARP ainsi que les entêtes MAC des trames Ethernet II qui les encapsulent



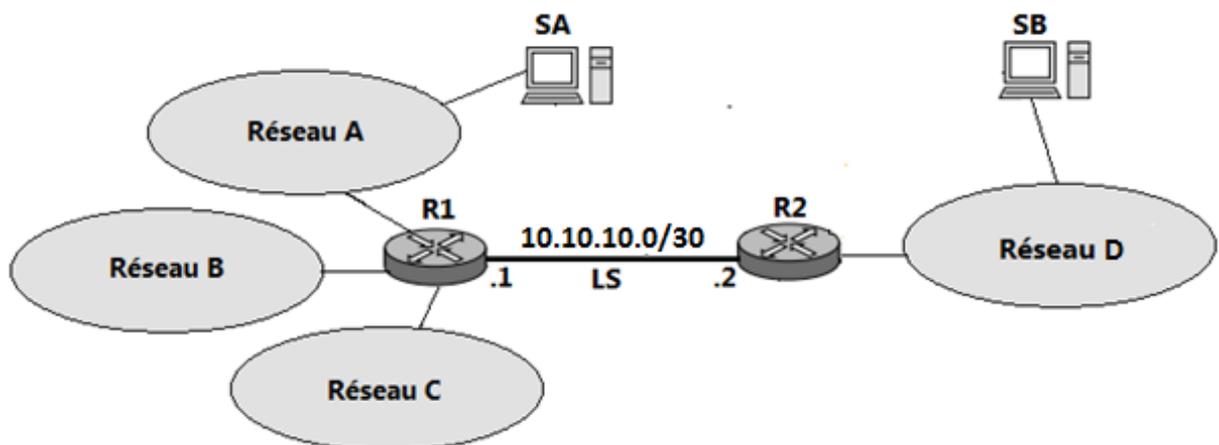
### Exercice 4.19

- 1) Une société dispose d'une adresse publique IPv4 : 195.177.208.0/20. Afin de contrôler ses 700 machines déjà installées en plus de 150 nouvelles machines achetées récemment. Cette configuration IP (adresse réseau et masque) sera-t-elle suffisante ? Expliquez pour quoi ?



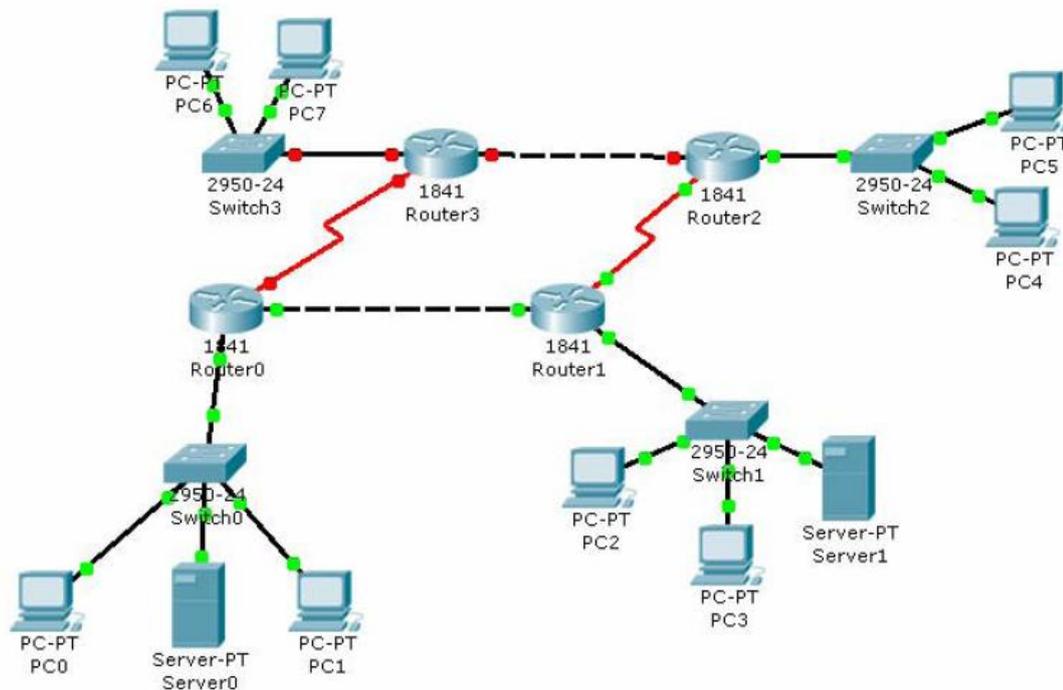
Enfin, il a été décidé de diviser l'adressage du réseau en quatre (4) sous-réseaux. L'administrateur réseau vous attribue pour votre tâche l'optimisation de l'emploi de l'espace d'adressage dans le réseau où les machines sont répartis comme suit :

- Sous-réseau A = 80 Machines
  - Sous-réseau B = 220 Machines
  - Sous-réseau C = 400 Machines
  - Sous-réseau D = 150 Machines
- 1) Proposer les adresses et les masques associés des sous-réseaux A, B, C et D (Construction des sous-réseaux par ordre croissant de taille).
  - 2) Donner les adresses de diffusion de chaque sous-réseau.
  - 3) Donner les plages d'adresses possibles dans chaque sous-réseau (l'adresse de la première et la dernière machine).
  - 4) En admettant qu'un seul routeur R1 sert au raccordement des sous-réseaux A, B, et C. Donner la configuration IP de ses interfaces parmi les adresses les plus hautes disponibles dans chaque sous-réseau.
  - 5) Le routeur R1 est relié à un autre routeur R2 par une liaison spécialisée (LS : 10.10.10.0/30) dont les adresses d'interface sont respectivement 10.10.10.1 pour le routeur R1 et 10.10.10.2 pour le routeur R2. Le routeur R2 est relié directement au sous-réseau D par l'interface ayant l'adresse la plus haute disponible dans le sous-réseau D (figure ci-dessous).
  - 6) Donner les adresses IP des machines SA et SB, les plus basses disponibles dans chaque sous-réseau.
  - 7) Donner les tables de routage des routeurs R1 et R2.
  - 8) Quelle est l'adresse IP à utiliser par la station SA pour envoyer un datagramme à TOUS les stations du sous-réseau B.



### Exercice 4.20

Soit le réseau de la figure suivante, deux vlans sont présent : PC2 et PC3 sont dans vlan\_inf et Server1 dans vlan\_service.



Les adresses IP des machines sont les suivantes :

Machines	@IP	Machines	@IP
PC0	200.6.0.10 / 24	PC7	200.6.3.11 / 24
PC1	200.6.0.11 / 24		
PC2	200.6.1.10 / 24		
PC3	200.6.1.11 / 24	Server0	200.6.0.250 / 24
PC4	200.6.2.10 / 24	Server1	200.6.1.250 / 24
PC5	200.6.2.11 / 24		
PC6	200.6.3.10 / 24		

Les adresses IP des routeurs sont les suivantes :

Routeur	Int	@IP	Routeur	Int	@IP
Router0	Fa0/0	200.6.0.254/24	Router2	S0/0/0*	200.6.6.2 /30
Router0	Fa0/1	200.6.5.1/30	Router3	Fa0/0	200.6.3.254/24
Router0	S0/0/0*	200.6.8.1 /30	Router3	S0/0/0*	200.6.8.2 /30
Router1	Fa0/1	200.6.5.2 /30	Router3	Fa0/1	200.6.7.1 /30
Router1	Fa0/0	200.6.1.254 /24			
Router1	S0/0/0*	200.6.6.1/30			
Router2	Fa0/1	200.6.7.2 /30			
Router2	Fa0/0	200.6.2.254/24			

Int : Interface

\* ces interfaces série WAN doivent fournir l'horloge (DCE)

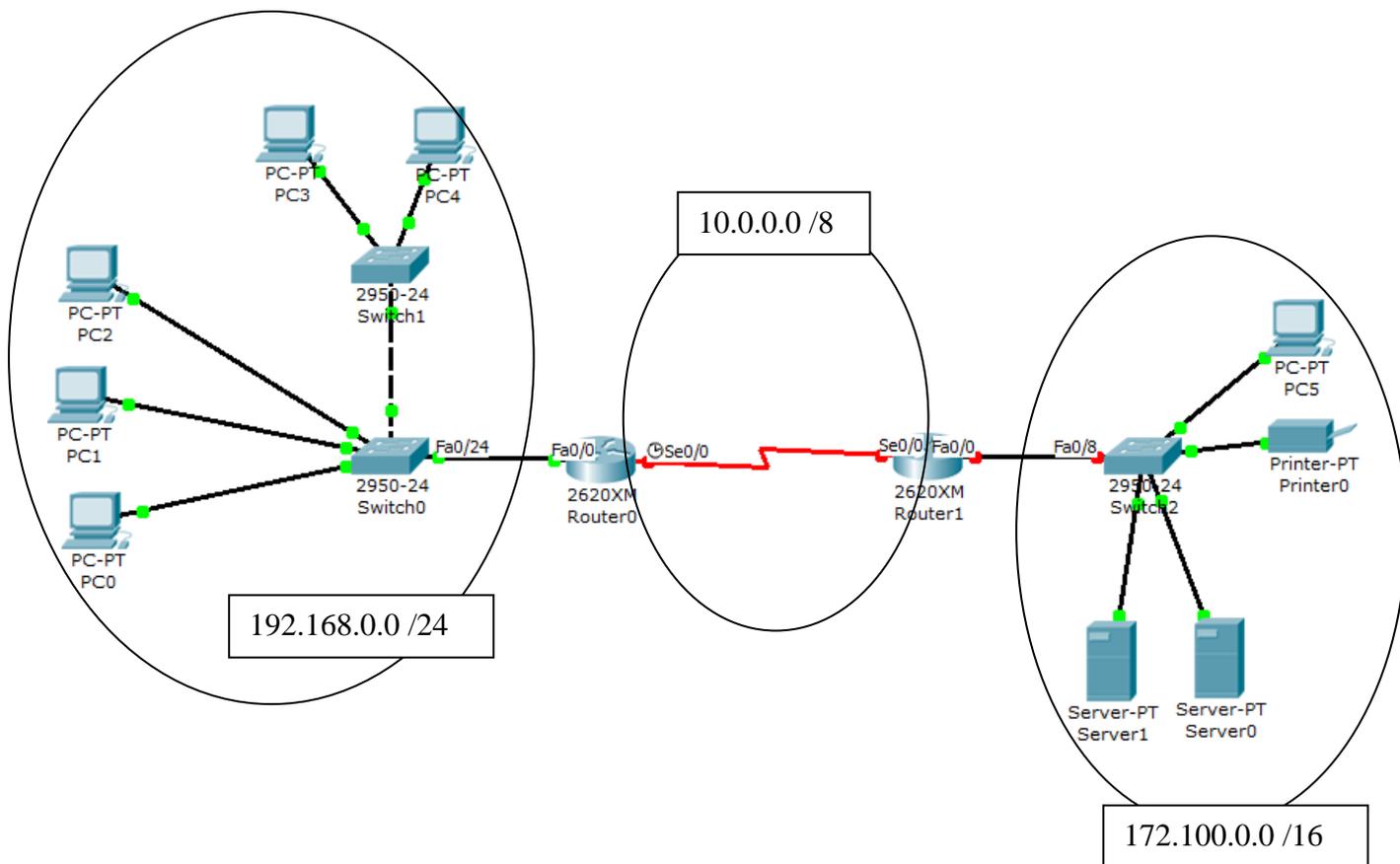
- 1) Donner les configurations du switch « Switch1 »
- 2) Donner la configuration du routeur « Router1 »
- 3) Donner la configuration des mots de passe « console » et « telnet » pour le même routeur.

### Exercice 4.21

Soit le réseau suivant, contenant quatre vlans :

VLAN\_DEPT1, VLAN\_DEPT2, VLAN\_ADMIN et VLAN\_SERVICE.

VLAN_DEPT1	PC0 , PC1 , PC3
VLAN_DEPT2	PC2 , PC4
VLAN_ADMIN	PC5 , Printer0
VLAN_SERVICE	Server0 , Server1



- 1) Donner l'adresse/les adresses IP, ainsi que la configuration de chaque équipement du réseau.
- 2) Configurer les mots de passe telnet pour la connexion aux routeurs Router0 et Router1.



## Chapitre V – Analyse de trames et de protocoles

### Exercice 5.1

Soit 4 stations ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  et  $S_4$ ) appartenant à un réseau X.25, on prélève sur la liaison au niveau de la machine  $S_1$  la trace suivante :

```

7E 01 FC 2B 71 7E 7E 03 CE A0 3C 7E 7E 01 00 1F FF 0B 09 01 30 19 97 70 06 DF CC 46
3B CF 7E 7E 03 01 1F FF 0F 1A 02 7E 7E 01 11 1F FF 10 D4 F5 AA 7C 44 35 62 2C 2B BB
77 6D FF FA D3 DE 09 87 6F 54 10 23 45 65 0E 0A 3F 29 88 FF AA 45 BC 8D 7E 7E 01 21
1F FF 12 87 6F 54 10 23 45 65 0E 0A 3F 01 FC 2B 71 03 01 1F FF 0F 1A 02 E1 E4 A6 D0
CC 43 76 0F 0C EF 33 03 01 7E 7E 01 39 1F FE 0B 09 01 30 19 93 30 06 DF 55 3B 70 AC
7E 7E 03 8C C9 CB 7E 7E 01 41 1F FF 04 FE 0B 09 01 30 19 93 30 06 DF 55 3B 70 AC 45
65 0E 0A 3F 01 FC 2B 71 03 01 1F FF 0F 1A EA EF EB AE 35 7E 7E 03 15 1F FE 0F 44 20
7E 7E 0152 1F FE 10 0F 1A 02 E1 E4 A6 D0 CC 43 76 0F 0C EF 33 23 45 56 67 78 DF EA
89 0E 03 BD DD 13 4A 11 54 3A 99 80 9D 7E 7E 03 26 1F FF 61 7F 05 7E 7E 01 63 1F FF
16 30 E7 A8 C1 C4 F5 D0 67 5A AC D3 ED DB B7 B6 EE BD CA CC 04 01 52 1F FE 10 0F
1A 02 E1 E4 E4 00 0C 1D 7E 7E 01 7B 1F FF 18 D3 D4 F5 B7 A2 32 4C C1 98 76 03 05 02
FF EB BB 54 E4 E7 32 22 11 DD BD BA EB 90 77 33 E7 66 01 82 E9 7E 7E 03 9F FF FF FE
7E 7E 01 73 1F FF 18 D3 D4 F5 B7 A2 32 4C C1 98 76 03 05 02 FF EB BB 54 E4 E7 32 22
11 DD BD BA EB 90 77 33 E7 66 00 81 E8 7E 7E 01 03 1F FE 12 09 F5 F6 EA AE 43 55 9B
00 96 33 C2 C4 33 B1 22 52 B6 DB AF 81 16 14 10 05 02 0E 4A 5F 6C 67 77 EF 0A 7E 7E
01 13 1F FE 04 19 45 19 54 19 62 20 00 20 01 20 02 20 03 AB D0 00 D0 D0 BA BA B0
B0 E3 E7 07 19 67 FA FA 11 11 45 62 7E 7E 03 3A 1F FE 61 07 73 7E 7E 01 2C 1F FE 13
B2 B1 7E 7E 03 4B 1F FE 17 CF B4 7E.
    
```

- 1) Indiquer le nombre des trames
- 2) Reconstituer le dialogue au niveau trame en remplissant le tableau suivant :

N° Trame	Adresse	Commande	Type de trame	N(S)	P/F	N(R)

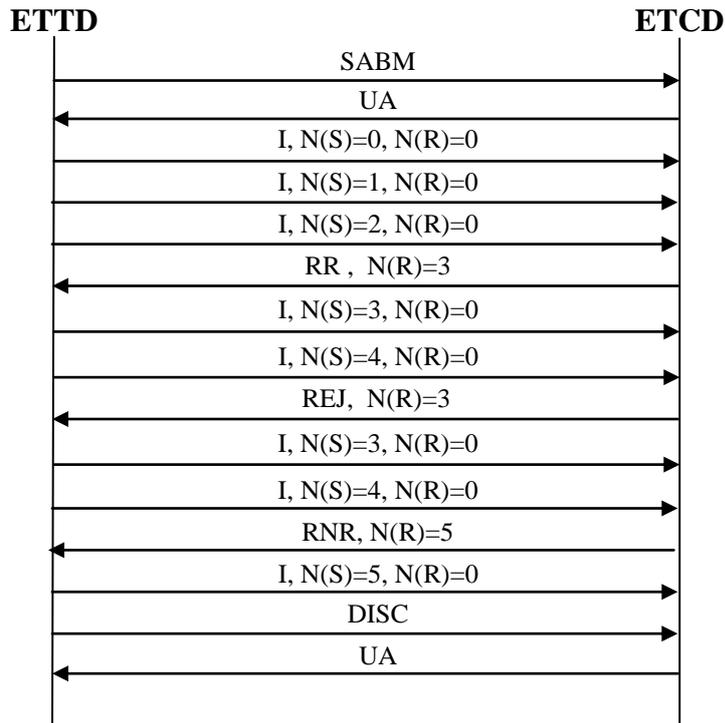
- 3) Reconstituer le dialogue au niveau paquet

N° Paquet	Code-type	Type de paquet	P(R)	M	P(S)	NVL	Sens

- 4) Quelle est la taille de la fenêtre d'acquittement au niveau trame et paquet ?
- 5) Quel est le nombre et les valeurs des NVL (Numéro de Voie Logique) ?
- 6) Quelle est la taille du segment de données transmis sur la liaison ?

