

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique Et Populaire

Université 8 mai 1945- Guelma
Faculté de Mathématiques, d'Informatique et de Sciences de la Matière
Département d'Informatique



Support de cours

Réseaux de communication

Pour 2^{ème} Année Licence - informatique

Par
Dr. Brahimi Said
brahimi.said@yahoo.fr

Avant propos

Ce support de cours est destiné aux étudiants de la deuxième année licence (LMD), spécialité informatique. Il a pour but d'avoir une vue d'ensemble sur les réseaux d'entreprise, de présenter leur rôle et ainsi que les différents équipements qui les composent. Il explique les principes fondamentaux des réseaux, tels que les modes de commutation ou la structuration des protocoles en couches. Il permet également de comprendre le fonctionnement des principales techniques utilisées dans les réseaux modernes, sans rentrer dans le détail de chacune d'elles.

Le contenu de ce support de cours est présenté d'une manière simplifiée et n'exige pas des connaissances approfondies particulières. Les seules connaissances préalables qui peuvent être utiles sont celles liées à l'architecture d'un système informatique, à la représentation binaires de l'information et au système d'exploitation.

On s'est efforcés de fournir avec pédagogie tous les éléments nécessaires pour s'initier et comprendre la base des réseaux informatiques. Ce support est accompagné des exercices et de l'énoncé et le corrigé d'un examen typique afin de donner une idée claire sur les aspects sur lesquels il est basé.

Pour bien présenter son contenu et respecter autant que possible le canevas de formation licence (LMD), option informatique, le support est structuré en sept (07) chapitres : Introduction aux réseaux informatiques, Modèle OSI, Couche physique, Couche liaison de données, Couche Réseau (protocole IP) et Couche Transport (protocole TCP). Cette organisation correspond à une progression pédagogique et respectant les recommandations de l'architecture en couche OSI (Open System Interconnection) proposée par l'organisme de standardisation international (ISO).

Chapitre 1 : Introduction aux réseaux informatiques

Ce chapitre a pour objectif la familiarisation des étudiants avec le vocabulaire « réseau » en présentant une vision globale sur les réseaux informations. Il permet ainsi d'adresser la liste des avantages de l'informatique en réseau par rapport à l'informatique en environnement autonome et identifier les éléments d'un réseau et ses différentes architectures.

Chapitre 2 : Modèle OSI

Dans ce chapitre, nous abordons un modèle normalisé d'une architecture des réseaux, appelé modèle (de référence) OSI (Open System Interconnection) proposé par ISO (International Standardization Organization) en 1977. Ce chapitre est considéré comme un guideline pour le reste de ce support. Les chapitres qui suivent sont présentés pour détailler, un peu, chacune de ces couches.

Chapitre 3 : Couche physique

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au transfert physique des données binaires (indépendamment de ce qu'elles représentent), sur un média (support) de transmission, entre deux équipements informatiques.

Chapitre 4 : Couche liaison de données

Dans ce chapitre, nous abordons des techniques de protection supplémentaires (par rapport à celle prise en considération dans la couche physique) de la couche liaison de données pour « masquer », les défauts dus aux supports et les erreurs dues à la saturation des équipements communicants. Nous présentons également le principe d'accès multiple aux supports de transmission dans le cas des réseaux locaux et les techniques de bases pour éviter ou traiter d'éventuels problèmes.

Chapitre 5 : Couche Réseau

Dans ce chapitre nous abordons les standards proposés dans le cadre de l'architecture TCP/IP. Nous nous concentrons sur l'adressage des machines et le routage des paquets dans un réseau logique formé sur plusieurs sous réseaux physiques.

Chapitre 6 : Couche Transport

Dans ce chapitre on présente la couche transport telle qu'elle est proposée par l'architecture TCP/IP. Nous nous expliquons comment cette couche fonctionne conjointement avec les couches inférieures.

Table de matière

Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
Liste des abréviations	VIII
Chapitre 1 : Introduction aux réseaux informatiques	1
1.1. Introduction	1
1.2. Qu'est-ce qu'un réseau ?	1
1.3. Utilisation des réseaux	1
1.3.1. Partage des ressources	2
1.3.2. Échange des données et Communication entre personnes	2
1.3.3. Accès à des services distants	2
1.4. Avantage des réseaux	2
1.5. Type des réseaux	2
1.5.1. PAN, LAN, MAN, WAN	3
1.5.2. Publique ou privé	3
1.5.3. Réseaux poste à poste ou client/serveur	3
1.5.4. Réseaux filaires, à fibres optiques et sans fil	4
1.5.5. Topologie physique des réseaux	4
1.6. Composants d'un réseau	5
1.7. Questions de révision	5
Chapitre 2 : Modèle OSI (Open Systems Interconnection)	7
2.1. Introduction	7
2.2. Modèle en couches OSI	8
2.3. Concept liés au modèle en couche OSI	10
2.4. Utilisation du modèle OSI	10
2.5. Questions de révision	11
Chapitre 3 : Couche physique	12
3.1. Introduction	12
3.2. Principe de transmission des informations	12
3.3. Transmission en bande de base	12
3.3.1. Code des signaux rectangulaires	13
3.3.2. Valence d'un signal	14
3.3.3. Transcodage	14
3.3.4. Débit de transmission	15
3.3.5. Retardement	15
3.3.6. Limites et problèmes de transmission en bande de base	15
3.4. Effet de support sur le signal	16
3.4.1. Atténuation	16
3.4.2. Bruits	16
3.4.3. Filtrage	17
3.4.4. Taux d'erreur	17

3.4.5. Protection de signal contre les effets indésirables	17
3.5. Transmission modulée	18
3.5.1. Principe de modulation	18
3.5.2. Type de modulation	19
3.5.3. Rapidité de modulation et débit binaire	20
3.5.4. Rapidité maximale	20
3.6. Circuit de données	21
3.6.1. Circuit unidirectionnel ou bidirectionnel	21
3.6.2. Transmission série et parallèle	21
3.7. Multiplexage	22
3.7.1. Canal et support	22
3.7.2. Principe de multiplexage	22
3.7.3. Type de multiplexage	23
3.8. Exercices	23
Chapitre 4 : Couche liaison de données	25
4.1. Introduction	25
4.2. Contrôle d'erreurs dues aux supports	25
4.2.1. Méthodes de protection	26
4.2.2. Méthodes de détection des erreurs	26
4.2.3. Correction par retransmission	28
4.3. Contrôle de flux	32
4.4. Contrôleur de communication et liaison de données	32
4.5. Gestion d'accès multiples aux supports de transmission	34
4.5.1. Méthode d'accès au support dans un réseau de topologie en bus	34
4.5.2. Méthode d'accès au support dans un réseau de topologie en anneau	35
4.6. Mesures de performance : taux d'occupation et débit effective	35
4.7. Exercices	36
Chapitre 5 : Couche Réseau	38
5.1. Introduction	38
5.2. Interconnexion des réseaux et routage	38
5.2.1. Équipements d'interconnexion	38
5.2.2. Réseau physique et logique	39
5.2.3. Principe de routage	40
5.3. Protocoles utilisés dans la couche Internet	41
5.3.1. Protocole Internet (IP)	41
5.3.2. Protocoles complémentaires	42
5.4. Adressage IP	43
5.4.1. Classes d'adresses	43
5.4.2. Adresses spéciales	44
5.4.3. Choix d'une classe	45
5.4.4. Masque réseau ou masque sous-réseau	45
5.5. Sous réseaux	46
5.6. Adressage privé et public	47
5.7. Exercices	48
Chapitre 6 : Couche Transport	50

6.1. Introduction	50
6.2. Défauts issues de la couche réseau	50
6.3. Multiplexage	50
6.4. Protocole de contrôle de Transmission (TCP)	52
6.4.1. Structure des segments	52
6.4.2. Gestion de connexion	52
6.4.3. Contrôle de transfert	53
6.4.4. Contrôle de flux ou de congestion	54
6.5. Protocole datagramme utilisateur (UDP)	55
6.5.1. Structure de l'unité UDP	55
6.5.2. Problème issu du protocole UDP	56
6.5.3. Utilisation du protocole UDP	56
6.6. Questions de révision	56
Prototype d'un examen final	58
Corrigé des exercices	60
Bibliographie	68

Liste des figures

Figure 2.1. Pile du modèle OS	8
Figure 2.2. Correspondance entre le modèle OSI et TCP/IP	10
Figure 3.1. Signal portant la suite d'informations binaires 0110010	13
Figure 3.2. Quelques Code des signaux rectangulaires	13
Figure 3.3. Codage à base de quatre impulsions (4 états) de base	14
Figure 3.4. Transcodage	14
Figure 3.5. Retardement	15
Figure 3.6. Dégradation d'un signal	15
Figure 3.7. Atténuation d'un signal	16
Figure 3.8. Effet de filtrage	17
Figure 3.9. Interprétation de modulation	18
Figure 3.10. Principe de transmission avec modulation	19
Figure 3.11. Signal sinusoïdal	19
Figure 3.12. Variantes de modulation de base	20
Figure 3.13. Circuit de données	21
Figure 3.14. Transmission série et parallèle	22
Figure 3.15. Principe de multiplexage	22
Figure 3.16. Principe de multiplexage fréquentiel	23
Figure 3.17. Principe de multiplexage temporel	23
Figure 4.1. Types d'informations échangées entre deux ETDD	26
Figure 4.2. Calcul du bit de parité	27
Figure 4.3. Calcul des bits de parité transversale et longitudinale	27
Figure 4.4. Scénario de Transmission avec arrêt et attente	29
Figure 4.5. Organigramme de Transmission avec arrêt et attente	29
Figure 4.6. Scénario de Transmission continue	30
Figure 4.7. Scénario de Transmission continue avec numéros des trames non acquittées	30
Figure 4.8. Scénarios de retransmission. (a) retransmission sélective; (b) retransmission systématique	31
Figure 4.9. Éléments de liaison de données et types d'informations échangées.	33
Figure 4.10. Collision des trames	34
Figure 5.1. Équipements d'interconnexion arrangés par couche.	39
Figure 5.2. Réseaux logiques et physiques	40
Figure 5.3. Interconnexion de deux réseaux physiques	40
Figure 5.4. Exécution du protocole ARP	42
Figure 5.5. Adresse IP	43
Figure 5.6. Classes d'adressage IP. (i) classe A (ii) classe B (iii) classe C	44
Figure 5.7. Boucle locale	44
Figure 5.8. Diffusion générale et dirigée	45
Figure 5.9. Structure du masque sous-réseau	45
Figure 5.10. Extension de l'ID réseau pour identifier les sous-réseaux	46
Figure 6.1. Multiplexage de connexion réseau	51
Figure 6.2. Structure d'un segment TCP	52
Figure 6.3. Scénario d'établissement de connexion	53
Figure 6.4. Contrôle de transfert	54
Figure 6.5. Structure d'une unité (segment, ou même paquet) UDP	55

Liste des tableaux

Tableau 4.1. Comparaison de Retransmission systématique et Sélective	31
Tableau 4.2. Comparaison de Transmission avec arrêt et attente et celle continue	31
Tableau 5.1. Le masque sous-réseau par défaut pour chaque classe	46
Tableau 5.2. Nombre de bits de l'id machine qu'on peut prendre pour étendre l'ID réseau	46
Tableau 5.3. Nombre minimum de bits qu'on doit laisser à l'id machine	47
Tableau 5.4. Adresses privées par classe	48
Tableau 6.1. Réaction de TCP coté récepteur face aux différents événements	54

Liste des abréviations

ACK	Acknowledgement
ARP	Address Resolution Protocol
bps	Bit per seconde
BV	Basse vitesse
MUX	Multiplexeur
DEMUX	Démultiplexeur
HV	Haute vitesse
CCITT	Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone
BCH	Bose, Ray-Chaudhuri et Hocquenghem
CODEC	code-decode
CRC	code à redondance cycliques
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
dB	Décibel
DG	Délai de Garde
ETCD	Équipement Terminal de Circuit de Données
ETTD	Équipement Terminal de Traitement de Données
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FDM	Frequency Division Multiplexing
FIFO	First in first out
GSM	Global System for Mobil
HDLC	High level Data Link Control
<i>HLEN</i>	header length
I	Information
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISO	International Standards Organisation
LAN	Local area Network
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
Modem	Modulateur/Démodulateur
NRZ	non retour à zéro
OSI	Open System Interconnection
PAN	Personal Area Network
PPP	Point to Point Protocol
RARP	Reverse Address Resolution Protocol
RZ	Retour à zéro
TDM	Time Division Multiplexing
UDP	User Datagram Protocol
WAN	Wide Area Network
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Chapitre 1

Introduction aux réseaux informatiques

1.1. Introduction

Aujourd'hui les réseaux sont omniprésents et ils dominent la vie des homes. L'évolution des réseaux a passé d'une simple interconnexion des terminaux avec des gros ordinateurs à une vaste interconnexion des ordinateurs personnels et des grands serveurs dispersés sur toute la planète.

L'objectif de ce chapitre est la familiarisation des étudiants avec le vocabulaire « réseau » en présentant une vision globale sur les réseaux informations. Il permet ainsi d'adresser la liste des avantages de l'informatique en réseau par rapport à l'informatique en environnement autonome et identifier les éléments d'un réseau et ses différentes architectures.

1.2. Qu'est-ce qu'un réseau

Le mot réseau désigne en générale un ensemble d'objets ou d'éléments interconnectés les uns avec les autres. Le type ou le sens de ces objets ou éléments diffère d'un domaine (ou contexte) à un autre. Selon le type d'objet, on parlera parfois de : *réseau de transport, réseau téléphonique, réseau informatique.*

Un réseau informatique est donc un ensemble d'ordinateurs ou d'autres périphériques informatiques, dits terminaux, connectés entre eux par des liaisons (médiats ou supports) de transmission, et échangeant des informations sous forme de données numériques (valeurs binaires).

Dans ce sens, on appelle aussi "réseau" le système permettant l'interconnexion des équipements informatiques. Il s'agit dans ce cas du système de transfert des informations à communiquer entre les terminaux.

Un autre concept concernant le domaine des réseaux informatiques est celui *Téléinformatique*. Celui-ci désigne "informatique à distance" et fait référence à la science qui associe les problèmes liés au traitement des données et aux problèmes liés au transport de l'information.

1.3. Utilisation des réseaux

Les réseaux informatiques peuvent être utilisés dans plusieurs applications, notamment :

1.3.1. Partage des ressources

On entend par ressource toute entité logique (software) ou physique (hardware) pouvant être utilisée pour accomplir certaines tâches.

- **Ressources logiques** : sont généralement les données et les programmes. Il est utile d'enregistrer les fichiers (de données) ou de bases de données communs à plusieurs sur un disque partagé dans un poste du réseau. Cette manière permet d'avoir des données cohérentes et à jour. Il est quelquefois intéressant d'installer les programmes utilisés par tout le monde sur un disque (ou dans un répertoire) partagé en version réseau, plutôt que d'installer autant de programmes qu'il y a de machines. Le partage des ressources logiques concerne aussi le partage de contenu (photos, commentaires ou séquence vidéo) dans les réseaux sociaux.
- **Ressources physiques** : sont généralement les équipements matériels tels que les imprimantes, modem, télécopie, scanner, ... leur partage consiste à les faire disponible aux autres utilisateurs du réseau. Si elles ne sont pas partagées, seul l'utilisateur local pourra l'utiliser.

1.3.2. Échange des données et Communication entre personnes

Échange de données (ex. fichiers) entre utilisateurs ou machines du réseau. La circulation des données est plus rapide et plus sûre, puisque l'on évite l'utilisation des disques amovibles (laborieuses et peu sûres, surtout quand il s'agit de gros fichiers). Les réseaux permettent aussi aux utilisateurs de se communiquer directement grâce au service de courrier électronique, la discussion en direct, téléconférence,... et même la téléphonie.

1.3.3. Accès à des services distants

Comme le cas de commerce électronique (le paiement électronique ou e-paiement et l'achat en ligne) et l'accès à tout genre de services offerts par une société ou organisation.

1.4. Avantage des réseaux

Voici les avantages des réseaux :

- Diminution des coûts grâce aux partages des données, des applications et des périphériques.
- Accès aux données en temps utile. L'accès aux données est plus rapide et plus sûr que l'utilisation des médias amovibles (clé USB, DVD, ...).
- Communication et organisation plus efficace : meilleure organisation du travail, facilité du travail d'équipe, gestion des bases de données optimisée, les agendas réseaux facilitent la planification des réunions... Meilleure gestion de l'information.
- Accroître la résistance aux pannes.

1.5. Types des réseaux

Les réseaux d'ordinateurs peuvent être classés selon plusieurs critères : La taille des réseaux, Le support de transmission, Le type de relation entre les équipements, l'organisation physique des équipements et caractère privé ou public du réseau.