**Exercice 5.2**

Soit le diagramme d'échange suivant :



- 1) Indiquer le type et le rôle de chaque trame.
- 2) Donner les différentes opérations qui se font lors de cet échange.
- 3) Une des trames est erronée, laquelle ? Justifier votre réponse.

**Exercice 5.3**

On prélève au niveau d'une machine S1 reliée au réseau X25 la trace suivante (code hexadécimal) :

```
7E 01 01 10 14 0B 99 17 50 40 78 21 44 22 11 37 11 02 CC 00 0E 64 01 92 E1 04 00 00 01 00 00 00 3F 01
CC 00 00 00 8C B5 7E 7E 03 11 10 14 0F 00 0A 02 CC 00 0E E1 04 00 00 01 00 3C 0B 7E 7E 03 21 90
14 00 1F 02 50 32 80 A3 7E 7E 01 13 10 14 20 1F 02 50 32 AB 20 7E 7E 03 32 10 14 21 79 C8 7E 7E 03
84 AE B0 7E 7E 01 24 10 14 22 00 2C 45 00 00 2C 33 06 00 00 1D 06 3B 5B 15 05 03 96 15 3E 05 96 04
C3 00 15 7B C2 C0 01 00 00 00 00 60 02 20 00 08 1F 00 00 02 04 05 B4 AF 33 7E 7E 01 34 10 14 24 20
1F 7E
```

Reconstituer le dialogue au niveau trame et au niveau paquet en remplissant les tableaux suivants :



Dialogue au niveau trame

Trame	Adresse	Commande	Type Trame HDLC LAP-B	N(s)	P/F	N(r)	Sens S1 (→ ou ←) Réseau X25
1	Hex 01	0001 0000	I	0	0	0	S1 → Réseau X25
2							
.							
.							
.							
.							
.							

Dialogue au niveau paquet

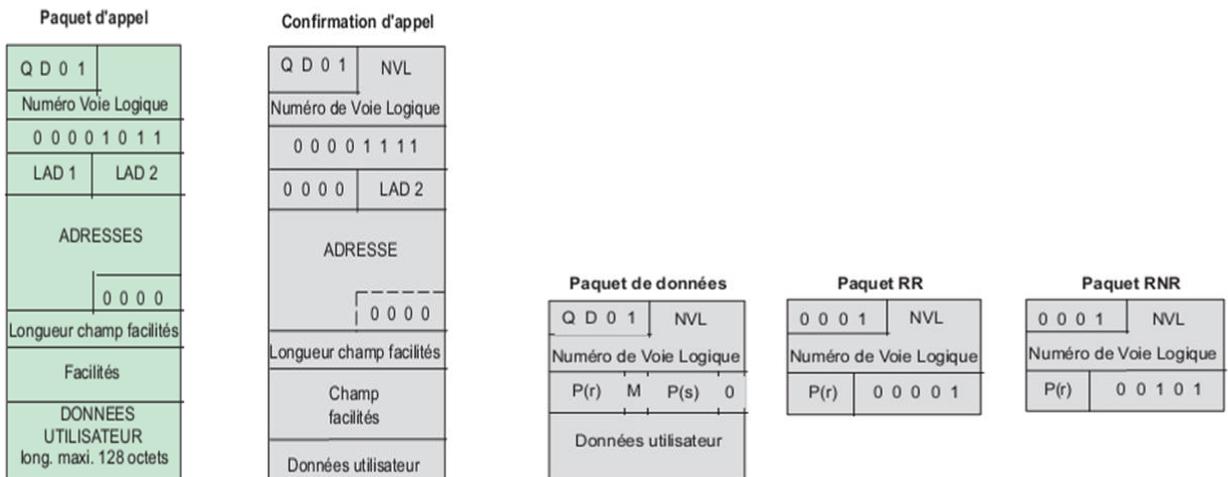
Paquet	Code_Type	Type Paquet X25	P(r)	M	P(s)	NVL	Sens S1 (→ ou ←) Réseau X25
1							
2							
.							
.							
.							
.							
.							

Quelques Rappels de cours :

- Trames HDLC LAP-B

Type	Sous-type	Champ contrôle								
Trame I		0	Ns				P/F	Nr		
Trame S	RR	1	0	0	0	P/F	Nr			
	RNR	1	0	1	0	P/F	Nr			
	REJ	1	0	0	1	P/F	Nr			
	SREJ	1	0	1	1	P/F	Nr			
Trame U	SABM	1	1	1	1	P	1	0	0	
	DISC	1	1	0	0	P	0	1	0	
	UA	1	1	0	0	F	1	1	0	
	DM	1	1	1	1	F	0	0	0	

- Paquet X25



**Exercice 5.4**

Quelle est la longueur minimale d'une trame Ethernet?

- a) 32 octets
- b) 64 bits
- c) 256 octets
- d) 512 bits
- e) 1024 octets
- f) 1500 bits

**Exercice 5.5**

Quelle est la fonction du préambule d'une trame Ethernet II ?

- a) Il est utilisé comme bloc de données
- b) Il identifie l'adresse d'origine
- c) Il identifie l'adresse de destination
- d) Il indique la fin des informations relatives à la synchronisation
- e) Il est utilisé pour la synchronisation et se compose de 1 et de 0 en alternance

**Exercice 5.6**

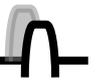
Par quel moyen est effectué le contrôle de flux dans TCP ?

- a) la fenêtre glissante
- b) le numéro de séquence
- c) le numéro d'acquittement
- d) le numéro de port
- e) le checksum
- f) le TTL

**Exercice 5.7**

Soit la trame Ethernet II suivante (format hexadécimal) :

```
e0 2a 82 5d 23 ab 00 e0 20 15 0f bc 08 00 45 00
00 28 00 00 40 00 40 06 11 69 36 94 46 97 ac 10
00 2c 00 50 c1 a7 12 29 b5 9a d6 f3 e3 0e 50 10
00 7c 42 33 00 00 00 00 00 00 00 00
```



Décoder cette trame conformément aux formats indiqués ci-dessous :

### Ethernet frame

- MAC Destination (format décimal)MAC Source : (format hexadécimal)
- Type: (format décimal)

### Internet Protocol

- Version: (format décimal)
- Header Length: (format décimal)
- Differentiated Services Field (TOS): (format décimal)
- Total Length: (format décimal)
- Identification: (format décimal)
- Flags (FO): (format binaire)
- Displacement: (format décimal)
- Time to live: (format décimal)
- Protocol: (format décimal)
- Header checksum: (format hexadécimal)
- IP Source: (format décimal pointé)
- IP Destination : (format décimal pointé)

### Transport Protocol

- Source Port: (format décimal)
- Destination Port: (format décimal)
- Sequence Number: (format hexadécimal)
- Acknowledgement Number : (format hexadécimal)
- Window : (format hexadécimal)

### Exercice 5.8

Décoder la trame Ethernet II suivante :

```
FF FF FF FF FF FF 00 14 2A 91 11 E9 08 06 00 01
08 00 06 04 00 01 00 14 2A 91 11 E9 B0 3E 07 02
00 00 00 00 00 00 B0 3E 05 22 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
```

**Exercice 5.9**

- 1) Décoder la trame Ethernet suivante (sans préambule et sans SFD) :

```
dc 02 8e f1 7a f0 90 f6 52 83 32 a7 08 00 45 00
00 34 64 63 40 00 80 06 06 b4 c0 a8 01 14 29 c9
a4 27 c5 f7 01 bb 33 6a 78 c8 00 00 00 00 80 02
20 00 4b 7e 00 00 02 04 05 b4 01 03 03 08 01 01
04 02
```

- 2) Quelle est la longueur des données.  
3) S'agit-il d'une demande de connexion TCP ? Justifier.

**Exercice 5.10**

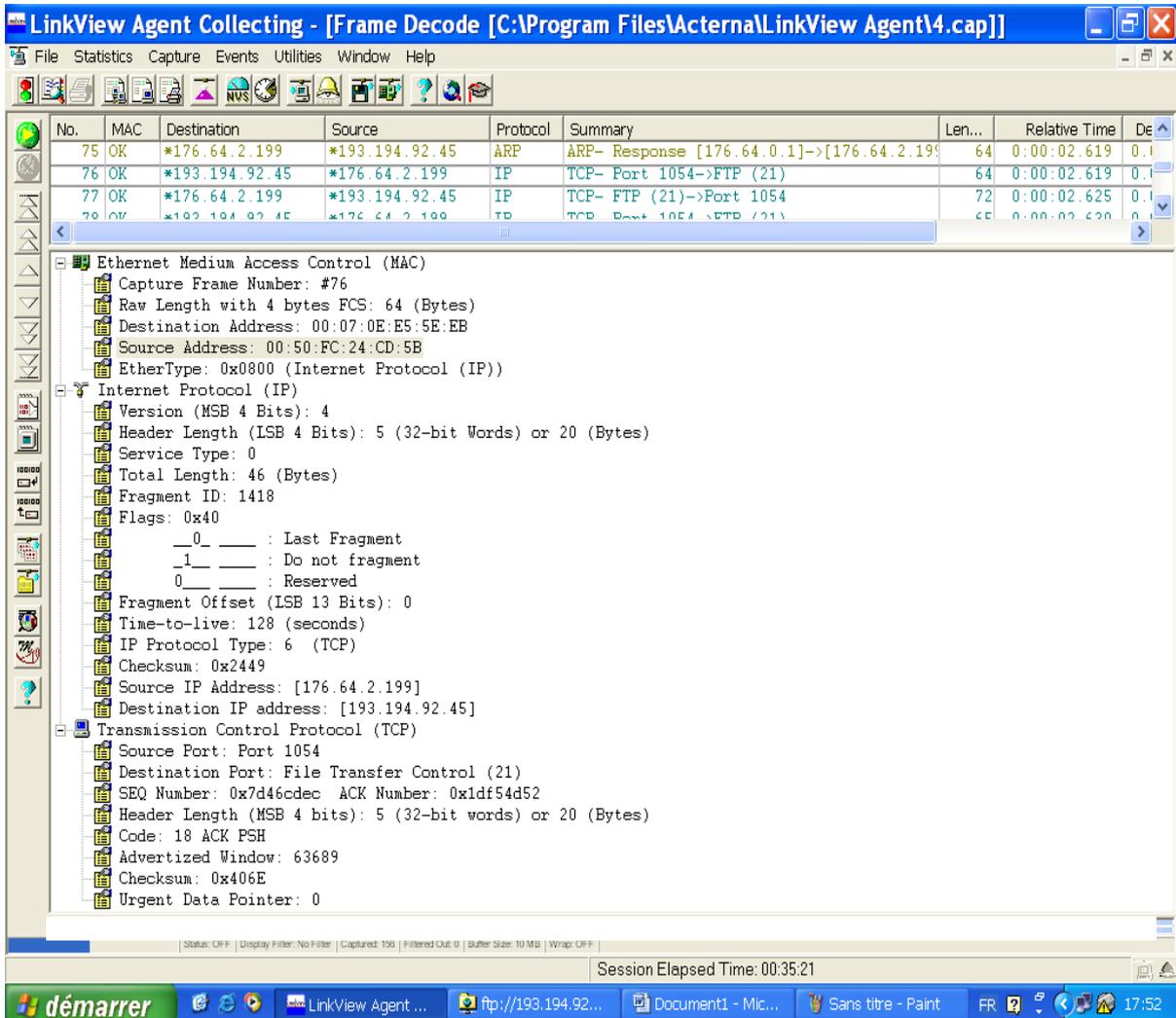
- 1) Décoder la trame Ethernet II suivante :

```
e0 2a 82 5d 23 ab 00 e0 20 15 0f bc 08 00 45 00
00 28 00 00 40 00 40 06 11 69 36 94 46 97 ac 10
00 2c 00 50 c1 a7 12 29 b5 9a d6 f3 e3 0e 50 10
00 7c 42 33 00 00 00 00 00 00 00 00
```

- 2) Présente-t-elle du bourrage (padding) ou non? justifier.

### Exercice 5.11

On donne ci-après le décodage d'une trame Ethernet II à l'aide du logiciel de capture et d'analyse réseau « LinkView ».



Trame

```
00 07 0E E5 5E EB 00 50 FC 24 CD 5B 08 00 45 00
00 2F 05 8B 40 00 80 06 24 47 B0 40 02 C7 C1 C2
5C 2D 04 1E 00 15 7D 46 CD F2 1D F5 4D 60 50 18
F8 BB 6A CC 00 00 43 57 44 20 2F 0D 0A
```

Trame

```
00 07 0E E5 5E EB 00 50 FC 24 CD 5B 08 00 45 00
00 2E 05 8A 40 00 80 06 24 49 B0 40 02 C7 C1 C2
5C 2D 04 1E 00 15 7D 46 CD EC 1D F5 4D 52 50 18
F8 C9 40 6E 00 00 6E 6F 6F 70 0D 0A
```

Trame

```
00 07 0E E5 5E EB 00 50 FC 24 CD 5B 08 00 45 00
00 40 05 8D 40 00 80 06 24 34 B0 40 02 C7 C1 C2
5C 2D 04 1E 00 15 7D 46 CE 01 1D F5 4D A3 50 18
F8 78 BF C6 00 00 50 4F 52 54 20 31 37 36 2C 36
34 2C 32 2C 31 39 39 2C 34 2C 33 35 0D 0A
```

- 1) Laquelle des trois trames données ci-dessus correspond à ce décodage ?
- 2) Quels sont les protocoles encapsulés au niveau réseau, transport et application ?
- 3) Donner les adresses MAC source et destination



- 4) Donner les adresses IP source et destination
- 5) Est-ce le paquet encapsulé niveau réseau est un fragment? justifier ?
- 6) Quel est l'indication du contrôle du flux ?
- 7) Le protocole transport encapsulé est-il orienté connexion ? Si oui, représenter les étapes de la connexion qui vient juste de précéder l'envoi de ce paquet, si non quel est le protocole responsable de la fiabilité dans ce cas ?

### Exercice 5.12

On considère un échange via Internet entre deux machines A et B. Grace à un outil d'analyse réseau, on a procédé à une capture de trames au niveau de la machine A ( @MAC : d4 3d 7e 94 bc 77) . Pour chaque trame capturée, on a gardé uniquement la trace suivante :

Entête MAC	Entête IP	Entête TCP
------------	-----------	------------

**Trace 1**                    00 25 69 07 76 7e d4 3d 7e 94 bc 77 08 00 45 00  
 00 30 4a fb 40 00 80 06 00 00 c0 a8 01 07 29 c9  
 80 32 d3 c7 00 50 fc c2 f0 34 00 00 00 00 70 02  
 20 00 6b cd 00 00 02 04 05 b4 01 01 04 02

**Trace 2**                    d4 3d 7e 94 bc 77 00 25 69 07 76 7e 08 00 45 00  
 00 30 35 4a 00 00 3a 06 df d3 29 c9 80 32 c0 a8  
 01 07 00 50 d3 c7 c5 0d 45 86 fc c2 f0 35 70 12  
 72 10 d9 af 00 00 02 04 05 b4 01 01 04 02

**Trace 3**                    00 25 69 07 76 7e d4 3d 7e 94 bc 77 08 00 45 00  
 00 28 4a fc 40 00 80 06 00 00 c0 a8 01 07 29 c9  
 80 32 d3 c7 00 50 fc c2 f0 35 c5 0d 45 87 50 10  
 fa f0 6b c5 00 00

**Trace 4**                    00 25 69 07 76 7e d4 3d 7e 94 bc 77 08 00 45 00  
 02 08 4a fd 40 00 80 06 00 00 c0 a8 01 07 29 c9  
 80 32 d3 c7 00 50 fc c2 f0 35 c5 0d 45 87 50 18  
 fa f0 6d a5 00 00

**Trace 5**                    d4 3d 7e 94 bc 77 00 25 69 07 76 7e 08 00 45 00  
 00 28 35 58 00 00 3a 06 df cd 29 c9 80 32 c0 a8  
 01 07 00 50 d3 c7 c5 0d 45 87 fc c2 f2 15 50 10  
 75 40 01 64 00 00

**Trace 6**                    d4 3d 7e 94 bc 77 00 25 69 07 76 7e 08 00 45 00  
 03 be 35 8b 00 00 3a 06 dc 04 29 c9 80 32 c0 a8  
 01 07 00 50 d3 c7 c5 0d 45 87 fc c2 f2 15 50 18  
 75 40 79 d3 00 00



- 1) Donner les adresses IP de A et B.
- 2) Quelle est l'adresse MAC de B ?
- 3) Donner les numéros de ports ouverts sur A et sur B.
- 4) Compléter le tableau suivant :

N° trace	Sens (A→B ou B→A)	Type paquet TCP (SYN, ACK, RST, FIN) ou DATA	Longueur DATA application (le cas échéant)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

- 5) Retracer l'échange entre A et B à l'aide de flèches en indiquant le type de paquet TCP transmis et la longueur des données de niveau application.
- 6) Justifier les valeurs des numéros de séquençement et d'acquittement entre les paquets TCP dans les traces 4 et 5.
- 7) Pour la trace 5, montrer que le champ de données de la trame Ethernet doit avoir un bourrage (Padding). Quelle est la longueur de ce bourrage en octets ?
- 8) Vérifier que le champ « Window » de l'entête TCP est différent d'un paquet à un autre dont la source est la même machine ? Pourquoi y a-t-il ce changement ?