1.5.1. PAN, LAN, MAN, WAN

Suivant la distance qui sépare les ordinateurs, on distingue plusieurs catégories de réseaux :

- PAN (Personal Area Network) ou réseau personnel : est un petit réseau composé des équipements d'une personne comme micro-ordinateur, imprimante, smart phone, télévision, etc.
- LAN (Local Area Network) ou réseau local : Il s'agit d'un réseau reliant un ensemble d'ordinateurs (peut atteindre jusqu'à 100 voire 1000 utilisateurs) appartenant à une même organisation dans une petite aire géographique. La distance de câblage est de quelques centaines de mètres.
- MAN (Metropolitan Area Network) : correspond à une interconnexion de quelques bâtiments se trouvent dans une ville (Campus). Ils interconnectent plusieurs LAN géographiquement proches (au maximum quelques dizaines de km). Ainsi un MAN permet à deux nœuds distants de communiquer comme si ils faisaient partie d'un même réseau local.
- WAN (Wide Area Network) destinés à transporter des données à l'échelle d'un pays. Ces réseaux peuvent être terrestres (Utilisation d'infra - structure au niveau : câble, fibre, ...) ou satellite (Mise en place d'engins spatiaux pour retransmettre les signaux vers la terre).

1.5.2. Publique ou privé

- **Réseaux privé** : sont des réseaux à propriétaire (physique ou moral) unique conçus pour une personne, une organisation ou une entreprise quelconque. PAN et LAN sont généralement des réseaux privés. Ces réseaux sont internes à cette organisation ou entreprise et les liaisons entre machines sont souvent privées. Les réseaux privés sont réparties généralement sur les réseaux domestiques (personnels) et les réseaux d'entreprise.
- **Réseaux public** : les réseaux public sont généralement ouverts, tout le monde peut y connecté et y accéder. Internet est un cas particulier des réseaux public. Il est un réseau mondial qui peut relier n'importe quel ordinateur et même d'autres réseaux : *c'est un réseau ouvert à tout le monde*. Le réseau Internet peut utiliser les réseaux téléphoniques (fixes ou cellulaires) comme infrastructure de transmission des données, ou bien des liaisons spécialisées.

1.5.3. Réseaux poste à poste ou client/serveur

Selon la nature des relations entre les postes, on distingue généralement deux types de réseaux bien différents, ayant tout de même des similitudes. Ils sont :

- **Réseau client/serveur** : est un réseau qui contient des ordinateurs clients et un ordinateur serveur qui leur fournit des services. Ces services sont des programmes s'exécutant dans le serveur et qui fournissent des données telles que l'heure, des fichiers, une connexion à internet, ou le partage de certaines ressources. Le serveur est relativement puissant et **peut** (pas forcément) avoir une capacité particulière en terme de stockage et de traitement. Il doit aussi être doté de certains logiciels pour le traitement de requêtes des clients. Les autres machines clientes peuvent utiliser sans limitation leurs ressources propres (dites locales), comme n'importe quel poste de travail individuel et les ressources des serveurs (dites distantes ou réseau) qui leur auront été autorisées.
- **Réseau poste à poste** (égal à égal / Peer to Peer) : contrairement au réseau client/serveur, dans un réseau poste à poste il n'y a pas de serveur dédié. Ainsi chaque ordinateur dans un tel réseau

est un peu serveur et un peu client. Cela signifie que chacun des ordinateurs du réseau est libre de partager ses ressources. Un ordinateur relié à une imprimante pourra donc éventuellement la partager afin que tous les autres ordinateurs puissent y accéder via le réseau.

1.5.4. Réseaux filaires, à fibres optiques et sans fil

Selon le type de supports de transmission utilisés pour mettre en place les liaisons de transmission entre les équipements communicants dans le réseau, on distingue trois types : les réseaux filaires, à fibres optiques et sans fils.

- **Réseaux filaires** : les équipements dans ces réseaux sont reliés par des câbles métalliques conducteurs de l'électricité. Il y a plusieurs catégories plus anciennes et actuellement largement répondues, en l'occurrence : les paires torsadées et les câbles coaxiaux.
- **Réseaux à fibres optiques** : les équipements dans ces réseaux sont reliés par supports de verre ou de plastique très fin, qu'on appelle fibres optiques. dans lesquels se propage la lumière (portant les informations). Les fibres sont couvertes par une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre.
- **Réseaux sans fil** : les équipements dans ces réseaux ne sont pas reliés par supports matériels directs. Les informations échangées entre les équipements sont portées par des ondes électromagnétiques (radio, infrarouge, ...) se propageant en plein essor. Actuellement, plusieurs technologies se basent sur les supports sans fil, notamment : Bluetooth, wifi, Wimax, GSM, infrarouge ... on distingue deux types de réseaux sans fil : réseaux sans fil ad-hoc (ou sans infrastructure) et réseaux sans fil avec infrastructure.

Remarque : dans la pratique, on trouve des réseaux hybrides (mélange) contenant les trois types de liaisons.

1.5.5. Topologie physique des réseaux

La topologie physique d'un réseau est son organisation physique. Elle concerne la façon dont les machines sont connectées : Bus, Anneau, Étoile, Maillé, Arborescence, ...

- **Topologie en bus** : tous les terminaux sont reliés à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câble, généralement coaxial. Le mot "bus" désigne la ligne physique qui relie les machines du réseau.
- **Topologie en étoile** : tous les terminaux sont reliés à un composant matériel unique (*hub* (ou *concentrateur*), *Switch* (commutateur) ou *Routeur*), qui assure la communication entre les différents ordinateurs.
- **Topologie en anneau** : tous les terminaux sont reliés en anneau (boucle). Dans cette boucle, les ordinateurs communiquent chacun à leur tour (chacun d'entre eux va "avoir la parole" successivement).
- **Topologie Maillé** : chaque paire de terminaux sont reliées directement par un support unique. Cette topologie est rigide vis-à-vis l'extension et le nombre de liaisons croit rapidement avec le nombre de machines ($n \times (n-1) / 2$).
- **Topologie Arborescente** : connu aussi sous le nom de topologie hiérarchique, dans laquelle les équipements intermédiaires d'interconnexion sont organisés plusieurs niveaux. Le sommet, de

haut niveau, est connectée à plusieurs nœuds de niveau inférieur, dans la hiérarchie. Ces nœuds peuvent être eux-mêmes connectés à plusieurs nœuds de niveau inférieur. Le tout dessine alors un arbre, ou une arborescence

1.6. Composants d'un réseau

Un réseau peut comporter plusieurs composants. Ceux de base communs presque à tous les réseaux sont :

- **Nœuds terminaux** (terminaux ou hôtes). Sont les ordinateurs ou tout autre périphérique pouvant communiquer via le réseau. Il possède un numéro d'identification unique appelé adresse réseau.
- **Adressage**. Schéma d'adressage selon lequel un numéro d'identification unique est affecté à chaque nœud terminal.
- **Supports ou médias de transmission**. Sont les médias permettant de véhiculer les données entre les différents nœuds terminaux.
- **Équipements de raccordement ou interfaces**. Ils sont généralement les carte réseau, modem, adaptateur réseaux ou autre interface comme par exemple clé navigui usb de mobilis. Ces équipements permettent aux nœuds terminaux de se connectés au réseau et de se communiquer entre eux.
- **Nœuds intermédiaire d'acheminement**. Ce sont des équipements faisant partie de l'infrastructure de raccordement et de l'acheminement des informations entre les terminaux. Ils sont généralement : points d'accès, répéteurs, concentrateurs (hub), commutateurs (switch), ponts et des routeurs
- **Protocole**. L'ensemble de toutes les règles que suit chaque composant du réseau pour que ce dernier fonction de manière efficace et fiable (sans problèmes et sans erreurs). Ces règles se simulent au langage qui doit être compréhensible par tous les équipements du réseau. Exemple TCP/IP

1.7. Questions de révision

Question 1 : Que signifie « Internet » ?

- 1) Réseau international
- 2) Interconnexion de réseaux
- 3) Réseau interne
- 4) Filet international

Question 2 : En quoi consiste le routage ?

- 1) Envoyer des objets par la route
- 2) Poser les câbles qui relient des ordinateurs entre eux
- 3) Acheminer des données dans un réseau
- 4) Construire des routes

Question 3 : Comment s'appelle un réseau qui utilise les ondes radio pour envoyer des données ? (Il y a plusieurs réponses possibles)

- 1) Réseau sans fil
- 2) Réseau radio
- 3) Réseau ad hoc
- 4) Réseau Wifi

Question 4 : Que désigne la toile (ou « web » en anglais) ?

- 1) Le réseau des ordinateurs connectés par l'internet
- 2) L'ensemble des pages HTML et les liens qui les relient d'un simple clic

Question 5 : Quelle est l'utilité des réseaux de pair à pair (ou « Peer-to-Peer » en anglais) ?