### Exercice 5.13

Le relevé ci-dessous (paquets IP) correspond à l'échange d'informations entre deux stations St<sub>1</sub> et St<sub>2</sub> en utilisant le protocole TCP/IP. (Le paquet TCP n'a pas d'options)

Paquet P1 : envoyé par St<sub>1</sub>

```
45 00 00 28 01 9A 00 00 40 06 68 EC C0 09 C8 04 00 09 C8 32
00 19 04 01 90 4A 12 7E 00 00 14 4F 50 10 37 FB AB EB 00 00
01 31 03 31 32 38
```

Paquet P2 : envoyé par St<sub>2</sub>

```
45 00 00 20 04 00 00 00 3C 06 6A 82 C0 09 C8 32 C0 09 C8 04
04 01 00 19 00 00 14 4B 90 4A 12 7E 50 18 14 00 4A DE 00 00
85 00 00 00
```

- 1) Quel paquet a été envoyé en premier ? Justifier .
- 2) Combien d'octets comportent les entêtes IP et TCP de ce paquet ?
- 3) Combien en reste-t-il au niveau supérieur ?
- 4) Indiquer les adresses IP des stations  $St_1$  et  $St_2$
- 5) Les paquets sont-ils fragmentés ?
- 6) A quoi correspondent les numéros de ports dans les paquets P1 et P2 ?
- 7) Combien d'octets au niveau supérieur la station  $St_1$  peut-elle recevoir ?
- 8) Quel est le numéro de séquence à l'émission envoyé par la station  $St_2$  dans le paquet P2 ? Justifier en conséquence la valeur utilisée dans le paquet P1 pour l'acquittement par la station  $St_1$  ?

### Exercice 5.14

Soit le réseau de la figure suivante, construit sous l'architecture TCP/IP avec un subnetting de masque 255.255.255.192

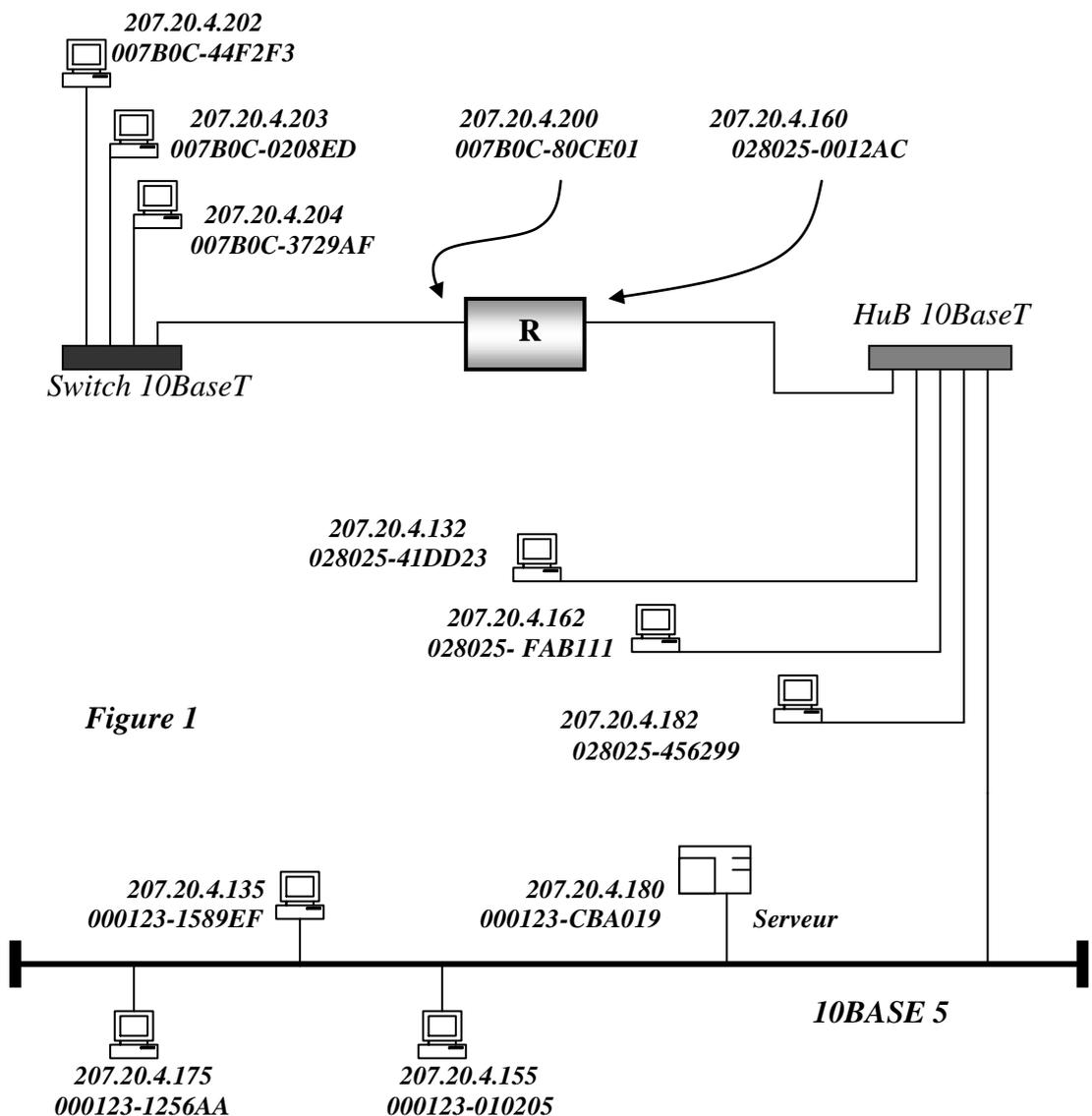


Figure 1



- 1) Donner la classe de réseau, les sous réseaux et les adresses de diffusion des sous réseaux.
  
- 2) Le routeur R reçoit une trame Ethernet II dont :  
 l'entête MAC est : AB007B0C80CE01007B0C3729AF0800 (code hexadécimal)  
 l'entête IP est : 45000414006400002006320DCF1404CCCF1404AF (code hexadécimal)
  - a) Sur quelle interface du routeur R le paquet IP est reçu ?
  - b) Vérifier si l'adresse matérielle source correspond bien à l'adresse IP source.
  - c) Pourquoi l'adresse matérielle destination et l'adresse IP destination ne correspondent pas ?
  
- 3) En fait le sous réseau destination présente une MTU inférieure à celle du sous réseau source ; le paquet IP avant d'être routé subira donc une fragmentation. Cette opération conduit à une subdivision du paquet original en trois fragments qui ont pour entêtes IP respectivement :

fragment n°1 : 45000194006420001F0627A4CF1404CCCF1404AF

fragment n°2 : 45000194006421801F0671A0 CF1404CCCF1404AF

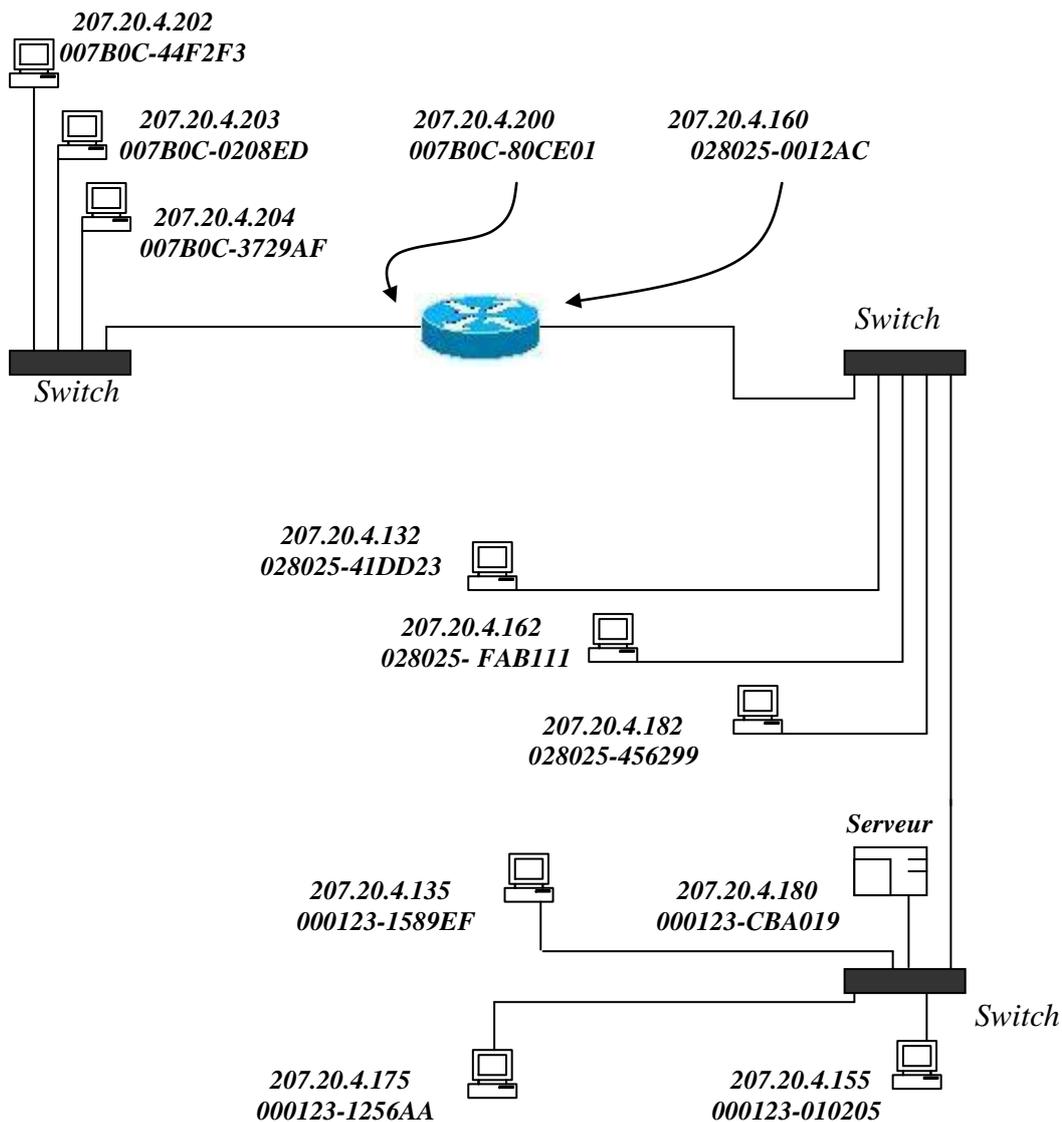
fragment n°3 : 45000114006403001F06A1B9 CF1404CCCF1404AF

- a) Donner l'entête MAC des trames Ethernet II encapsulant les différents paquets fragments sur le sous réseau destination.
- b) Donner pour chaque paquet fragment ( en code décimal ) les champs identificateur , DF , MF ,et déplacement de fragment .
- c) Y a-t-il conservation du champ identificateur avec le paquet original ?
- d) Donner les MTU des deux sous réseaux . Vérifier si le compte est bon.

### Exercice 5.15

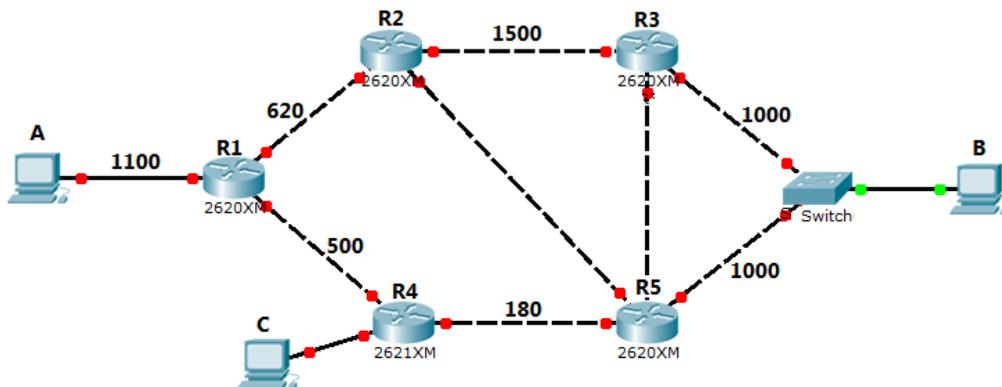
Soit le réseau de la figure suivante, construit sous l'architecture TCP/IP avec le masque 255.255.255.192

- 1) Donner la classe de réseau, les sous réseaux et les adresses de diffusion des sous réseaux.
  
- 2) Le routeur R reçoit une trame Ethernet II dont :  
 l'entête MAC est : AB007B0C80CE01007B0C3729AF0800 (code hexadécimal )  
 l'entête IP est : 45000414006400002006320DCF1404CCCF1404AF (code hexadécimal )
  - a) Sur quelle interface du routeur R le paquet IP est reçu ?
  - b) Vérifier si l'adresse matérielle source correspond bien à l'adresse IP source.
  - c) Pourquoi l'adresse matérielle destination et l'adresse IP destination ne correspondent pas ?



### Exercice 5.16

Soit le réseau IP suivant :





Chaque liaison entre hôtes (station ou routeur) est étiquetée par son MTU (Maximum Transmission Unit). Le MTU définit la taille maximale d'un paquet IP qui peut être véhiculé dans les trames d'un réseau physique particulier. Ce paramètre est rattaché à une interface réseau du hôte (de numéro  $p_i$  et d'adresse IP de classe B) pour fragmenter les données avant leur transmission sur la liaison.

On suppose que A doit émettre 1520 octets de données vers B.

- 1) Décrivez les fragmentations réalisées pour la transmission d'un paquet IP émis par A à destination de B, en supposant que le routeur R1 transmet alternativement les trames qu'il reçoit vers R2-R3 puis vers R4-R5.
- 2) Préciser pour chaque fragment de paquet, les valeurs des champs (Identification, More Fragment, Flag et Offset). On supposera que la valeur initiale de l'Identifiant du paquet est 71.

On donne les formats suivants :

Trame Ethernet :

Adresse Destination	Adresse Source	type	Données	FCS
6	6	2	46-1500	4

Paquet IP :

version(4)	IHL (4)	TOS (8)	longueur totale (16)	
identification (16)		flags(3)	offset fragment(13)	
TTL (8)	protocole(8)		header checksum (16)	
adresse source (32)				
adresse destination (32)				
options			bourrage	
données				

### Exercice 5.16

Soit la trace hexadécimale de la trame ethernet suivante capturée par un routeur :

```

00 00 0C 09 A6 08 00 20 18 15 23 AB 08 00 45 00
00 54 C3 4D 00 00 00 01 39 01 C0 2C 4D 49 8D D4
24 10 08 00 CA 19 1E FD 00 00 2D 7C 92 06 00 0B
64 58 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F 10 11 12 13 14 15
16 17 18 19 1A 1B 1C 1D 1E 1F 20 21 22 23 24 25
26 27 28 29 2A 2B 2C 2D 2E 2F 0F 31 32 33 34 35
36 37
    
```

- 1) Analyser cette trame aux niveaux 2 et 3. Préciser le type de la trame et des paquets qu'elle encapsule.
- 2) Quelle est la réaction du routeur à cette trame ?

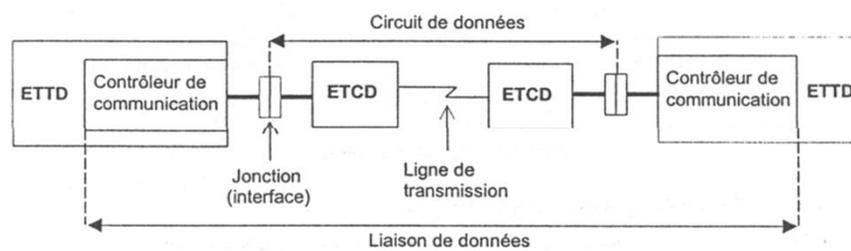
## Rappels de cours

### A. Structure des systèmes de communication

Un système de transmission numérique reliant un émetteur et un récepteur est appelée liaison de données

Un réseau est constitué d'un ensemble d'ordinateurs connectés entre eux par les liaisons. Il permet l'échange entre machines distantes de données qui sont si nécessaire relayées de liaison en liaison par les machines intermédiaires.