- 1) Pirater des fichiers
- 2) Collaborer d'égal à égal
- 3) Construire des applications décentralisées

Question 6 : la topologie physique concerne la façon dont

- 1) les informations circulent physiquement sur le réseau.
- 2) les équipements échangent les messages dans le réseau
- 3) aucune réponse

Question 7 : Citer quatre ressources (2 physiques & 2 logiques) partageables dans un réseau informatique

Question 8 : Quelles est la différence principale entre un réseau sans fil ad-hoc et celui avec infrastructure ?

Question 9 : Donner quatre technologies des réseaux sans fil

Question 10 : Expliquer la notion de partage des ressources dans un réseau informatique

Chapitre 2

Modèle OSI (Open Systems Interconnection)

2.1. Introduction

Pour assurer une communication fiable entre équipements informatique plusieurs problèmes doivent être traités, notamment :

- Comment passer une information numérique entre des équipements ? sous quelle forme ? par quels médias ?
- Comment assurer une transmission fiable (sans erreurs) ?
- Comment étendre un réseau et connecter des équipements hétérogènes ?
- Comment faire communiquer des applications informatiques ?

Au début des années 70, chaque constructeur a développé son propre architecture de réseau informatique avec son propre technologie propriétaire. Ceci peut créer des problèmes variés, notamment l'impossibilité d'implémenter des réseaux par des équipements de constructeurs différents.

Le traitement de ce problème consiste à imposer des normes à respecter par tous les concepteurs et constructeurs des réseaux. Ces normes concernent la détermination des

- différentes parties de l'architecture des réseaux
- les règles à respecter lors de l'implémentation de chaque partie.

Les normes (on peut dire aussi standards) devraient être élaborées par des organismes officiels (généralement) internationaux. Ces organismes peuvent adopter des normes proposées par un groupement de constructeurs après avoir se mis d'accord sur des règles communes, ou par un constructeur dominant qui a su imposer aux autres des normes plus performant ou tout simplement qu'il est le seul à satisfaire la demande des utilisateurs

Deux organismes sont plus dominants :

- le CCITT (Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone)
- l'ISO (International Standardization Organisation)

Dans ce chapitre, nous abordons un modèle normalisé d'une architecture des réseaux, appelé modèle (de référence) OSI (Open System Interconnection) proposé par ISO en 1977.

2.2. Modèle en couches OSI

Le modèle OSI (Open System Interconnexion) d'ISO est basé sur une représentation en sept (07) couches (figure 2.1). Chaque couche décrit une solution à un problème de communication spécifique.

Application
Présentation
Session
Transport
Réseau
Liaison
Physique

Figure 2.1. Pile du modèle OSI

Les couches du modèle OSI composent deux grandes parties :

- Partie supérieure dite orientée application, composée de quatre couches supérieures, qui assure des fonctions orientées aux **applications** communicantes (à l'intérieur d'une machine).
- Partie inférieure dite orientée réseau, composée des trois couches inférieurs, qui assure des fonctions dépendant de la structure des réseaux et leurs interconnexion. Elle s'occupe de transfert des informations entre **machines** communicantes.

Niveau 1 : Couche Physique

Assure le transfert des bits sur une liaison physique. Il fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procéduraux nécessaires pour la mise en œuvre des liaisons physiques entre équipements des réseaux.

Les standards de cette couche spécifient

- les types des médias physiques et leurs caractéristiques.
- les types des signaux et ondes porteurs de l'information et leurs caractéristiques.
- les types des liaisons, procédures de gestion de ces liaisons, et leurs caractéristiques.

Niveau 2 : Couche Liaison

Fournit les moyens fonctionnels et procéduraux nécessaires pour l'établissement, la gestion liaisons directes entre deux équipements. Elle permet surtout de contrôler l'échange des informations binaires, entre deux nœuds adjacents, contre les erreurs de transmission engendrés par :

- les médias et leur environnement,
- le manque des ressources (mémoire et vitesse de traitement) nécessaires chez les équipements, ou
- l'anomalie des équipements d'interconnexion.

Dans ce niveau on voit l'information comme des trames de bits (ayant certaines structures). Les standards de cette couche spécifient :

- les types et les structures des adresses et des trames
- les mécanismes de contrôle des erreurs et de flux

- les mécanismes de contrôle d'accès aux supports
- les procédures d'échanges des trames et de gestion des liaisons

Niveau 3 : Couche Réseau

Fournit les moyens (équipements et services) nécessaires pour l'interconnexion des réseaux (dans un seul réseau) et pour l'acheminement efficace des messages (qui s'appelle dans ce niveau *paquets*) vers le bon destinataire (éventuellement via un ou plusieurs relais ou équipements intermédiaires). On appelle l'acheminement des paquets : Routage de paquets.

Pour faire le routage, cette couche permet de chercher les meilleurs (selon certains critères) chemins parmi ceux qui existent.

Les standards de cette couche spécifient

- les types et les structures des adresses et des paquets
- les mécanismes de contrôle de congestion de réseaux
- les procédures d'échanges des paquets et de gestion des chemins

Niveau 4 : Couche Transport.

Cette couche permet d'assurer une communication directe, sans erreurs et sans saturation entre des applications communicantes en offrant des voix logiques à travers des connexions physiques sur le réseau.

Elle assure ainsi que, la segmentation des données en paquets et le réassemblage des paquets de l'autre côté.

Niveau 5 : Couche Session

Cette couche offre les moyens logiciels nécessaires pour l'organisation et la gestion de dialogue entre les applications en gérant des sessions d'échange.

Pour permettre une gestion efficace des sessions, cette couche fournit les moyens nécessaires pour assurer une reprise des sessions en cas de problèmes de coupure de connexion. Cela, en posant des points de resynchronisation et de reprise (pour redémarrer en cas de problème sur un point précis).

Niveau 6 : Couche présentation

Cette couche s'occupe des questions de la syntaxe et la sémantique (présentation) des informations transportées afin

- qu'elles soient compréhensibles par les applications communicantes.
- que la communication soit optimisée, en compressant les informations transportées
- de garantir une certaine sécurité, en encryptant les informations transportées (et en les décryptant à leurs réception).

Niveau 7 : Couche application

Cette couche est considérée comme point de contact entre les processus d'application (qui utilisent les services de communication) et le réseau. Elle fournit les services utilisables directement par les applications comme :

- le transfert des informations et des fichiers
- partages des ressources et la gestion de leurs intégrités et cohérences
- le courrier électronique, le travail à distance.

2.3. Concepts liés au modèle en couche OSI

Service : Les relations verticales entre les couches de la pile sont des relations de services. Chaque couche utilise les services fournis par sa couche inférieure afin d'effectuer sa tâche et de fournir des services à sa couche supérieure.

Protocole : Un protocole est défini en terme d'un ensemble de règles sur

- la structure de données à transmettre et celles de contrôle traitées par chaque couche.
- les procédures d'échange de ces informations entre deux entités du même niveau.

Encapsulation : Envelopper les données d'un protocole d'une couche par les données d'un autre protocole de la couche immédiatement inférieure.

2.4. Utilisation du modèle OSI

Le modèle OSI n'est pas utilisé tel quel dans les réseaux informatiques actuels. Ce modèle est sorti quand le modèle TCP/IP est largement utilisé (surtout aux états unis). En outre, le modèle OSI est trop complet ce qui rend son mise en œuvre trop complexe. En fait, il reste comme un modèle de référence. La [figure 2.2](#) mis en correspondance les deux modèles : OSI et TCP/IP

Actuellement, le modèle le plus dominant est TCP/IP.

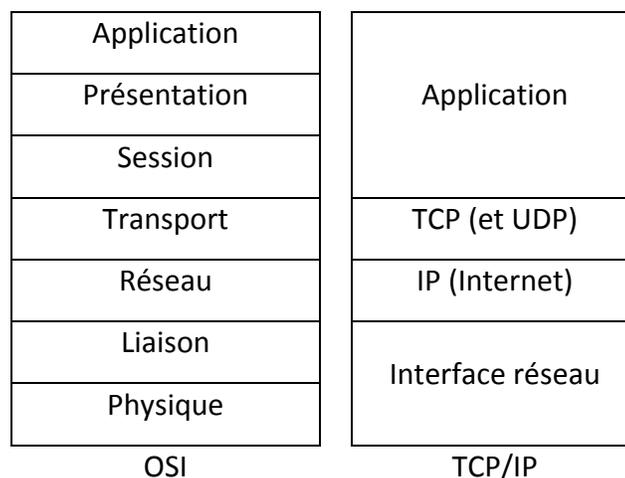


Figure 2.2. Correspondance entre le modèle OSI et TCP/IP

2.5. Questions de révision

Question 1 : À quelle couche du modèle OSI les paquets sont-ils encapsulés en trames ?