La communication entre systèmes informatiques s'effectue donc, via des liaisons, dont les principaux éléments sont définis par les recommandations de l'UIT-T (Union Internationale des Télécommunications - secteur des Télécoms)



Les éléments constituant la liaison :

- ETTD et ETCD émetteur
- Support de transmission
- ETTD et ETCD récepteur

L'émetteur ou le récepteur : Situé à l'extrémité de la liaison, il peut être un ordinateur, un terminal, une imprimante, une caméra, ou plus généralement tout équipement qui ne se connecte pas directement à la ligne de transmission. On les appelle Equipements Terminaux de Traitement de Données, dits ETTD ou DTE : Data Terminal Equipment.

L'information est transportée sur la voie sous forme d'un signal résultant de la transformation de l'information binaire pour l'adapter au support (codage, modulation, ...). Cette transformation est réalisée par des appareils situés à chaque extrémité de la voie et appelés ETCD : Equipements Terminaux de Circuit de Données, ou DCE : Data Communication Equipment. Ils peuvent être un modem, une carte réseau.

L'ensemble « ETCD+Support » s'appelle un circuit de données.

L'ETCD a deux fonctions essentielles :

- l'adaptation du signal binaire entre l'ETTD et la ligne de transmission, ce qui correspond généralement à un codage et une modulation (ou une démodulation et un décodage suivant qu'il émet ou reçoit) ;
- la gestion de la liaison comprenant l'établissement, le maintien et la libération de la ligne à chaque extrémité.

La jonction constitue l'interface entre ETCD et ETTD et permet à ce dernier de contrôler le circuit de données (établissement et libération, initialisation de la transmission...).



Les caractéristiques matérielles, électriques et fonctionnelles d'une jonction sont définies par une norme (exemple : V24, X21, ...)

- **Modes d'exploitation de la liaison** : simplex, semi-duplex (half duplex) ou duplex intégral (full duplex)
- **Format de transmission**: série ou parallèle
- **Modes de transmission** : asynchrone ou synchrone
- **Techniques de transmission** : bande de base ou modulation

Les informations à transmettre sont représentées par une suite de symboles binaires (0 et 1).

Pour transmettre cette suite binaire sur le support, on utilise un codeur qui transforme cette suite en un signal électrique/optique, binaire ou M-aire, en employant un codage spécifique appelé codage de ligne.

Chaque symbole binaire/M-aire va correspondre à un niveau de tension.

- Un signal binaire présente 2 états (amplitudes ou niveaux)
- Un signal M-aire présente M états (amplitudes ou niveaux)

La suite codée à nouveau peut :

1. soit correspondre directement au signal qui circule sur le canal de communication : on parle de **transmission en bande de base**,

Types de code en ligne utilisés :

- Code unipolaire avec non-retour à zéro (NRZ)
- Code polaire avec non-retour à zéro (NRZ)
- Code unipolaire avec retour à zéro (RZ)
- Code polaire avec retour à zéro (RZ)
- Code à inversion alternée non retour à zéro (Alternante Mark Inversion) AMI-NRZ ou code bipolaire simple.
- Code à inversion Alternée avec retour à zéro (Alternante Mark Inversion) AMI-RZ, ou code bipolaire.
- Code biphasé (Manchester).
- Code Miller

Les principales caractéristiques recherchées sont donc :

- Un spectre moins large
- Pas de composante continue (fréquence zéro)
- Récupération de l'horloge à la réception

2. soit être employée pour moduler un signal avec porteuse : on parle de **transmission par transposition de fréquence ou modulation**.



Dans les procédés de modulation binaire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre (amplitude, phase ou fréquence) qui ne prend que deux valeurs possibles.

Dans les procédés de modulation M-aire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui prend M valeurs. Ceci permet d'associer à un état de modulation un mot de n bits. Le nombre d'états est donc  $M = 2^n$ .

Les types de modulation les plus fréquemment rencontrés sont les suivants :

- Modulation par Déplacement d'Amplitude MDA (Amplitude Shift Keying ASK).
- Modulation par Déplacement de Phase MDP (Phase Shift Keying PSK).
- Modulation par Déplacement de Fréquence MDF (Frequency Shift Keying FSK).
- Modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature MAQ (Quadrature Amplitude modulation QAM).

- ✓ Un symbole : est un élément d'un alphabet. Si M est la taille de l'alphabet, le symbole est alors dit M-aire. Lorsque M=2, le symbole est dit binaire.

En groupant, sous forme d'un bloc, n symboles binaires indépendants, on obtient un alphabet de  $M = 2^n$  symboles M-aires. Ainsi un symbole M-aire véhicule l'équivalent de  $n = \log_2 M$  bits.

- ✓ Valence d'un signal: Nombre d'états que peut prendre un signal pour représenter l'information.

cas binaire -----> valence = 2

cas M-aire -----> valence = M

- ✓ La rapidité de modulation R : se définit comme étant le nombre d'états par seconde.

La rapidité de modulation  $R = 1/T$  s'exprime en "bauds". T est la durée d'un symbole

- ✓ Le débit binaire D : se définit comme étant le nombre de bits transmis par seconde. Il sera égal ou supérieur à la rapidité de modulation R selon qu'un changement d'état représentera un bit ou un groupement de bits.

Le débit binaire  $D=1/T_b$  s'exprime en "bits par seconde".  $T_b$  est la durée d'un bit

Pour un alphabet M-aire, on a la relation fondamentale :

$$T = nT_b \text{ soit } D = n R$$

Et comme  $n = \log_2 M$ , alors :  $D = R \log_2 M$

Il y a égalité entre débit de source et rapidité de modulation uniquement dans le cas d'une source binaire (alphabet binaire).

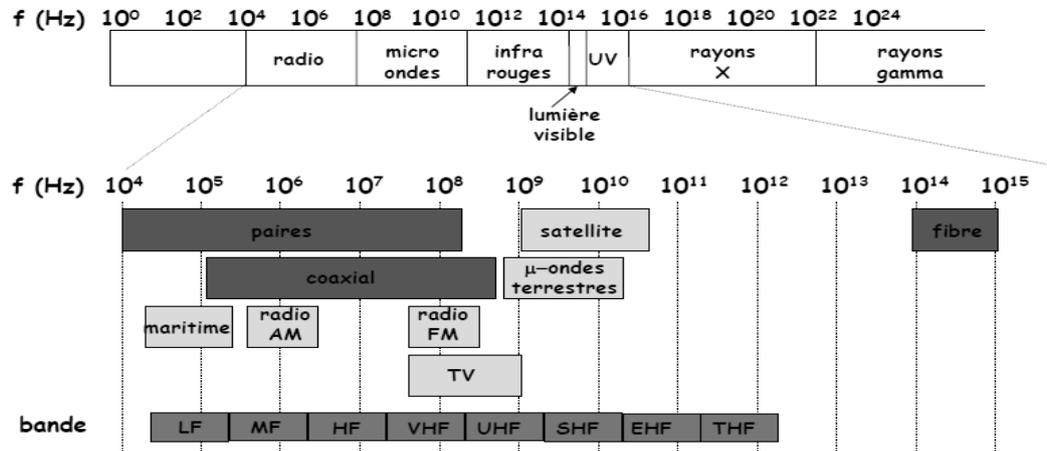
- **Supports de transmission**

Ils se répartissent, grossièrement, en 2 groupes :

- Les supports guidés
  - Paires torsadée
  - Câble coaxial
  - Fibre optique

- Les supports non guidés
- Les ondes radios (liaisons hertziennes ou satellitaires)

## Le spectre électromagnétique



### Critère de Nyquist :

Nyquist a montré que la rapidité de modulation maximale admissible sur un canal (sans interférence inter-symboles) est égale à 2 fois sa bande passante :

$$R_{max} = 2 B \text{ (ou } 2W)$$

Pour une ligne téléphonique de largeur de bande égale à 3100 Hz par exemple, la rapidité de modulation maximale est de  $2 \times 3100 = 6200$  bauds,

Le débit maximal est par conséquent donné par :

$$D_{max} = R_{max} \cdot \log_2 M$$

Pour un codage binaire :  $D_{max} = 6200 \text{ bits/s}$

Pour un codage M-aire (M=4) :  $D_{max} = 12400 \text{ bits/s}$

Pour un codage M-aire (M=16) :  $D_{max} = 24800 \text{ bits/s}$

### Capacité de Shannon :

Shannon a montré que la capacité d'un canal de transmission n'était pas seulement limitée par la bande passante mais aussi par le rapport Signal/Bruit :

$$D_{max} = C \quad (\text{capacité})$$

$$C = W \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad : \text{ bits/s}$$

La capacité d'une ligne téléphonique de largeur de bande égale à 3100 Hz et de rapport signal/bruit de 30 dB est :  $C = 3100 \cdot \log_2(1 + 1000) = 30,89 \text{ kbits/s}$  (  $x(\text{dB}) = 10 \log_{10}(x)$  )

## B. Procédures (ou protocoles) de liaison de données

Un protocole est un ensemble de procédures informatiques préétablies pour réaliser un échange de données sur une liaison point à point ou multipoints.

Un protocole de liaison organise donc l'échange sur une liaison de données (DTE-Circuit de données-DTE).

Lors de l'échange de données, le protocole de liaison doit assurer :

- la délimitation des blocs de données échangés ;
- le contrôle de l'intégrité des données reçues ( le contrôle d'erreurs);
- l'organisation de l'échange (accusé de réception);
- le contrôle de flux (pour ne pas saturer le récepteur);
- la supervision de la liaison (établissement, maintien et libération).

### ❑ Protocoles Asynchrones

Les principaux protocoles asynchrones sont :

- **XON/XOFF**, protocole orienté caractères, lorsque le récepteur ne peut plus recevoir il émet le caractère XOFF(\$13) et l'émetteur s'arrête. Il aura l'autorisation de reprendre avec le caractère XON (\$11).
- **X-Modem**, protocole orienté blocs, les caractères sont regroupés en blocs. Ce protocole met en œuvre des techniques de détection et reprise sur erreur ;

### ❑ Protocoles Synchrones

Les principaux protocoles synchrones sont :

- **BSC**, Binary Synchronous Communication (IBM) ;
- **SDLC**, Synchronous Data Link Control (IBM) ;
- **HDLC**, High Level Data Link Control (ISO) ;
- **PPP**, Point to Point Protocol (IETF).

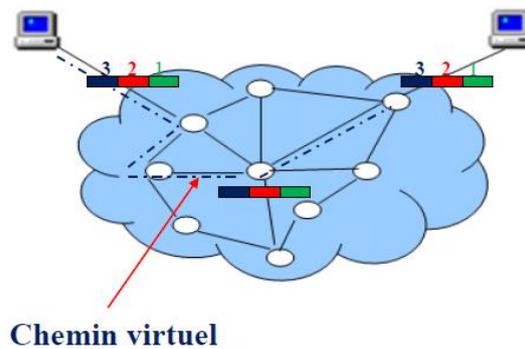
### ❑ Mode connecté et non connecté

Données découpées en paquets (message) + auxquels sont associées un certain nombre d'informations:

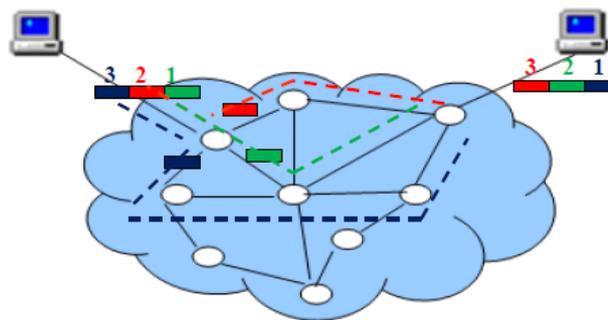
- Identification de la source et du destinataire,
- Numérotation des paquets transmis,
- Contrôle d'erreur
- etc.

Les paquets peuvent être transmis selon deux types de modes de connexion:

- Le **mode connecté**: Création d'un circuit virtuel  
Mode fiable (ACK)



- Le **mode non connecté**: Mode plus rapide mais non fiable.



### 1. Présentation du Protocole HDLC

HDLC est un protocole liaison. Dérivé de SDLC (Synchronous Data Link Control) d'IBM, il a été normalisé par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) en 1976. L'unité de transfert d'HDLC est la trame (Frame), chaque trame est délimitée par un caractère spécifique : le fanion.

HDLC concerne les liaisons semi duplex ou full duplex, point à point ou multipoints.

Il se divise en 3 protocoles suivant le mode de contrôle de la liaison :

1. Mode de réponse normal (NRM : Normal Response Mode), liaison multipoint semi-duplex. Il s'agit d'un mode maître-esclave, les stations secondaires (esclaves) n'émettent que sur invitation de la station primaire (maître).
2. Mode de réponse asynchrone (ARM : Asynchronous Response Mode), liaison multipoint semi-duplex. Ici, la station secondaire peut émettre sans invitation.
3. Mode asynchrone équilibré (ABM : Asynchronous Balanced Mode), liaison point à point full duplex. Chaque extrémité est primaire en émission et secondaire en réception.

HDLC présente de nombreuses variantes :

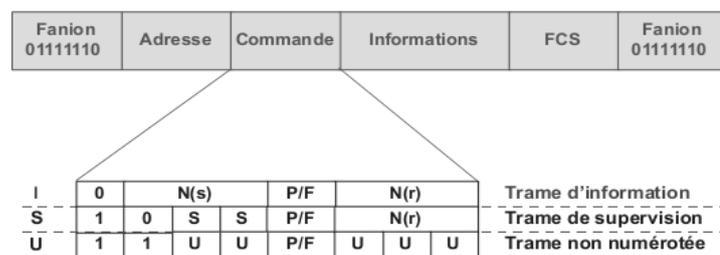
- **LAP** (Link Access Protocol), fonctionnement sur sollicitation du primaire ;
- **LAP-B** (B pour Balanced, mode équilibré), dans ce type de liaison, il n'y a pas de primaire prédéfini, chaque station peut être primaire ;
- **LAP-D** (D pour canal D), ce protocole similaire à LAP-B est utilisé dans les réseaux numériques (RNIS)

– **LAP-X**, mode semi-duplex dérivé de LAP-D, est utilisé dans le télétext.

La procédure HDLC, utilise deux modes de fonctionnement : le fonctionnement normal (numérotation des trames sur 3 bits, modulo 8) et le mode étendu (numérotation des trames sur 7 bits, modulo 128 (champ commande : 8 ou 16 bits selon que les compteurs de trames sont sur 3 ou 7 bits).

HDLC utilise trois types de trames :

- a) Les trames d'information (I) : contiennent un champ de données. Les champs N(s) et N(r) correspondent, pour chaque extrémité de la liaison, à un compteur de trames d'information émises N(s) ou reçues N(r).

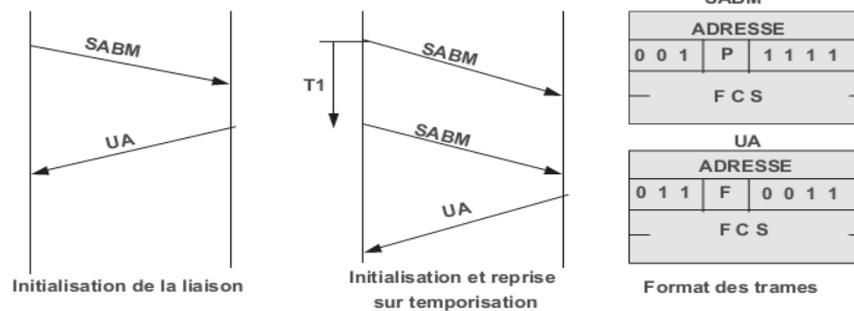


- b) Les trames de supervision (S) : permettent de contrôler l'échange de données. Le champ N(r) identifie la trame acceptée ou refusée (Nr-1), il correspond au N(s) de la prochaine trame attendue.
- c) Les trames non numérotées (U, Un-numbered) : gèrent la liaison (établissement, libération...). Elles ne comportent aucun compteur (non numérotées).

le champ FCS ou Frame Check Sequence, champ de contrôle d'erreur, contient sur deux octets le CRC (Code à Redondance Cyclique), c'est le reste de la division polynomiale du message transmis (Adresse, Commande, Informations) par le polynôme générateur  $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$  (avis V41 de l'UIT-T). Le CRC, calculé à l'émission, est vérifié à la réception.

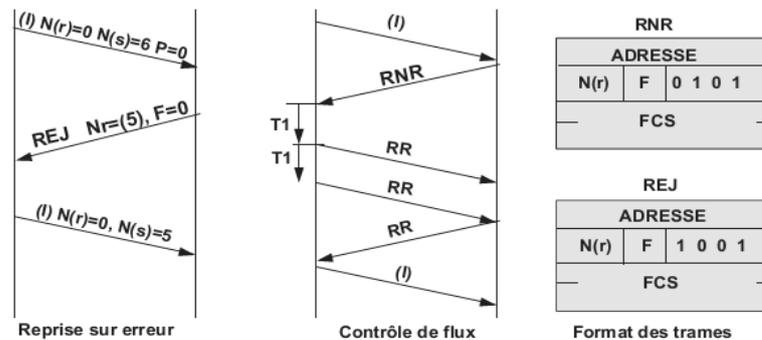
- **Ouverture de connexion :**

Pour ouvrir une connexion, l'ETCD ou ETTD appelant émet une trame non numérotée (trame U) SABM (ouverture en mode normal) ou SABME (ouverture en mode étendu). L'appelé l'acquiesce avec la trame non numérotée UA. Sans réponse de l'appelé, l'appelant à échéance d'un Timer (T1) renouvelle sa demande. Il abandonne la demande d'établissement après N tentatives infructueuses, en principe le compteur est initialisé à N=10, il est décrémenté de 1 à chaque tentative. Lorsque la connexion est acceptée, l'appelant ou/et l'appelé peut (vent) procéder à l'échange d'information (trames I), cet échange est contrôlé par des trames de supervision (trames S).