Question 2 : Le transfert de documents hypertexte est une fonction typique de quelle couche du modèle OSI ?

Question 3 : Quelle est la couche du modèle OSI qui indique comment coder les images, le son et la vidéo ?

Question 4 : Une carte réseau est considérée comme un dispositif de quelle couche du Modèle OSI

Question 5 : Le modem, Switch, et routeur sont des dispositifs de quelle couche du Modèle OSI

Question 6 : Est-ce qu'il y a une relation entre les numéros de séquence des trames et la numérotation des segments au niveau de la couche transport. Pourquoi ?

Question 7 : Quelle sont les couches (du Model OSI) qu'on peut omettre dans le cas de réseau point à point ?

Question 8 : Un CODEC dépend-t-il de quelle couche ?

Chapitre 3

Couche physique

3.1. Introduction

Les réseaux informatiques peuvent relier de divers équipements. Ils peuvent permettre ainsi que d'échanger plusieurs types d'information : la voix, les données textuelles, les images, et les séquences vidéo. Si elles ne sont pas d'origines identiques elles sont toutes représentées dans les équipements numériques sous forme d'information binaire (0 et 1). Donc, leur transmission se fait de la même manière mais sous certaines contraintes.

Dans ce chapitre, nous ne nous intéressons qu'au transfert physique des données binaires (indépendamment de ce quelles représentent), sur un média (support) de transmission, entre deux équipements informatiques. Les équipements communicants sont ici dénommés par ETTD (Équipement Terminal de Traitement de Données).

3.2. Principe de transmission des informations

La transmission des informations d'un équipement à un autre consiste à faire transiter, sur une liaison (qui relie ces équipements), un signal portant de cette information. Elle est basée sur le principe de propagation d'ondes (ou impulsion) portant l'information sur le support les reliant. La nature de ces ondes dépend de la nature de support. Ainsi :

- Les ondes ou impulsion électriques se propagent sur des câbles ou fils conducteurs de l'électricité. Paire de fil, câble à paires torsadées, câble coaxial, etc. sont des exemples de câbles.
- Les ondes lumineuses se propagent sur des fibres optiques.
- Les ondes radio (faisceau hertzien, ...) se propagent sur l'air ou sur le vide.

Un signal est formé d'une série d'impulsions représentant l'information binaire. Lors de la transmission de l'information, on modifie dans le temps les caractéristiques des impulsions à émettre en fonction de la valeur de cette information.

3.3. Transmission en bande de base

La transmission en bande de base consiste à émettre directement, dans un câble, un signal électrique rectangulaire portant de l'information binaire.

Ce signal est formé d'une suite d'impulsions électriques ayant une forme (un codage) spécifique.

Par exemple, la [figure 3.1](#) ci-dessous montre un signal portant une suite d'informations binaires 0110010, ce signal est formé d'une suite d'impulsions de base représentant le 0 et le 1. La durée de chaque impulsion est la durée d'un bit ou ce qu'on appelle temps élémentaire (noté T).

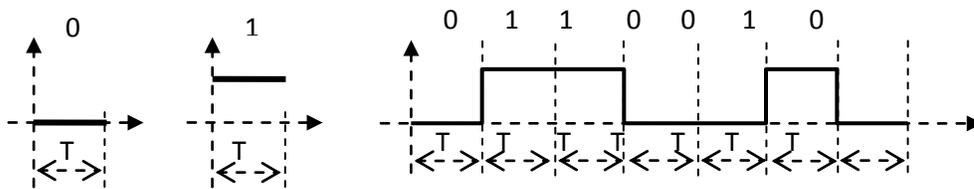


Figure 3.1. Signal portant la suite d'informations binaires 0110010

Dans cet exemple le 0 est représenté par un courant nul et le 1 est représenté par un courant positif. On appelle telle forme de représentation, code (exactement code tout ou rien).

Dans ce qui suit, nous présentons quelques codes des signaux électriques.

Un signal rectangulaire est caractérisé par :

- Le moment élémentaire (noté T) : la durée de l'impulsion de base.
- La forme des impulsions représentant les informations binaires
- La valence de signal (noté V) : le nombre de différentes impulsions de base pouvant formées ce signal.
- Le spectre de fréquence : bande de fréquences occupée par le signal (largeur de bande). (Hz). C'est l'équivalent à l'ensemble de signaux sinusoïdaux élémentaires dont la somme résulte ce signal (la théorie de fourrier indique comment extraire ces signaux sinusoïdaux)

3.3.1. Code des signaux rectangulaires

Le code des signaux rectangulaire concerne la forme des impulsions représentant les informations binaires. La [figure 3.1](#) par exemple illustre un signal, portant la suite d'informations binaires 0110010, codé selon le code tout ou rien. En fait, il y a plusieurs codes de signaux rectangulaires pouvant être utilisés, notamment ceux illustrés par la [figure 3.2](#).

tout ou rien	non retour à zéro (NRZ)	Bipolaire	Retour à zéro (RZ)	Manchester (biphase)

Figure 3.2. Quelques Code des signaux rectangulaires

3.3.2. Valence d'un signal

La valence d'un signal, notée V , est le nombre d'impulsions de base, selon un code déterminé, pouvant former un signal quelconque.

Les différents codes définis dans la section précédente peuvent former des signaux de valence 2 (des signaux bivalents ou à deux états), il y a deux impulsions de base (celle qui code le 0 et celle qui code le 1).

Il y a d'autres codes qui utilisent plus de deux impulsions de base. La [figure 3.3](#) ci-dessous montre un codage de quatre impulsions (4 états) de base. Chaque impulsion représente une valeur binaire différente. Ainsi, chaque valeur est codée sur deux bits. La valence du signal portant l'information 01110010 est 4 et le moment élémentaire dans ce cas est le temps pour 2 bits.

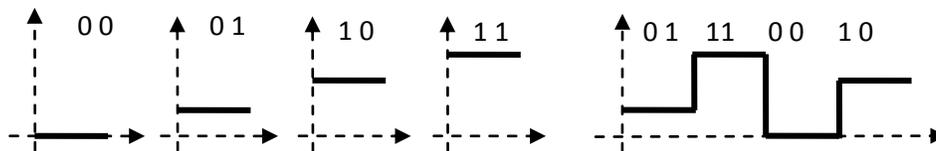


Figure 3.3. Codage à base de quatre impulsions (4 états) de base

Le rapport entre la valence V et le nombre de bit par impulsion n s'exprime par la formule $V = 2^n$ (donc, $n = \log_2 V$).

3.3.3. Transcodage

Le transcodage est l'opération qui permet d'obtenir (générer) un signal rectangulaire à partir d'autre signal rectangulaire ayant des caractéristiques différentes. Les deux signant doivent porter la même information. Le dispositif qui fait le transcodage s'appelle transcodeur.

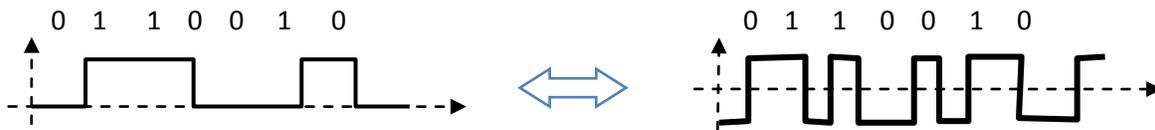


Figure 3.4. Transcodage

Le transcodage a pour but de :

- faciliter sa transmission sur le support physique : obtenir un signal bien adapté aux (caractéristiques des) supports de transmission.
- traiter le problème d'hétérogénéité des codes utilisés par les différentes machines communicantes dans le même réseau.

La [figure 3.4](#) illustre un cas de transcodage entre un signal codé en tout ou rien et un autre (portant de la même information) codé selon Manchester.

3.3.4. Débit de transmission

Le débit de transmission (vitesse de transmission), noté D , est le volume d'information (ou le nombre de bits) à transmettre dans une unité de temps. Il s'exprime par bit/seconde (bit/s ou bps).

Le débit peut être calculé selon la formule suivante : $D = V/t$ où V est le volume à transmettre et t est le temps de la transmission (que prend un équipement lors de la transmission ou lors de la réception).

Il y a un rapport entre le débit, le temps de l'impulsion (T_{imp}) et la valence du signal (V) :

$$D = \frac{1}{T_{imp}} \log_2 V = \frac{1}{T_{imp}} n = \frac{1}{T_{bit}} \text{ Tel que } n \text{ le nombre de bits par impulsion.}$$

3.3.5. Retardement

Le retardement est dû à la vitesse de propagation (franchissement) du signal dans le support. La vitesse de propagation (exprimé en mètre/seconde) est une caractéristique physique des supports. Pour les câbles en cuivre, la vitesse de propagation vaut environ $2,1 \times 10^8$ m/s.

Donc, le retardement s'exprime en seconde et s'accroît avec la longueur du support.



Figure 3.5. Retardement

La [figure 3.5](#) illustre un exemple où la réception d'un signal enregistre un peu de retard par rapport au temps de son envoi.

3.3.6. Limites et problèmes de transmission en bande de base

Le principal problème de la transmission en bande de base est la dégradation très rapide du signal en fonction de la distance parcourue. Ceci est dû aux

- perturbations induites par l'environnement
- perturbations induites par les supports de transmission.

C'est pour cette raison que la transmission en bande de base n'est utilisée qu'en réseau local où la distance entre les stations n'est pas longue (<5km).



Figure 3.6. Dégradation d'un signal

La [figure 3.6](#) illustre un exemple où le signal transmis est dégradé par rapport à celui émis.

3.4. Effet de support sur le signal

Les supports de transmission ont généralement des effets indésirables sur le signal qui les transite. Ils peuvent introduire des distorsions au niveau de ce signal, ce qui peut se traduire par des erreurs dans l'information transmise en modifiant un ou plusieurs bits de cette information.

Parmi les effets indésirables des supports, on peut citer : l'atténuation, le bruit, le filtrage

3.4.1. Atténuation

L'atténuation du signal est son affaiblissement à cause de la perte de son énergie ([figure 3.7](#)). Donc, Elle se traduit par un signal de sortie plus faible que le signal d'entrée.



Figure 3.7. Atténuation d'un signal

L'atténuation s'accroît avec la longueur de support et s'exprime

- par le rapport A_s/A_e (A_s : Niveau du signal en sortie et A_e : Niveau du signal en entrée). ou
- en décibels (dB): $(A_s/A_e)_{dB} = 10 \log_{10}(A_s/A_e)$, si A_s et A_e exprime la puissance

$$(A_s/A_e)_{dB} = 20 \log_{10}(A_s/A_e), \text{ si } A_s \text{ et } A_e \text{ exprime la tension}$$

Dans un câble conducteur de l'électricité, l'atténuation d'un signal électrique est due à la résistance de celui-ci.

3.4.2. Bruits

Le bruit est un signal perturbateur, de comportement aléatoire, qui s'ajoute au signal et provoque des erreurs de transmission. Le bruit peut provenir de

- le support lui-même, et s'appelle bruit blanc
- l'environnement du support, et s'appelle bruit impulsif.

Le bruit s'exprime par le rapport S/B (signal/bruit) tel que S est l'amplitude (maximal) du signal porteur l'information et B celui du signal de bruit. Il peut s'exprimer aussi en dB (décibel) :

$$(S/B)_{dB} = 10 \log_{10}(S/B), \text{ si } S \text{ et } B \text{ exprime la puissance (W)}$$

$$(S/B)_{dB} = 20 \log_{10}(S/B), \text{ si } S \text{ et } B \text{ exprime la tension}$$

3.4.3. Filtrage

Un canal se comporte généralement comme un filtre qui ne laisse passer qu'une bande (intervalle) limitée de fréquences (figure 3.8). Les autres fréquences sont absorbées par le canal.

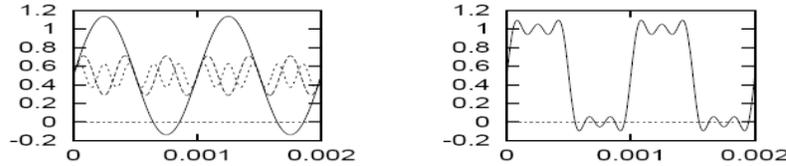


Figure 3.8. Effet de filtrage

On appelle cette bande ou intervalle de fréquences transmises par le canal : Bande passante (encore appelé largeur de bande).

Tout support de transmission est caractérisé par sa bande passante. Par exemple : Bande passante de la ligne téléphonique est comprise entre 300Hz et 3400 Hz.

La bande passante d'un support de transmission et le bruit qu'il exerce sur le signal détermine sa capacité en termes de débit (débit maximum), D_{max} .

Selon la Formule de Shannon, la relation entre ces trois paramètres est exprimée comme suit :

$$D_{max} = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{B} \right)$$

3.4.4. Taux d'erreur

Il est à noter que les effets d'atténuation, de bruit et de filtrage affectent le signal en même temps, le résultat en est que le signal à la sortie du canal se trouve déformé. Ceci peut introduire des erreurs dans l'information, que le signal porte, en modifiant un ou plusieurs bits. On appelle taux d'erreur binaire (Te) le rapport.

$$Te = \frac{\text{nombre de bits en erreur}}{\text{nombre de bits transmis}}$$

3.4.5. Protection de signal contre les effets indésirables

Pour protéger le signal contre les effets indésirables, plusieurs solutions peuvent être envisagées, notamment :

- 1) pour lutter contre le phénomène d'atténuation, on peut utiliser des répéteurs (ou amplificateurs) pour régénérer (amplifier) régulièrement le signal. Cette solution est trop coûteuse et elle peut amener à amplifier également le bruit, s'il y a lieu.
- 2) pour protéger le signal contre le bruit impulsif, on peut protéger le support par une gaine isolante. Une autre solution consiste à faire torsader chaque deux fils des supports (câble à paire

torsadée) ou à faire, sous forme de tresse métallique, un fil autour d'un autre fil simple (le cas des câbles coaxial).

- 3) pour protéger le signal contre le phénomène de filtrage, on procède à la conversion du signal rectangulaire en un autre signal analogique continu dont le spectre de fréquence se coïncide bien avec la bande de fréquence de support. Ce signal analogique qui, même s'il est affaibli, sera facilement décodable par le récepteur. On appelle cette opération : **Modulation**.

Les solutions 1) et 2) ne permettent pas d'assurer une protection complète. Elles ne sont pas appropriées dans le cas de transmission longue distance. Elles peuvent être utilisées avec la troisième mesure qui est bien appropriée.

3.5. Transmission modulée (avec modulation)

3.5.1. Principe de modulation

En général, la modulation est la conversion du signal ayant un spectre de fréquence déterminé en autre signal qui aura un spectre de fréquence différent que le premier. Donc

La **modulation** \Leftrightarrow le **décalage** du spectre des fréquences

La **modulation** d'un signal rectangulaire (dont le spectre de fréquence ne se coïncide pas avec la bande passante) est sa **conversion** en autre signal ayant un autre spectre de fréquence (celui qui se coïncide bien avec la bande passante ou avec une sous bande) et portant la même information. La [figure 3.9](#) illustre l'interprétation de principe de modulation.

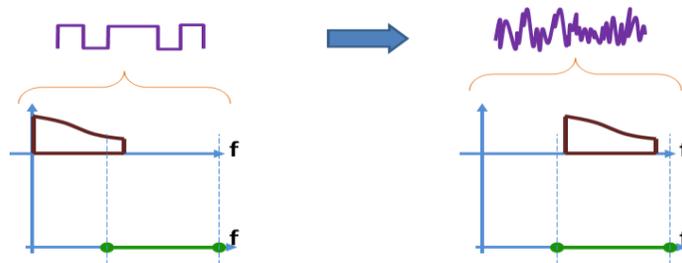


Figure 3.9. Interprétation de modulation

On appelle le nouveau signal : signal modulé, et on appelle l'opération inverse : Démodulation. L'équipement servant à effectuer la modulation (respectivement la démodulation) est dénommé : Modulateur (respectivement : Démodulateur). L'équipement qui effectue la modulation et la démodulation : *Modem* (Modulateur/Démodulateur).

La figure 3.10 illustre le principe de transmission avec modulation, où les modems sont placés sur les extrémités de support.

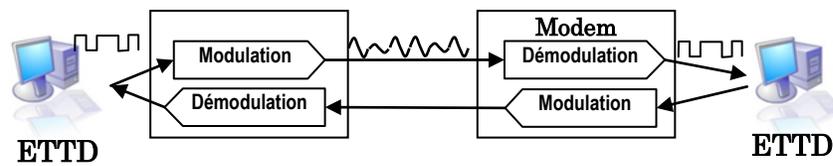


Figure 3.10. Principe de transmission avec modulation

En fait, la modulation est basée sur le principe suivant :

- choisir un signal sinusoïdal dont la fréquence est bien transmis par le canal,
- faire varier son amplitude, sa fréquence ou sa phase et cela en fonction du signal représentant l'information.