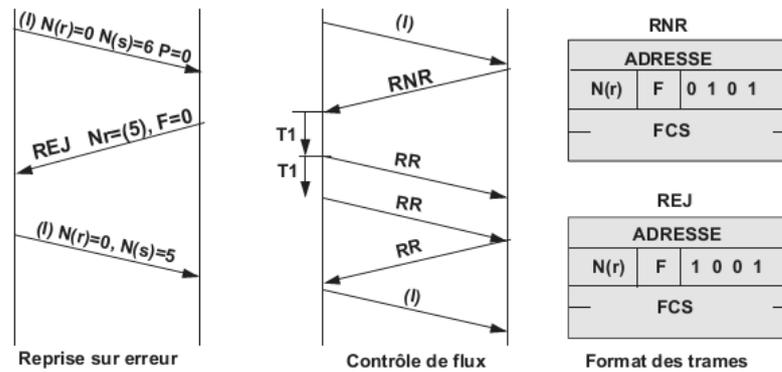
- **Transfert de données :**

Les trames d'information (N(s)) sont numérotées modulo 8 (mode de base) ou modulo 128 (mode étendu). L'accusé de réception peut être explicite par une trame RR. Le récepteur n'a alors pas d'information à transmettre. Le compteur N(r) indique donc le numéro N(s) de la prochaine trame attendue. Dans l'acquiescement implicite ce sont les trames d'information du correspondant distant (échange *full duplex*) qui effectuent l'acquiescement (compteur N(r) des trames I).



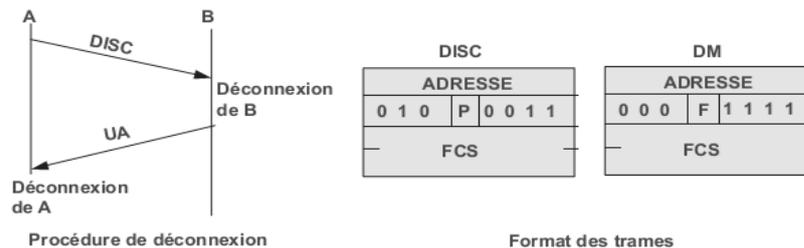
- **Reprise sur erreurs et contrôle de flux :**

Les trames S, RR, REJ et RNR supervisent l'échange. La trame RR sert à l'acquiescement, la trame REJ indique la trame rejetée (trame erronée ou numéro de séquence invalide) et demande de reprendre la transmission depuis la trame erronée (compteur Nr). La trame RNR acquiesce la trame Nr-1 et demande à l'émetteur d'arrêter provisoirement son émission. Le récepteur signale ainsi qu'il n'est pas en état de recevoir d'autres trames, c'est le mécanisme du contrôle de flux (état bloqué ou occupé), les émissions reprendront à réception d'une trame RR ou REJ. La trame SREJ (rejet sélectif) ne demande la retransmission que de la trame rejetée.



La déconnexion est demandé par l'ETTD ou ETCD par la trame DISC ; à la réception d'une demande de déconnexion, le destinataire émet un acquittement de celle-ci (UA) et se déconnecte. L'émetteur de la demande de déconnexion n'exécute la procédure de déconnexion qu'après avoir reçu l'acquiescement de sa demande.

Toutes les trames d'information non acquittées sont ignorées. La procédure de déconnexion est représentée. Le réseau (ETCD) peut signaler un incident de ligne (modem coupé par exemple) par l'émission de trames DM. Après  $N_2$  retransmissions, il passe à l'état déconnecté. Lorsque les erreurs ne peuvent être corrigées par une simple retransmission de la ou des trames litigieuses (nombre de retransmissions supérieur à  $N_2$ ,  $N(r)$  incorrect : valeur supérieure au nombre de trames réelles...), l'ETCD ou ETTD peut effectuer une déconnexion (DISC) ou réinitialiser la liaison (SABM).



## 2. Protocole Frame Relay

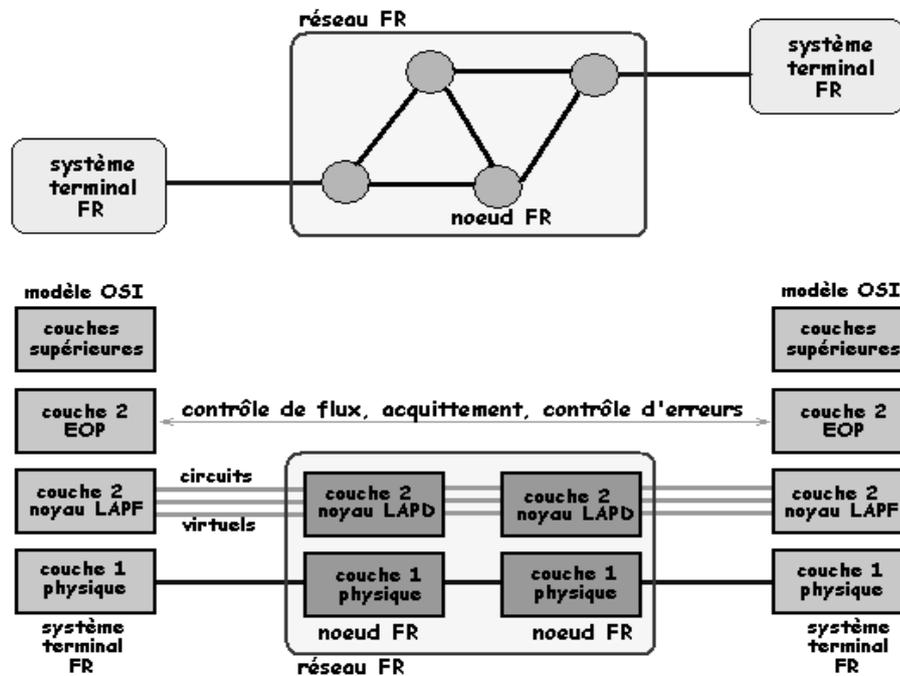
A l'origine conçu pour le RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services, en anglais ISDN), le relais de trame (en anglais Frame Relay) est une amélioration notable de X25, et comme une étape vers l'ATM.

Le relais de trame ne concerne que les couches basses du modèle OSI : couche physique (1) et couche liaison (2). Il est bien adapté aux classes de réseaux fiables (c'est à dire avec un taux d'erreur faible) car des "économies" sont faites sur le contrôle d'erreur. Les débits atteignent 2 Mbits/s et peuvent aller jusqu'à 45 Mbits/s.

Quelques rappels sur X25 : La commutation de paquets X25 est basé sur trois avis : X25 paquet pour la couche réseau, HDLC pour la couche liaison et X21 pour la couche physique. Le multiplexage des paquets est effectué par la couche réseau. Les deux couches, liaison (pour les trames) et réseau (pour les paquets) effectuent un contrôle d'erreur et un contrôle de flux ce qui génère un trafic important.

### Fonctionnement de Frame Relay

La sous-couche inférieure (appelée noyau ou LAMP **Core**) a pour fonctionnalités essentielles la commutation des trames, la détection des erreurs (mais pas leur traitement qui est du ressort de la sous couche adaptation ou des couches supérieures), l'indication de congestion, le multiplexage des trames. Les trames non valides sont simplement éliminées.

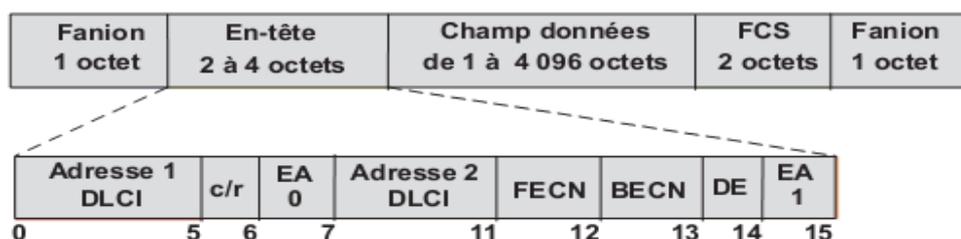


La trame employée est analogue à celle de HDLC avec cependant les différences suivantes :

Il n'y a qu'un seul type de trame, la trame d'information ; il n'y a pas de trames de supervision, ni de trame non numérotées. La connexion et la déconnexion sont effectuées sur un canal spécial (le DLCI 0).

Il n'est pas possible d'effectuer des contrôles de flux, ni des traitements d'erreurs : pas de champs de numéro de séquence.

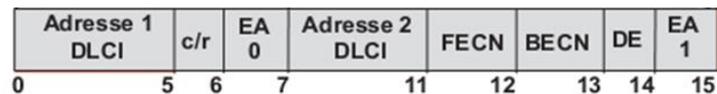
La trame Frame relay est délimitée par deux fanions (0x7E, 01111110), elle comporte un champ adresse de 2 à 4 octets, un champ données et un champ de contrôle d'erreur (FCS). Le champ contrôle (commande) d'HDLC est absent, il est inutile puisqu'il n'existe qu'un seul type de trame





Le champ adresse (DLCI, Data Link Connection Identifier) du relais de trames est subdivisé en plusieurs éléments. Dans la version de base, il est composé d'un premier bloc de 6 bits et d'un second de 4 bits (10 bits au total).

Le champ EA (End Address) indique si le champ adresse a une suite (EA = 0) ou s'il est le dernier (EA = 1). Dans les versions étendues, le champ adresse est incrémenté de 1 octet (7 bits et le bit EA). L'adresse peut donc être exprimée sur 10 bits (version de base), 17 bits (en-tête de 3 octets) ou 24 bits (en-tête de 4 octets).



Le champ C/R (Commande/Response) a la même signification que le bit P/F (Poll/Final) d'HDLC.

Les bits FECN (Forward Explicit Congestion Notification) et BECN (Backward Explicit Congestion Notification) sont utilisés pour signaler aux organes d'extrémité l'état de congestion d'un élément du réseau.

Le bit DE (Discard Eligibility) est positionné par le réseau ou par les organes d'accès (FRAD, Frame Relay Access Device), il indique les trames à éliminer en priorité lors d'une congestion. Le FRAD est l'équipement interface entre le réseau de l'utilisateur et le réseau Frame Relay.

La connexion est établie à travers une liaison virtuelle, comparable à un circuit virtuel X.25, identifiée par un identificateur de lien virtuel (**DLCI**, Data Link Connection Identifier) similaire au NVL d'X.25. Les DLCI 0 et 1023 sont réservés, le premier est réservé au protocole de signalisation, le second pour la signalisation de la congestion.

Le tableau suivant décrit l'utilisation des diverses plages d'adressage pour l'adressage normal (10 bits).

DLCI	Utilisation
0	Établissement de circuits (Q.931)
1-15	Réservés
16-1007	DLCI utilisateurs (PVC, SVC)
1008-1018	Réservés
1019-1022	Multicast
1023	Signalisation de la congestion (CLLM ou LMI) et état des liens

Une capacité d'adressage sur 10 bits ne permet d'identifier que 1 024 ( $2^{10}$ ) voies logiques, ce qui est suffisant pour la plupart des utilisateurs mais peut s'avérer faible pour l'identification des voies en interne dans le réseau. Aussi, un adressage étendu sur 17 et 24 bits est prévu.

L'adressage des terminaux n'est pas fixé par la norme, le réseau peut spécifier des adresses de type E.164 (RNIS), X.121 (X.25) ou encore IP (TCP/IP).

Le traitement des erreurs n'est pas réalisé dans le réseau, chaque commutateur n'assure qu'une vérification d'intégrité de la trame :

- délimitation de la trame (fanions);
- validation du DLCI ;
- contrôle d'erreur (FCS).

Toutes les trames non valides sont purement et simplement éliminées. Le traitement des erreurs est reporté sur les organes d'extrémité, il est confié aux protocoles de niveau supérieur, qui devront éventuellement mettre en œuvre des mécanismes de :

- numérotation des blocs de données pour la détection de perte ;
- reprise sur temporisation ;
- reprise sur erreur.

## C. *Architecture Réseau - Modèles OSI*

Une architecture réseau comprend un ensemble de matériel + logiciel.

Les fonctions à implémenter dans cette architecture sont nombreuses et complexes :

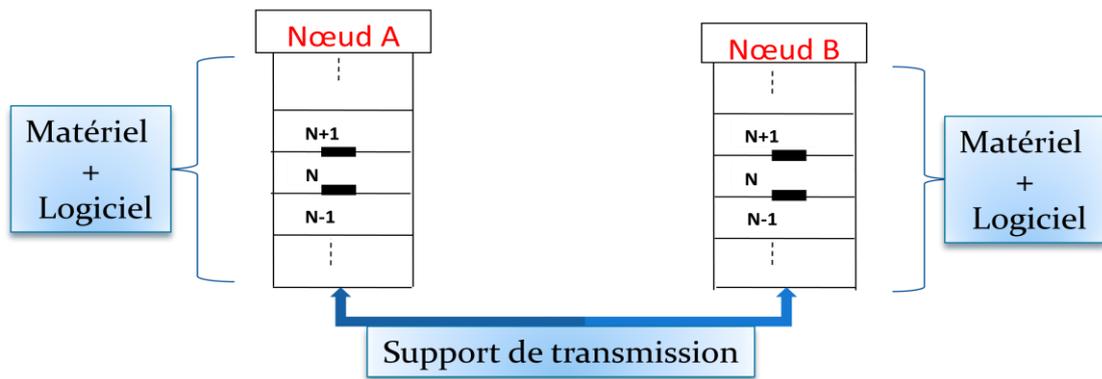
A savoir

- Identification des processus communicants
- Ouverture/fermeture de sessions
- Synchronisation des échanges
- Codage de l'information
- Contrôle de flux
- Acquittement
- Ordonnancement des paquets
- Adressage-Routage
- Contrôle d'erreurs-Synchronisation d'horloges
- Codage de ligne-Modulation,.....etc.

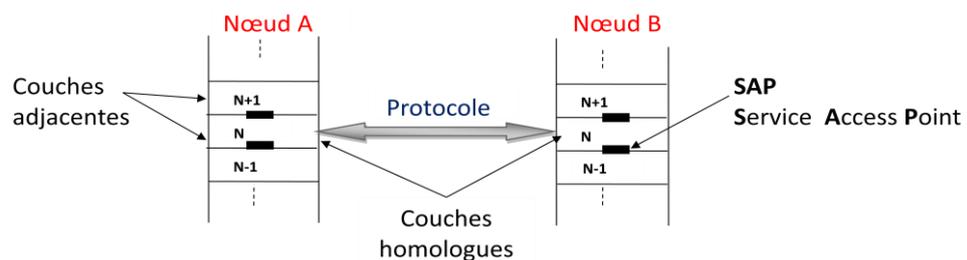
En conséquence, on a été amené à regrouper ces fonctions en différents modules (architecture modulaire).

Le résultat est un découpage en plusieurs couches. Chaque couche représente un niveau.

Le nombre de couches, leur nom et leur fonction varie selon les architectures réseaux (TCP/IP, SNA, DSA, DEC net, ...)



- Deux couches de même niveau sont appelées couches homologues
- La couche N d'une machine gère la conversation avec la couche N d'une autre machine. Les règles et conventions utilisées pour ce dialogue sont connues sous le nom de protocole de la couche N.
- Au sein d'un même nœud, l'objet de chaque couche est d'offrir certains services à la couche immédiatement supérieure (couches adjacentes).
- L'interaction entre couches adjacentes se fait via le SAP (Service Access Point).
- Un SAP est en fait une adresse de point d'entrée directe, par laquelle la couche supérieure peut accéder par programme à une fonction particulière (service) implémentée par la couche en dessous.

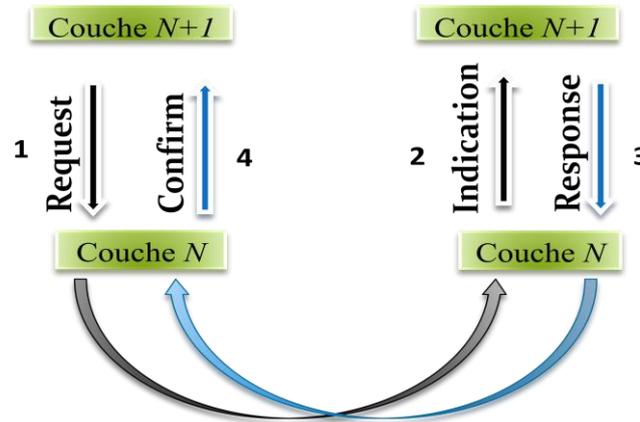


Un service est formellement décrit par un ensemble de primitives.

Une primitive est en fait une commande échangée entre deux couches adjacentes.