On appelle le signal sinusoïdal de modulation : onde porteuse (ou simplement porteuse). Elle est représentée par la fonction $s(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$ dont la représentation graphique est illustrée par la figure 3.11.

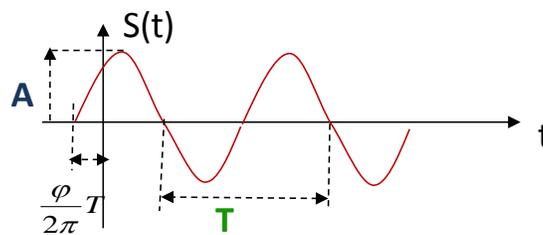


Figure 3.11. Signal sinusoïdal

- A : l'amplitude, il indique la puissance du signal
- $1/T = f$: la fréquence (Hz), ou le nombre de cycles complets par second ($1/T$)
- φ : la phase ou le déphasage

3.5.2. Type de modulation

On distingue trois types de base de modulation : modulation d'amplitude, modulation de phase et celle de fréquence. Ces types de modulation sont dits (figure 3.12) : *modulations bivalentes*

- **Modulation d'amplitude** : selon l'information binaire, on modifie dans le temps l'Amplitude de l'onde porteuse.
- **Modulation de phase** : Selon l'information binaire, on modifie dans le temps la phase de l'onde porteuse.
- **Modulation de fréquence** : Selon l'information binaire, on modifie dans le temps la fréquence de l'onde porteuse.
- **Modulation hybride** : Selon l'information binaire, on modifie dans le temps le deux ou les trois paramètres (fréquence, phase, amplitude)

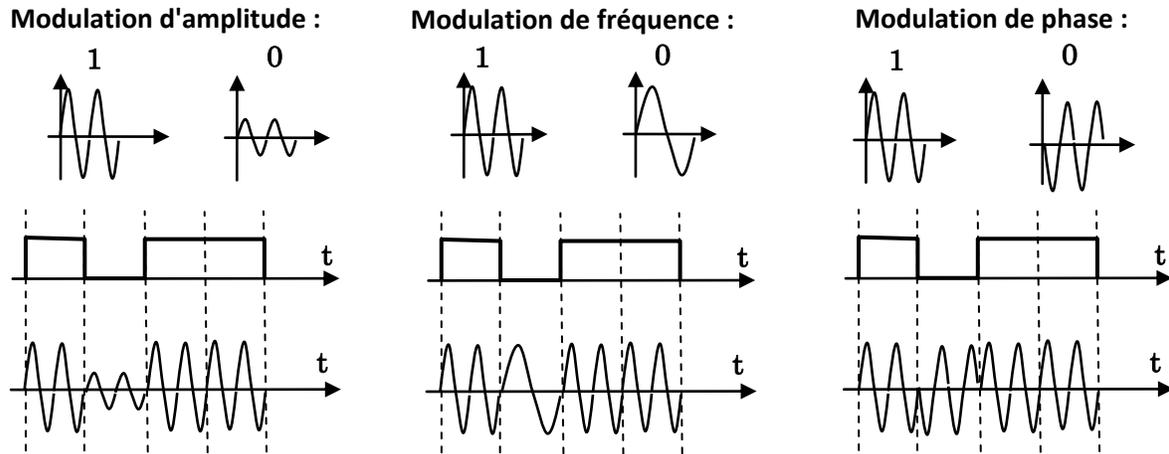


Figure 3.12. Variantes de modulation de base

Exemple : V29 est un standard de modulation hybride (*modulation multi-valeurs*), en combinant à la fois la modulation de fréquence et la modulation de phase de la façon suivante : 2 niveaux d'amplitude et 8 niveaux de phase ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$), ce qui donne 16 (8×2) impulsion de base possible (4 bit/impulsion).

3.5.3. Rapidité de modulation et débit binaire

La rapidité (R) de modulation représente le nombre d'impulsions transmis pendant une unité de temps, et s'exprime en bauds.

$$R = 1/T_{imp} \text{ Bauds,}$$

tel que T_{imp} est la durée de l'impulsion

- Dans le cas de modulation bivalente, une impulsion porte une valeur pour un bit, donc : $T_{imp} = T_{bit}$, ce qui implique $R = D$.
- Dans le cas de modulation multi-valeurs (n 'est pas bivalente), une impulsion de base peut porter une valeur de n bit ($n > 1$), donc $T_{imp} = n \times T_{bit}$ ce qui implique : $D = R \times n = R \log_2(V)$, tel que V est la valence (le nombre d'impulsions de base).

3.5.4. Rapidité maximale

Le calcul de la rapidité maximale dépend de la bande passante et prend en compte la présence ou l'absence de bruit. Pour un support où il y a de bruit, la rapidité maximale est exprimée en fonction de débit max (selon la formule de formule de Shannon) et la valence.

Dans le cas d'un support exempt de bruit (où il n'y a pas de bruit), la rapidité maximale est exprimée par la formule de Nyquist : $R_{max} = 2w$

3.6. Circuit de données

La transmission physique de l'information implique le transcodage ou la modulation des signaux rectangulaires électriques pour obtenir des signaux (électriques, électromagnétiques ou lumineux) bien adaptés à la nature des supports de transmission (fils conducteurs, air ou fibres en verres).

on appelle le composant qui adapte le signal rectangulaire (qui peut être le modem ou transcodeur ou autre équipement) selon les caractéristiques de support ou de réseau : *Équipement Terminal de Circuit de Données* (ETCD).

on appelle souvent l'ensemble composé du support et des ETCD servant à adapter le signal porteur de l'information à ce support, *circuit de données* (figure 3.13).

Donc, un circuit de données encapsule toute transformation du signal.

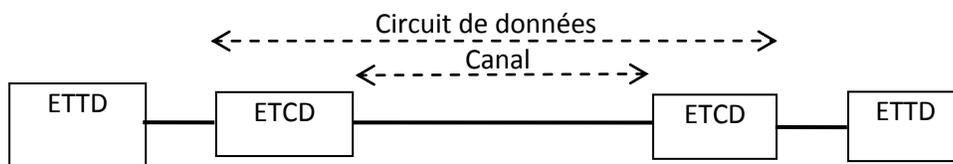


Figure 3.13. Circuit de données

3.6.1. Circuit unidirectionnel ou bidirectionnel

Le circuit de données peut fonctionner selon trois modes :

- **Unidirectionnel (simplex)** : le circuit de données est composé d'un seul canal et la communication est effectuée dans un seul sens. un équipement est toujours émetteur (source) et l'autre est toujours récepteur (puits ou collecteur).
- **Bidirectionnel (Half-duplex ou semi-duplex)** : le circuit de données est composé d'un seul canal et la communication peut être effectuée dans les deux sens mais à l'alternat. Les équipements peuvent, alternativement, être émetteurs et récepteurs.
- **Bidirectionnel-intégral (Duplex, Full-duplex ou duplexe-intégral)** : le circuit de données est composé de deux canaux distincts et la communication peut être effectuée *simultanément* (en même temps) dans les deux sens.

3.6.2. Transmission série et parallèle

L'information binaire peut être transmise selon deux modes différents (figure 3.14) :

- **Transmission parallèle** : les informations s'envoient de manière parallèle, et en même temps, sur des canaux différents. A la réception, ces impulsions doivent être lues aussi en même temps. *Ce mode de transmission permet de réduire considérablement le délai de transfert, mais pratiquement non-opérationnel dans le cas de circuit longue distance. Outre que le coût élevé de*

sa mise ouvre, le temps de propagation, qui n'est généralement pas le même sur les canaux parallèles peut rendre la réception des bits parallèles impossible.

- **Transmission série** : les bits de l'information s'envoient de manière séquentielle l'une après l'autre sur un seul canal. Ce mode est dominant dans les réseaux

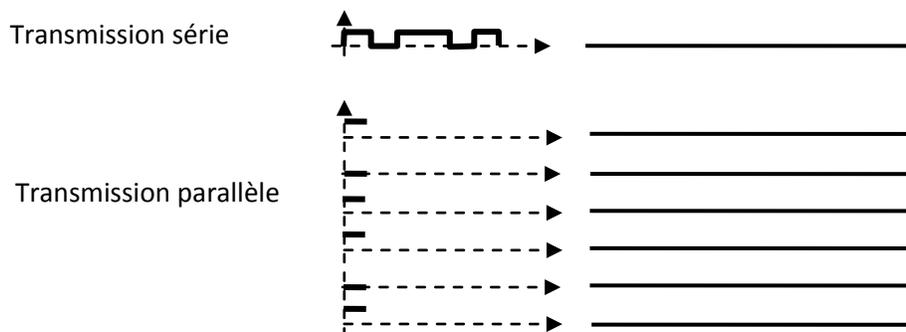


Figure 3.14. Transmission série et parallèle

3.7. Multiplexage

3.7.1. Canal et support

Sur un seul support physique on peut mettre en place plusieurs canaux (voies logiques) pouvant relier

- un pair d'équipement pour créer un circuit full-duplex
- plusieurs pairs d'équipements. Pour partager un support entre plusieurs équipements communicants : multiplexage

Donc, on utilise souvent le terme canal plutôt qu'un support pour désigner une voix de transmission entre un pair d'équipements de transmission.