Il existe quatre types de primitives de services :

- Demande de service ( **Service.Request** )
- Réponse à une demande de service ( **Service.Confirm** )
- Notification d'un évènement ( **Event.Indication** )
- Réponse à un évènement ( **Event.Response** )



Au début des années 70, les constructeurs informatiques avaient développé leurs propres architectures réseau :

- Architecture réseau en 7 couches **SNA** (Systems Network Architecture) définie en 1974 par IBM (International Business Machines Corporation)
- Architecture réseau en 3 couches **DECnet** définie en 1975 par DEC (Digital Equipment Corporation)
- Architecture réseau TCP/IP en 5 couches définie en 1975 par DoD (Department of Defense Américain)
- Architecture réseau en 7 couches **DSA** (Distributed System Architecture ) définie en 1976 par Bull

Il s'est vite avéré qu'il serait impossible d'interconnecter ces différents réseaux propriétaires et incompatibles. De ce fait, L'organisation internationale de normalisation ISO (International Organization for Standardization) a examiné à partir de 1977 les nombreuses architectures de réseau existantes.

Elle a reconnu l'opportunité de créer un modèle réseau (une norme internationale) qui aiderait les concepteurs à mettre en œuvre des réseaux capables de communiquer entre eux (interopérabilité).

Elle a donc publié en 1984 le modèle de référence OSI (Open Systems Interconnection).

Le modèle OSI est une norme pour l'interconnexion de systèmes ouverts. Un système ouvert est un ordinateur, un terminal, un réseau, n'importe quel équipement respectant cette norme et donc apte à échanger des informations avec d'autres équipements hétérogènes et issus de constructeurs différents.

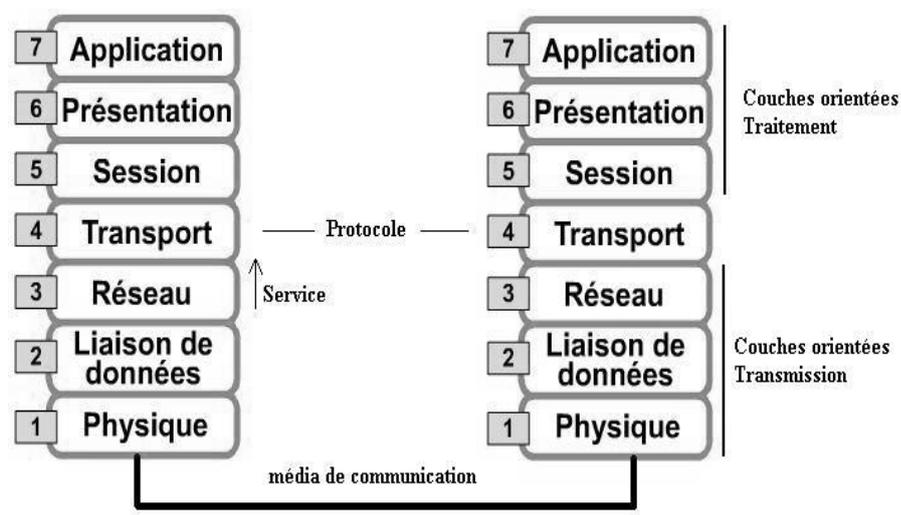
Chacune de ces couches correspondant à une fonctionnalité particulière du réseau. Nous avons la couche physique, liaison de données, réseau, transport, session, présentation et application.

Les couches 1, 2, 3 et 4 sont dites basses et sont orientées transmission

les couches 5, 6 et 7 sont dites hautes et sont orientées traitement

Chaque couche est constituée d'éléments matériels et logiciels et offre un service à la couche située immédiatement au-dessus d'elle en lui évitant les détails d'implémentation nécessaires.

Chaque couche de niveau N d'une machine gère la communication avec la couche de niveau N d'une autre machine en suivant un protocole de niveau N

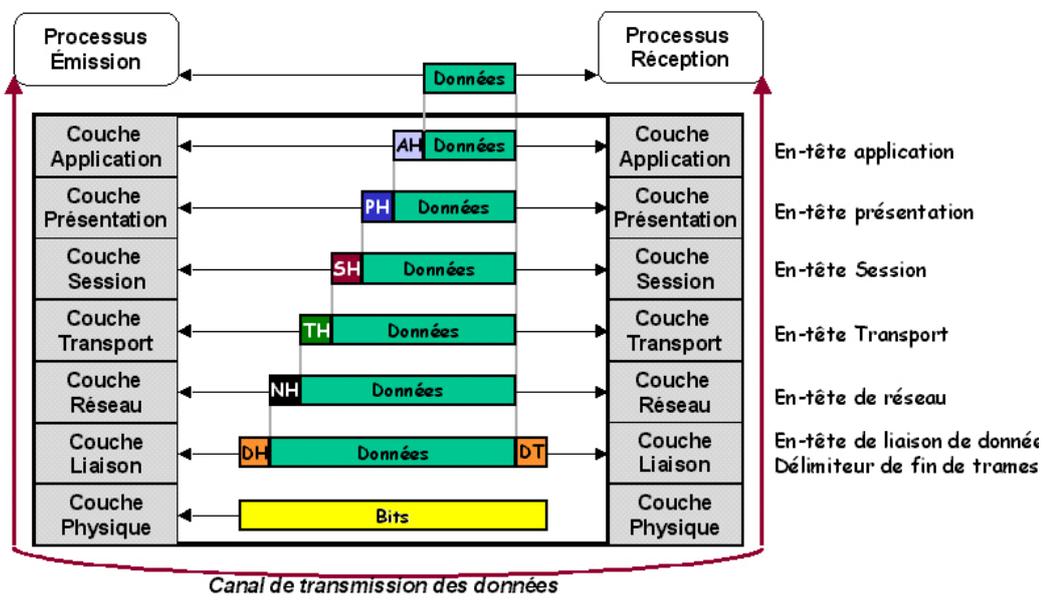


Transfert de données - Principe d'encapsulation

Lors de l'envoi de données par un processus émetteur, il les remet à la couche application qui lui applique un "En-tête d'application" (AH) puis transmet l'objet ainsi obtenu à la couche présentation et ainsi de suite jusqu'à ce que les données soient réceptionnées par la couche physique.

Les couches inférieures n'ont pas à connaître l'existence de ces en-têtes, elles les prennent pour des données utilisateurs

Lors de la réception d'un processus par un hôte B, les données remontent le modèle couche par couche pour y être épurés des en-têtes jusqu'à ne donner que les bits émis au départ du processus.



**D. Topologies Réseau – Techniques d'accès**

On distingue 4 types de réseaux en fonction de la couverture géographique:

- Réseaux personnels : PAN (Personal Area Network)



- Interconnexion d'équipements personnels (Smartphone, Lap top, Camera, Téléviseur,.....)
  - Couverture de quelque mètres (~10m)
  - Technologies : Bluetooth, UWB, Infrarouge,.....
  - Débit : qqs Kbits /s à qqs centaines de Mbit/s
- Réseaux locaux : LAN (Local Area Network)
    - Ce sont des réseaux privés d'entreprise (Réseaux locaux)
    - Ils sont administrés par l'entreprise
    - La couverture va de 10m jusqu'à 1 Km
    - Technologies : Ethernet, TokenRig , TokenBus
    - Débit : 10 Mbit/s à 10 Gbit/s
- Réseaux métropolitains : MAN (Metropolitan Area Network)
    - Un réseau MAN interconnecte plusieurs LAN situés dans une zone métropolitaine (c'est-à-dire une ville).
    - L'interconnexion est assurée par des routeurs reliés par la fibre optique.
    - Technologies : FDDI, DQDB , IEEE 802.16 (Wimax) en sans fil
    - Debit: 100 Mbit/s à 100 Gbit/s
- Réseaux étendus : WAN (Wide Area Network)
    - Les réseaux WAN sont des réseaux étendus qui interconnectent des LAN et des MAN
    - Ils couvrent un pays ou un groupe de pays (des centaines de Km)
    - Débit : > une dizaine de Kbits/s à 40 Gbits /s
    - Technologie : Frame Relay, ATM, IP MPLS, SDH, OTN

### Topologies

On définit 4 topologies : la topologie maillée, la topologie en étoile, la topologie en bus et la topologie en anneau

La topologie décrit la manière dont les équipements réseau sont reliés entre eux.

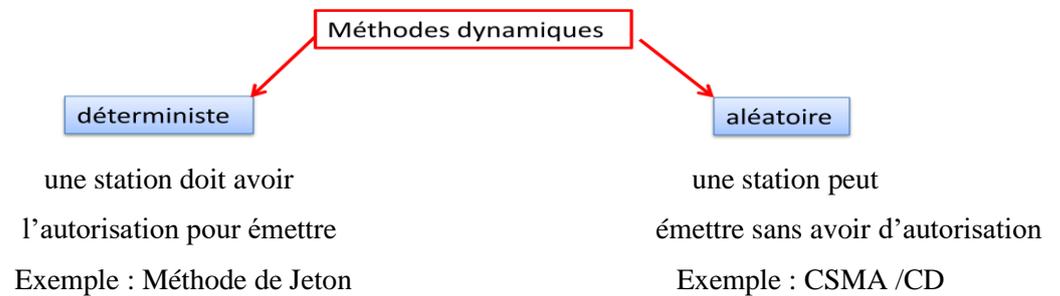
Nous distinguons :

- les topologies physiques décrivant la manière dont les équipements sont reliés par des médias.
- les topologies logiques décrivant la manière dont les équipements communiquent entre eux.

### Techniques d'accès au support

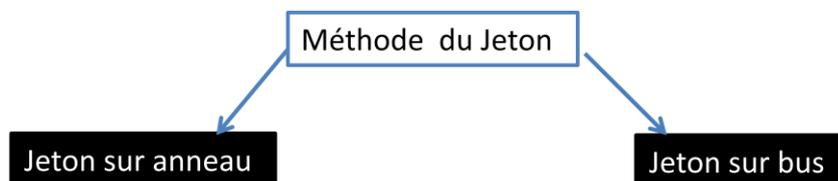
- Dans la majorité des réseaux informatiques, le support utilisé est partagé. De ce fait, une méthode d'accès au support est nécessaire.

- Contrairement aux méthodes statiques (TDMA, FDMA) non optimales, les réseaux informatiques font appel aux méthodes dynamiques, qui permettent une optimisation de l'utilisation de la bande passante (support)
- On distingue deux méthodes dynamiques:



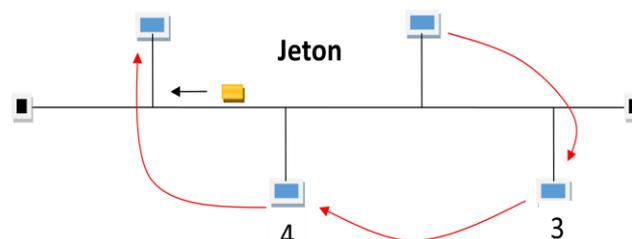
### Méthode du Jeton

- Le contrôle d'accès au support se fait dans ce cas par le passage d'une trame particulière (8bits) appelée Jeton.
- Le jeton circule sur le support en passant d'une station à une autre dans un ordre prédéfini. La station en possession du jeton est autorisée à émettre.
- La méthode du Jeton peut être réalisée sur anneau ou sur bus :



### Jeton sur bus (Token Bus IEEE 802.4)

Dans la topologie physique en bus, le jeton est adressé aux stations suivant leurs adresses de la plus grande à la plus petite. Lorsque la station de la plus petite adresse reçoit le jeton, elle le passe à la station de la plus grande adresse, et ainsi de suite.



**Topologie physique en bus et logique en anneau**

## CSMA/CD (IEEE 802.3 , Ethernet) : Carrier Sense Multi-Access with Collision Detection

- Dans CSMA/CD, une station qui désire émettre doit tout d'abord écouter le support, c'est à dire voir s'il y a du trafic sur le support. Si elle ne détecte rien, le support est supposé libre.
- Quand le support est occupé, la station diffère ses émissions, quand il est libre, elle émet.
- Il se peut que 2 stations écoutent le support en même temps et elles le trouvent libre. En conséquence, elles émettent simultanément, et une collision se produit.
- Résolution du problème de collision par l'algorithme de backoff :
  1. Détection des collisions par surtension
  2. Envoi d'une trame de bourrage (JAM 32 bits) indiquant à toutes les stations une collision
  3. Arrêt des émissions par les stations émettrices
  4. Reprise des émissions après des temps aléatoires différents pour chaque station

## **F. Modèle TCP/IP**

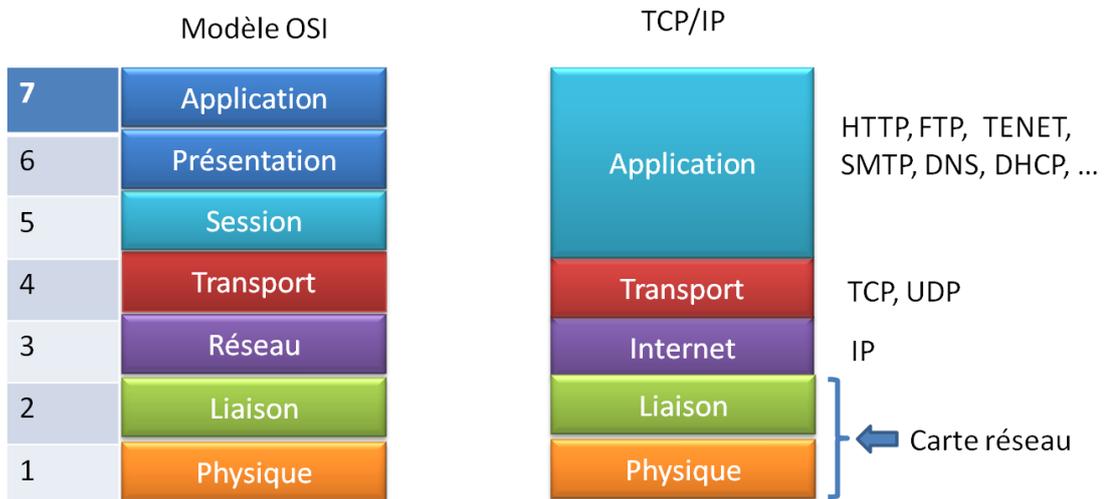
### **1. Historique**

- 1969: création du réseau ARPANET par l'ARPA (Advanced Research Projects Agency dépendant du DOD, Department of Defense Américain)
- ARPANET est un réseau à commutation de paquets utilisant le protocole NCP (Network Control Protocol)
- But d'ARPANET:
  - Construire un réseau résistant à d'éventuelles attaques militaires ou à des catastrophes naturelles
  - Interconnexion de réseaux hétérogènes
- Milieu des années 70: création de l'architecture TCP/IP
- Janvier 1983: tous les réseaux raccordés à ARPANET sont convertis à TCP/IP
- ARPANET est devenu ensuite Internet

### **2. Architecture**

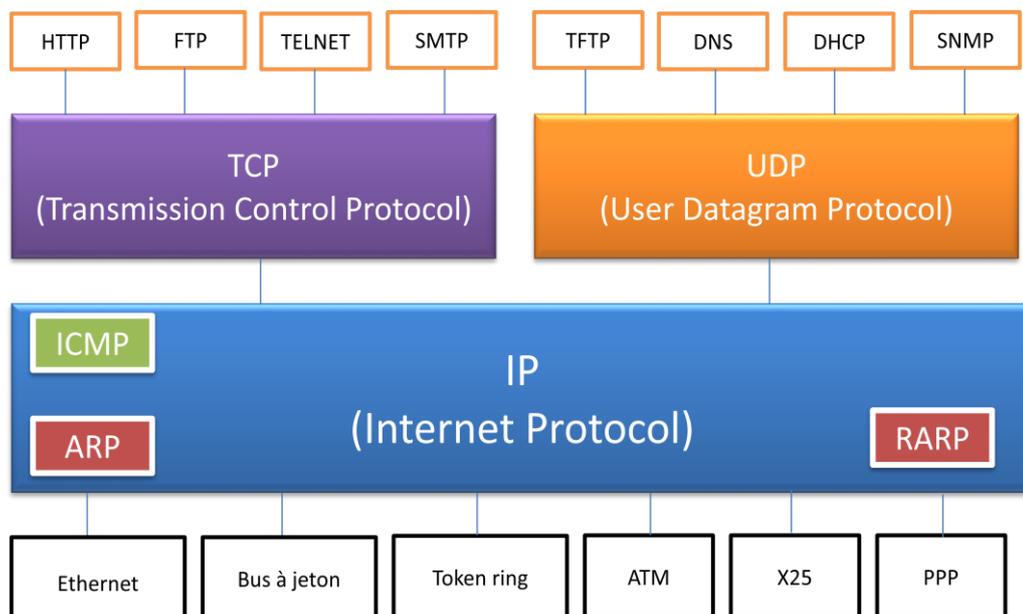
Le modèle TCP/IP comporte les cinq couches suivantes:

- La couche application: fournit un moyen d'accès au réseau (plusieurs services HTTP, FTP, TELNET...)
- La couche transport : comporte deux services à savoir : Protocoles TCP et UDP
- La couche Internet : c'est la couche réseau du modèle OSI (Protocole IP)
- La couche Liaison
- La couche Physique



### 3. Description générale de la pile protocolaire TCP/IP

- L'architecture TCP/IP comprend de nombreux protocoles applicatifs qui sont encapsulés soit dans TCP, soit dans UDP
- Elle s'appuie sur les réseaux existants tels que (Ethernet, TokenRing, ...)



- HTTP, HyperText Transport Protocol: assure le transfert de fichiers html entre un serveur Web et un client Web
- FTP, File Transfert Protocol: permet le transfert de fichier à distance (téléchargement, uploading)
- TELNET, TELetypewriter NETwork Protocol: système de terminal virtuel permet l'ouverture de sessions avec des applications distantes (accès à distance)
- SMTP, Simple Mail Transfert Protocol: offre un service de courrier électronique

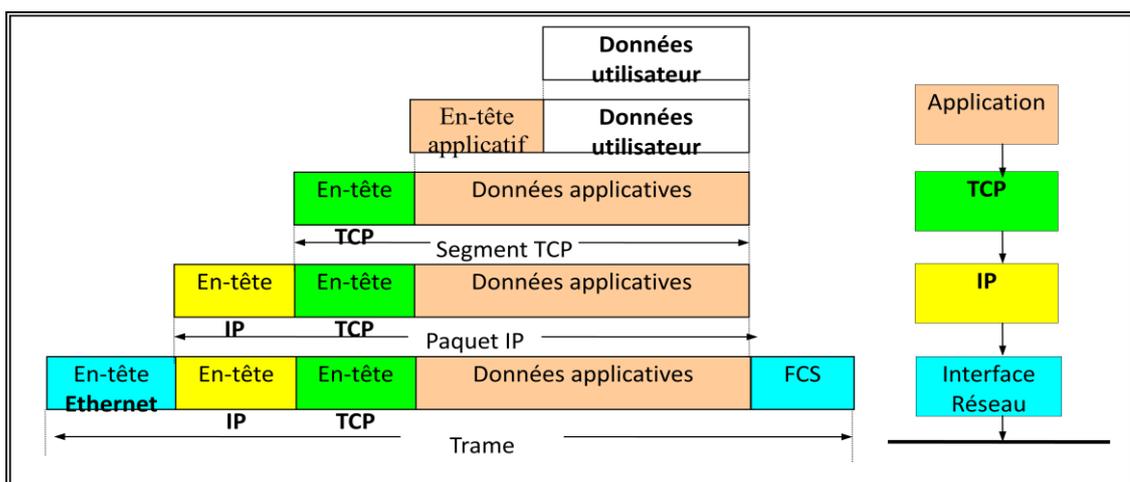
- TFTP, Trivial FTP: est une version allégée du protocole FTP
- DNS, Domain Name System: est un système de bases de données réparties assurant la correspondance d'un nom de domaine et d'une adresse IP
- DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol: est un protocole fournissant une configuration dynamique d'adresses IP au démarrage des stations.
- SNMP, Simple Network Management Protocol: protocole d'administration des réseaux
- ICMP, Internet Control and Error Message Protocol: assure un dialogue IP/IP et permet notamment la signalisation de la congestion (par les routeurs), l'estimation des temps de transit, indication d'une erreur suite à la destruction d'un paquet IP...

Il est utilisé par l'utilitaire PING qui permet de tester la présence d'une station sur le réseau

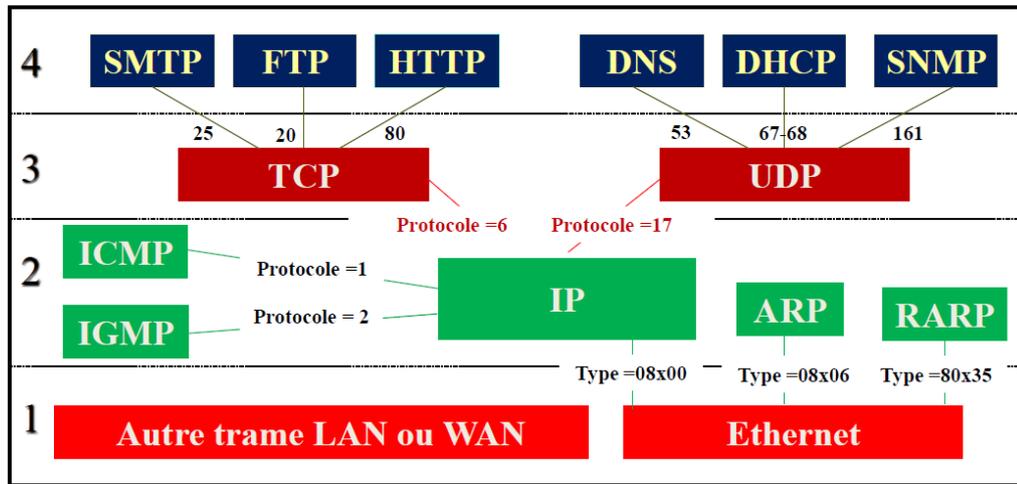
- ARP, Address Resolution Protocol: est utilisé pour déterminer l'adresse physique MAC (Medium Access Control, adresse de l'interface réseau) associée à une l'adresse logique IP donnée
- RARP, Reverse Address Resolution Protocol: fait l'inverse de ARP
- PPP, Point to Point Protocol: protocole de la couche liaison permettant l'encapsulation des paquets IP sur une liaison point à point (exemple liaison série de type WAN entre deux routeurs distant)

#### 4. Encapsulation

- ❑ Les données utilisateurs sont d'abord encapsulées dans un message au niveau de la couche Application
- ❑ Ce message passe ensuite à la couche TCP qui rajoute son entête. L'ensemble est appelé segment TCP.
- ❑ Ce segment passe ensuite à la couche IP qui rajoute son entête. L'ensemble devient un datagramme IP ou un Paquet IP
- ❑ Enfin le paquet IP est encapsulé dans une trame Ethernet.

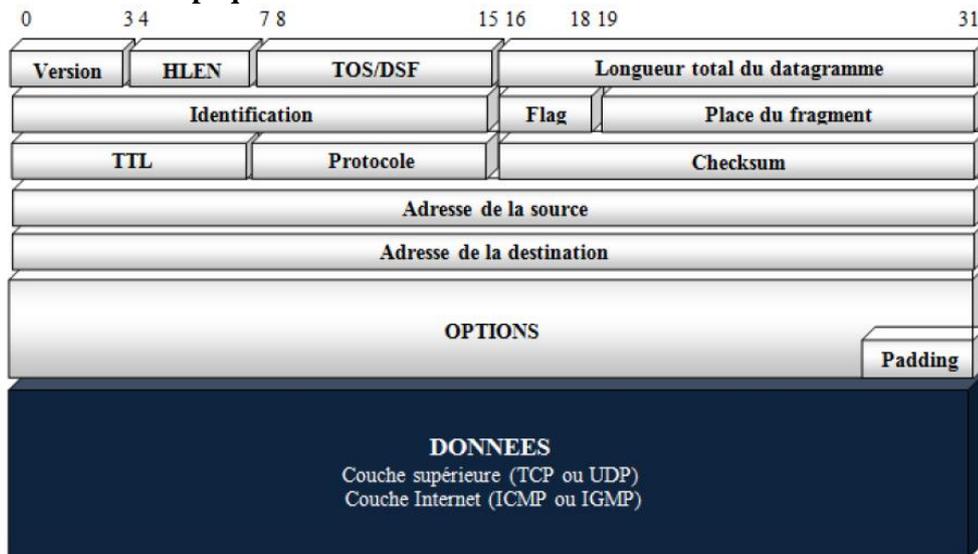


### 5. Suite de protocole TCP/IP



### 6. Protocole IP

#### Format du paquet IP



#### Type Of Service



Valeurs par défaut (normal) = 0

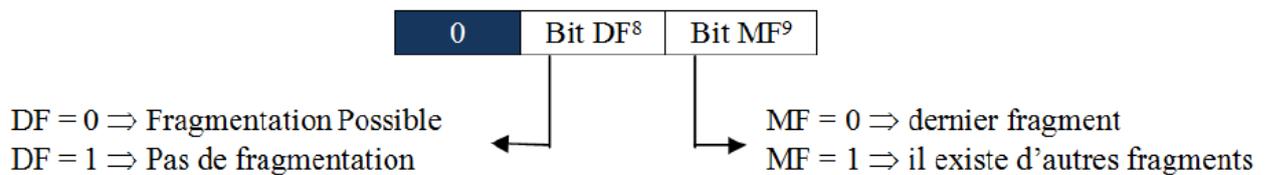
- Délai	+ Débit	+ Fiabilité	- Coût	Action	Exemples
0	0	0	0	Valeurs par défaut	
0	0	0	1	Le routeur doit essayer de diriger les datagrammes IP vers les liaisons les moins coûteuses	News (NNTP)
0	0	1	0	Le routeur doit essayer de diriger les datagrammes IP vers les liaisons les plus fiables.	Administration de réseau (SNMP)
0	1	0	0	Le routeur doit augmenter le débit de transmission, (transfert de fichiers de grande taille).	Transferts de données (FTP)
1	0	0	0	Permet au routeur de minimiser le délai de transmission	Terminal distant (Telnet)
1	1	1	1	Le routeur favorise la sécurité.	

**Bits de priorités :**

Indiquent au routeur la manière de traiter le paquet sur la base d'une priorité

**Flag :**

- Identifie le datagramme pour sécuriser le réassemblage des fragments.
- Si un datagramme doit être fragmenté alors tous les fragments doivent avoir le même numéro de fragment.
- Le drapeau est mis à zéro par défaut.

**Identification :**

- Permet d'identifier les fragments qui proviennent du même datagramme
- Sont caractérisés par le même numéro d'identification.
- Protocole IPv4 : Maximum 65536 datagrammes.

**Place du fragment (Fragment offset) :**

- Donne la position du premier octet dans le datagramme fragmenté.
- Si un des fragments est perdu, le datagramme ne pouvant plus être reconstitué, il est alors détruit.

**7. Adressage IP**

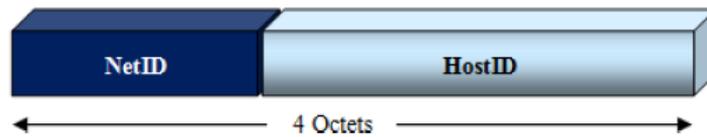
IPv4 → @ codées sur 32 bits (4 octets)

- Syntaxe → 4 nombres décimaux séparés par un point.

Le protocole IP doit:

- Assurer le routage dans le réseau logique IP
- Identifier le réseau logique IP concerné (Net\_ID)
- Identifier la machine cible (Host\_ID)

L'adressage logique IP ne comporte que ces 2 informations (NetID et HostID)



- Types d'adresses: 2
  - Adresses publiques → routables
  - Adresses privées → non routable

### Classes d'adresses

Il existe 5 classes d'adresses IP: classe A, classe B, classe C, classe D et classe E

#### ➤ Adresses réseau: A, B et C

Classe	A	B	C
Longueur NetID	1 Octet	2 Octets	3 Octets
Préfixe	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>110</b>
Nombre d'adresses réseaux disponibles	$2^7 = 128$	$2^{14} = 16\ 384$	$2^{21} = 2\ 097\ 152$
Plage d'adresses	0.0.0.0 127.255.255.255	128.0.0.0 191.255.255.255	192.0.0.0 223.255.255.255
Longueur HostID	3 Octets	2 Octets	1 Octets
Nombre d'adresses hôtes disponibles	$2^{24} = 16\ 777\ 216$	$2^{16} = 65\ 536$	$2^8 = 256$

#### ➤ Adresses multicast: D et E

Classe	D	E
Préfixe (4 bits)	<b>1110</b>	<b>1111</b>
Nombre de bits utilisés par les adresses	28	28
Plage d'adresses	224.0.0.0 239.255.255.255	240.0.0.0 254.255.255.255

#### ➤ Adresses Privées: Adresses non routables

Classe	A	B	C
Adresses Privées (non routables)	De 10.0.0.0 à 10.255.255.255	De 172.16.0.0 à 172.31.255.255	De 192.168.0.0 à 192.168.255.255
Nombre de réseaux disponibles	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>256</b>

#### ➤ Adresses spéciales

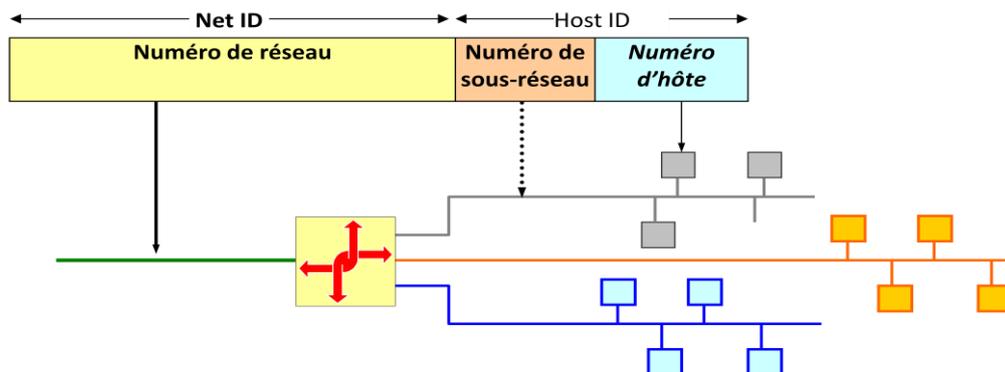
Adresse IP	Observation
0.0.0.0/8	Non utilisée comme adresse de destination, permet d'indiquer que l'on peut utiliser n'importe quelle interface.
127.0.0.0/8	Adresse de la boucle locale réservée pour les tests (valeur par défaut : 127.0.0.1)
255.255.255.255	Adresse non routables, Diffusion vers toutes les machines du réseau

## 8. Sous réseaux

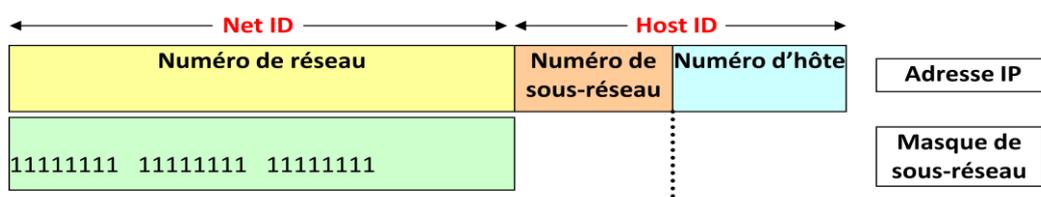
Un réseau peut être divisé en sous-réseaux afin de pouvoir :

- ✓ Eviter le gaspillage des adresses nœuds d'un réseau
- ✓ Utiliser des supports physiques différents.
- ✓ Réduire le trafic sur le réseau.
- ✓ Isoler une partie du réseau en cas de défaillance d'un composant du réseau.
- ✓ Augmenter la sécurité.
- ✓ Chaque sous-réseau est relié à un autre par un routeur

L'adressage de sous-réseaux se fait avec des bits réservés à l'adressage des nœuds



Pour indiquer le nombre de bits pris sur la partie HostID comme numéro de sous-réseau, on va utiliser un masque de sous-réseaux. Ce masque indique par des **bits à 1** le nombre de bits de l'adresse IP qui correspondent à l'adresse réseau et à l'adresse sous-réseaux. Les **bits à 0** du masque indiquent les bits de l'adresse IP qui correspondent à l'HostID.



- Exemple:

@IP = 195.123.125.124

Masque = 255.255.255.240

@sous-réseau = ? 195.123.125.112

@machine = ? 12

Adresse IP décimale	195	123	125	124
Adresse IP binaire	1 1 0 0 0 0 1 1	0 1 1 1 1 0 1 1	0 1 1 1 1 1 0 1	0 1 1 1 1 1 0 0
<b>ET logique</b>				
Masque en binaire	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 0 0 0 0
Masque en décimal	255	255	255	240
Adresse <b>réseau</b>	195	123	125	112
				Adresse <b>sous-réseau</b>
				Adresse <b>nœud</b>
				12

### Notation CIDR: Classless InterDomain Routing

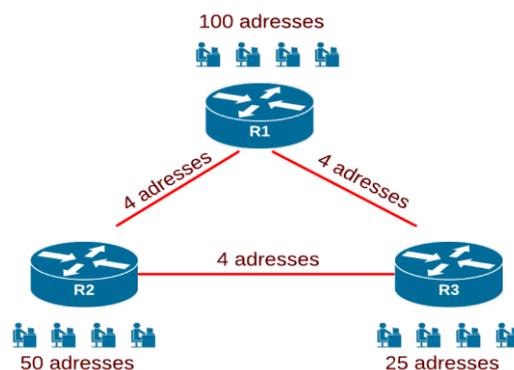
Au lieu de représenter le masque d'une adresse en notation décimale pointée, le CIDR propose de noter une adresse suivi de "/" nombre de bits à 1 (appelé préfixe), le nombre de bits à zéro qui restent représente la taille du bloc. Soit, par exemple : 255.255.255.192 => 26 bits à 1 => /26

- Il est utile de connaître les masques par défaut :
  - ✓ 255.0.0.0 : /8
  - ✓ 255.255.0.0 : /16
  - ✓ 255.255.255.0 : /24
- Le masque donne aussi le nombre de bits à zéro (32 - le masque). Par exemple, un /20 fournit un bloc de  $2^{12}$  adresses = 2048. Par exemple, un /24 fournit un bloc de  $2^8$  adresses = 256. Par exemple, un /30 fournit un bloc de  $2^2$  adresses = 4.

### Masques à longueurs variables

On se donne un bloc d'adresses IP 195.167.46.0/24. on cherche à installer 3 réseaux locaux :

- ✓ LAN de R1 100 PCs,
- ✓ LAN de R2 50 PCs,
- ✓ LAN de R3 25 PCs.



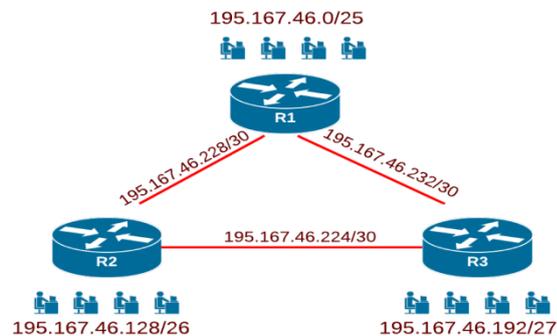
On a donc un bloc de 256 adresses (/24). On propose ici de le découper de la manière suivante :

Un bloc /25 de 128 adresses pour le LAN de R1

Un bloc /26 de 64 adresses pour le LAN de R2

Un bloc de /27 de 32 adresses pour le LAN de R3

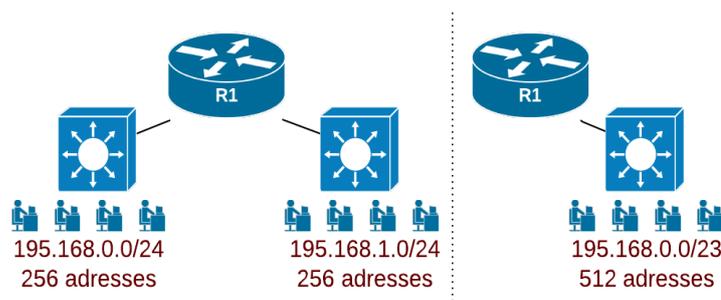
Dans le reste, on prendra 3 blocs /30 de 4 adresses pour adresser les connexions point à point



Attribution	Contrainte	Réseau	Plage adressable	Diffusion
LAN R1	100 adresses	195.167.46.0/25	195.167.46.1/25 à 195.167.46.126/25	195.167.46.127/25
LAN R2	50 adresses	195.167.46.128/26	195.167.46.129/26 à 195.167.46.190/26	195.167.46.191/26
LAN R3	25 adresses	195.167.46.192/27	195.167.46.193/27 à 195.167.46.222/27	195.167.46.223/27
R2-R3	4 adresses	195.167.46.224/30	195.167.46.225/30 à 195.167.46.226/30	195.167.46.227/30
R1-R2	4 adresses	195.167.46.228/30	195.167.46.229/30 à 195.167.46.230/30	195.167.46.231/30
R1-R3	4 adresses	195.167.46.232/30	195.167.46.233/30 à 195.167.46.234/30	195.167.46.235/30

### Super-réseaux

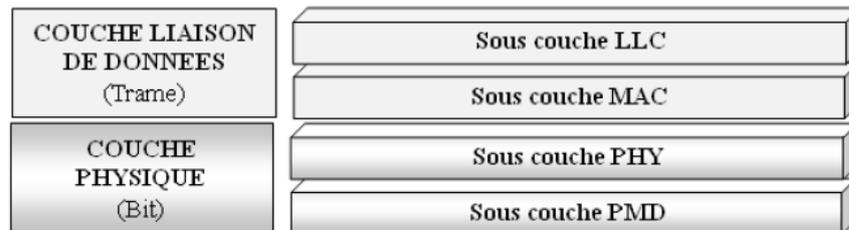
Consiste à regrouper des blocs contigus pour créer un seul bloc plus large. Par exemple, pour adresser un réseau de 500 machines on peut prendre deux /24, soit 2 X 256. Le masque devient /23. En effet, /23 nous offre 9 bits à 0, soit  $2^9 = 512$  adresses.



## G. Réseaux Locaux

### Architecture IEEE

- Modèle en couche (Les 2 couches les plus basses du modèle OSI)
- Principe d'encapsulation



**Sous couche PMD (Physical Media Dependant) :** spécifie

- Le type de support de transmission + connecteur associé.
- La technique de raccordement dépend de la topologie (Actif ou Passif).

**Sous couche PHY (PHYSical):** réalise le traitement du signal électronique → Principales fonctions:

- Conversion des données binaires //série (série-//);
- Implémentation des techniques de transmission
- Extraction de l'horloge → synchronisation au niveau du récepteur

**Sous couche MAC (Media Access Control) :** Gestion l'adresse physique.

- Formatage des trames (longueur dépend du protocole).
- Transmission de trames en séquences.
- Gestion des erreurs de transmission.

#### Type d'adresses

- @ courtes sur **2 octets**
- @ longues sur **6 octets**
- 

**Ethernet:** seules les adresses longues (6 octets) sont utilisées.

- Identification du constructeur: 3 octets
- Numéro de série: 3 octets

1	2	3	4	5	6
Identifiant constructeur			Numéro de série		

#### Exemples:

- Intel: 00-A0-D1-xx-xx-xx

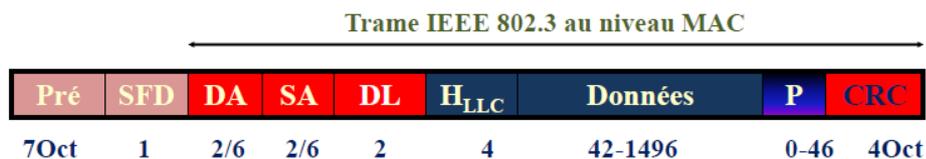
- Cisco: 00-00-0C-xx-xx-xx
- Realtek: 70-54-D2-xx-xx-xx
- IBM: 08-00-54-xx-xx-xx

### Sous couche LLC (LLC: Logical Link Control , Norme IEEE 802.2) :

- Gérer le transfert des données.
  - Aiguillage des données vers les protocoles de niveaux supérieurs.
- **LLC1** (mode NC sans ACK): permet la détection d'erreur (données acquittées par le niveau supérieur).
  - **LLC2** (mode connecté): le contrôle d'erreurs et de flux est effectué + possibilité de reprise sur erreur.
  - **LLC3** (mode NC avec ACK): service introduit pour le besoin de réseaux industriels.

### Format de trame IEEE 802.3

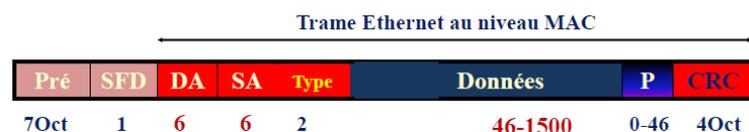
est constituée de 9 champs: **Code Manchester**



- **Préambule**: 7 octets AA (Hexa)
- **SFD** (Start Frame Delimiter): 1 Octet AB
- **DA** (Destination Address) et **SA** (Source Address) → @MAC (physique)
- **DL** (Data Length) : longueur des données de la couche supérieure [46Oct-1500 oct]

### Format de trame Ethernet

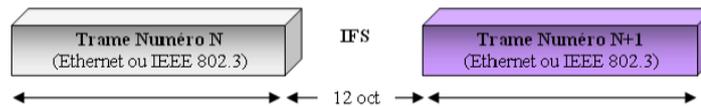
- Trame Ethernet identique à la trame IEEE 802.3.
- Longueur de la trame MAC: entre 64 et 1518 octets



- **Code**: Manchester
- **Longueur des adresses**: 6 Octets
- Champ **DL** remplacé par le champ **Type**

## Norme Ethernet (IEEE 802.3)

- **Débit: 10 Mbit/s**
- **Intervalle inter frame (IFS): 12 Octets** → Durée de **9,6 ms**



- **Durée minimum** de la trame Ethernet (10 Mbit/s) au niveau MAC  
**T<sub>min</sub> = 51,2 ms** → Transmission de **64 Octets**  
*(Limitation du temps aller-retour que met l'information pour atteindre la station la plus éloignée*  
**→ Diminution de la probabilité de collision).**
- **Longueur maximum de données** (couche sup): **1500 Octets**  
**→ T<sub>max</sub> = 1,2 ms**

## Principaux normes Ethernet

DÉBIT	NORME	SUPPORT	CONNECTEUR	TOPOLOGIE	DISTANCE
10 Mbit/s	10Base	Câble coaxial	BNC	Etoile	185 m / 500 m
		Câble xTP (Cat 5)	RJ 45		100 m
		Fibre multimode (G651)	SC ou ST		3 km
		Fibre monomode (G652)			25 km
100 Mbit/s	100Base	Câble xTP (Cat 5)	RJ 45	100 m	
		Fibre multimode (G651)	SC ou ST	2 km	
		Fibre monomode (G652)		20 km	
1 Gbit/s	1000Base	Câble xTP (min Cat 5 <sub>E</sub> )	RJ 45	100 m	
		Fibre multimode (G651)	SC ou ST	500 m	
		Fibre monomode (G652)		3 km	

Norme	Designation	Support	Débit
IEEE 802.3u	Fast-Ethernet	Câble xTP/ Fibre optique	100 (Mbit/s)
IEEE 802.3z	Gigabit-Ethernet	Câble xTP	1 (Gbit/s)
IEEE 802.3ab		Fibre Optique	
IEEE802.3an	10Gigabit-Ethernet	Câble xTP	10 (Gbit/s)
IEEE802.3ae		Fibre Optique	

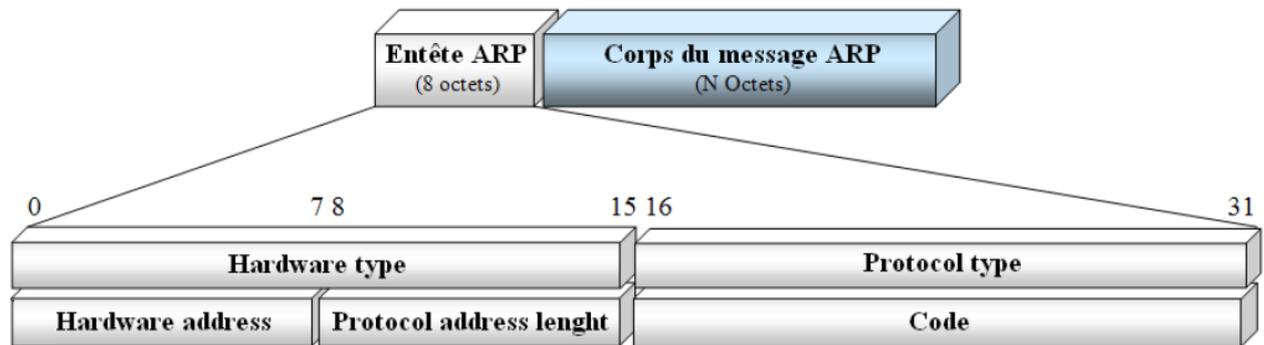
## Protocole ARP

ARP permet de déterminer une adresse physique d'un client à partir de son adresse logique.

Dans le cas d'un réseau Ethernet utilisant le protocole TCP/IP :

@ Physique = @ MAC

@ Logique = @ IP



### Entête du paquet ARP :

- Hardware type (2octets) : Identification de l'équipement utilisé (Ethernet, HDLC,..)

Hardware type		Equipement/réseau
Hexadécimal	Décimal	
00:01	1	Réseau Ethernet
00:0F	15	Frame Relay
00:11	17	HDLC
00:FF	31	IPsec tunnel [RFC3456]

- Protocole Type (2octets) : Protocole réseau

Protocole	Protocole type
Protocole IP	08:00

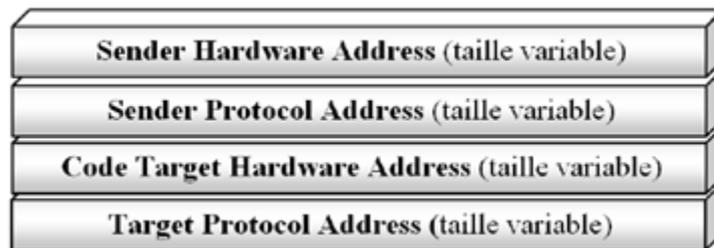
- Hardware Adress Length (1octet) : Longueur (octets) @ physique.

Type d'adresse physique	Taille	Hardware address length
MAC -Ethernet	6 octets	0000 0110
MAC -Token Ring	1 octet	0000 0001

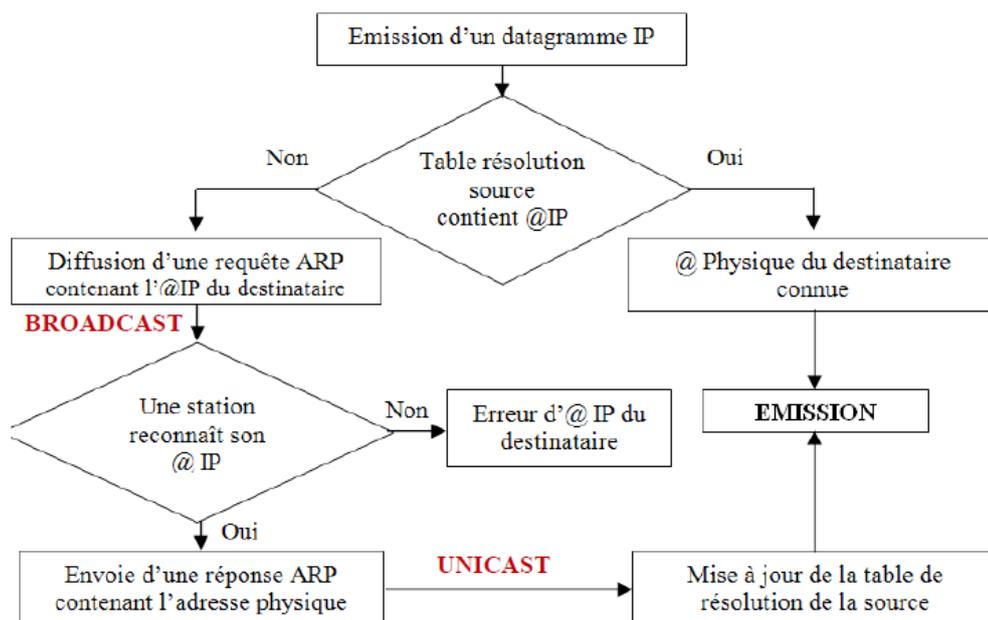
- Protocole Adress Length (1octet) : Longueur (octets) @ logique.

Type d'adresse logique	Taille	Protocol address length
IPv4	4 octets	0000 0100
IPv6	16 octets	0001 0000

- Code (2octets) : Nature de la trame (0001 : Requête ou 0002 : Réponse).

Corps du message ARP :

- Sender Hardware Address: Contient l'@ physique de la source. ( 6 octets)
- Sender Protocol Address: Contient l'@ logique de la source. (4 octets)
- Target Hardware Address: Contient l'@ physique du destinataire (6 octets)  
Requête ARP → champ vide 000000-000000.
- Target protocol Address : Contient l'@ logique du destinataire (4 octets)

Fonctionnement de ARP :

---

# Bibliographie

1. Réseaux & télécoms : Cours avec 129 exercices corrigés. Claude Servin. Dunod, 3e édition (2009)
2. Les réseaux. Guy Pujolle et Olivier Salvatori . Eyrolles, (2014)
3. Transmissions et réseaux cours et exercices corrigés. Stéphane Lohier et Dominique Présent. Dunod, 5e édition (2010)
4. Réseaux informatiques - Notions fondamentales (Protocoles, Architectures, Réseaux sans fil...). José Dordoigne. Eni, 6e édition (2015)
5. Architecture des Réseaux Cours et Exercices Corrigés. Bertrand Petit. Ellipses, 2013
6. Technologie des ordinateurs et des réseaux. Pierre-Alain Goupille. Dunod, 9e édition (2015)
7. Réseaux informatiques : conception et optimisation. Malek Rahoual et Patrick Siarry. Technip, (2006)
8. TCP/IP et les services réseaux. Sylvain Caicoya et Jean-Georges Saury. Micro Application, (2006).
9. Architecture des réseaux : Synthèse de cours & exercices corrigés. Dominique Seret et Danièle Dromard. PEARSON, 2e édition (2010)
10. Architecture des réseaux haut débit : Cours, exercices et corrigés. Kim-Loan Thai et Simon Znaty. Hermès Science, (1995)
11. CISCO - Protocoles et concepts de routage - Configuration avancée des routeurs. André VAUCAMPS. Eni, (2010)
12. CISCO - Routage et Commutation - 2e module de préparation à la certification CCNA 200-120. de André VAUCAMPS et Laurent SCHALKWIJK . Eni, (2015)
13. Réseaux locaux et Internet : Des protocoles à l'interconnexion. Laurent Toutain. Lavoisier, (2003)