3.7.2. Principe de multiplexage

On appelle *multiplexage*, l'opération consistant à faire transiter sur un seul et même support (qui possède généralement une large base bande passante), des communications appartenant à plusieurs paires d'équipements (émetteurs et récepteurs).

L'équipement qui effectue cette opération est appelé *multiplexeur* (figure 3.15). On appelle généralement la liaison à multiplexer voie haute vitesse (HV) et la liaison reliant l'équipement avec le multiplexeur voie basse vitesse (BV).

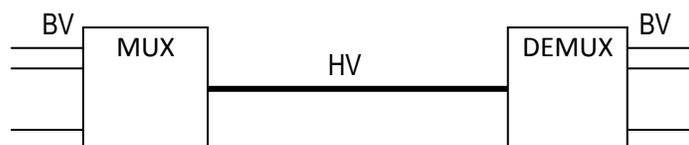


Figure 3.15. Principe de multiplexage

3.7.3. Type de multiplexage

Il y a plusieurs techniques possibles de multiplexage, notamment :

- **Multiplexage Fréquentiel** (FDM : Frequency Division Multiplexing) : consiste à diviser la bande passante de la voie HV en plusieurs sous bandes (qui ne se chevauchent pas). Chaque sous bande est affectée à une voie BV (figure 3.16).

Les sous bandes sont exploitées simultanément, c.-à-d. les équipements peuvent s'échanger l'information en simultanément.



Figure 3.16. Principe de multiplexage fréquentiel

- **Multiplexage Temporel** (TDM : Time Division Multiplexing) : partage dans le temps l'utilisation de la voie HV en l'attribuant successivement aux différentes voies BV (même si celles-ci n'ont rien à émettre) (figure 3.16).

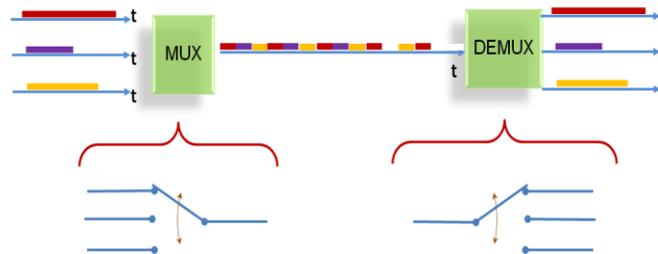


Figure 3.17. Principe de multiplexage temporel

- **Multiplexage Statistique** : c'est une amélioration du multiplexage temporel. la voie HV est attribuée seulement aux voies BV qui ont effectivement quelque chose à transmettre.

3.8. Exercices

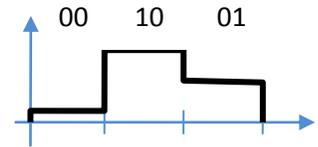
Exercice 1.

Tracer le signal représentant l'information binaire 110110010 en utilisant les différents codes vus au cours.

Exercice 2. Soit un réseau composé de deux équipements A et B reliés par un canal de transmission. Sachant que : **1)** La longueur de canal est 4 km **2)** La vitesse de propagation est 2×10^8 m/s **3)** Le débit de transmission est 512 kbit/s

- 1) Calculer la durée totale nécessaire pour acheminer un message contenant la série de bits 10010101 de A à B.
- 2) Calculer la durée totale de transmission successive de deux messages, chacun contient 8 bits.

Exercice 3. Déduire la valence du signal illustré par la figure suivante :



Exercice 4.

- 1) Une chaîne TV diffuse des séquences vidéo avec une vitesse de 40 images par seconde. Chaque image est représentée par une matrice de 450x500 pixels, chacun des pixels pouvant prendre 32 valeurs d'intensité différentes

Quel est le débit D de la source pour effectuer correctement la diffusion?

- 2) Supposant que la diffusion TV est effectuée sur une bande passante de 4,5 MHz et un rapport signal/bruit S/B de 35 dB (exprimé en termes de rapport de puissance).

Déterminer la capacité maximale de la voie. Le transfert est-il possible ?

Exercice 5.

Quelle est la capacité (débit maximum) d'une ligne téléphonique caractérisée par une bande passante de 300Hz à 3400 Hz et d'un rapport Signal/Bruit = 20 dB.

Exercice 6.

Quatre (04) sources de données fournissent des informations analogiques, le spectre de fréquence de chacune est 500 Hz. Le multiplexage fréquentiel de ces sources sur une ligne téléphonique (paire torsadée blindée) de bande passante 400 – 3 100 est-il possible ?

Exercice 7.

On désire transmettre, par l'intermédiaire d'un modem la série de bits 101101. Dessinez le signal transmis par le modem dans le cas de :

- a) modulation de phase, d'amplitude et de fréquence
- b) modulation hybride fréquence/Phase (2 fréquences/2 phases)

Exercice 8.

On désire transmettre, par l'intermédiaire d'un modem la série de bits 1001111100. Dessinez le signal transmis par ce modem sachant que :

- la modulation est hybride : 2 Amplitudes/4 Phases
- la fréquence de l'onde porteuse est $f = 2R$ (R : rapidité de modulation)

Chapitre 4

Couche liaison de données

4.1. Introduction

L'information échangée entre deux ETTD peut subir certains erreurs provoquées par les supports de transmission ou par l'anomalie des équipements physiques d'interconnexion (commutateurs, concentrateurs, ... etc.). Ces erreurs peuvent être quantifiées en termes d'un taux, dit taux d'erreur. Celui-ci est donné par le rapport :

$$\text{taux d'erreur} = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits émis}}$$

L'impact des erreurs sur l'information est se traduit par l'inversement de certains bits ce qui peut mener à :

- La corruption de l'information : le récepteur pour recevoir une information erronée.
- La perte de l'information : le récepteur ne peut rien recevoir si l'erreur infecte la séquence qui indique le début de la séquence d'information (la non-reconnaissance de la séquence).

Dans le chapitre précédent, nous avons vu de solutions pour lutter contre les erreurs de transmission, dont :

- Utiliser des équipements spéciaux (répéteur ou amplificateur, filtres, ...)
- Utiliser des supports bien appropriés, n'engendre pas beaucoup d'erreur et moins sensibles aux perturbations dû à l'environnement.
- Utiliser des signaux bien adaptés (moins sensibles aux perturbations induites par les supports eux même) par le codage et la modulation.

Malgré toutes ces mesures pour diminuer le taux d'erreurs, le risque d'erreurs persiste.

Dans ce chapitre, nous abordons des techniques de protection supplémentaires de la couche liaison de données pour «masquer», les défauts dus aux supports (section 2) et les erreurs dues à la saturation des équipements communicants (section 3). Nous présentons aussi, le principe d'accès multiple aux supports de transmission dans le cas des réseaux locaux et les techniques de bases pour éviter ou traiter d'éventuels problèmes.

4.2. Contrôle d'erreurs dues aux supports

Le contrôle d'erreurs consiste à les détecter et à les corriger afin d'assurer que le récepteur puisse recevoir information identique à celle émise par l'émetteur. Donc, il permet de protéger l'information contre les défauts des supports.

4.2.1. Méthodes de protection

Il y a deux grandes classes de méthodes de protection de l'information :

- Méthodes de protection pour la correction automatique : elles permettent au récepteur de détecter et de corriger les erreurs pour retrouver l'information initialement transmise. Elles peuvent (ou doivent) être utilisées lorsque :
 - le canal est unidirectionnel
 - la distance est élevée (satellite)
 - les erreurs sont faciles à corriger

Ces méthodes sont basées sur l'utilisation des codes auto-correcteurs comme le code Hamming, code BCH et code Reed-Solomon.

- Méthodes de protection pour la détection : Elles permettent au récepteur de détecter seulement les erreurs, la correction se fait par la retransmission. Ces méthodes sont plus souvent utilisées (car détecter est plus facile que corriger).

Dans ce chapitre nous sommes seulement intéressés aux méthodes de protection pour la détection.

4.2.2. Méthodes de détection des erreurs

Le principe de ces méthodes est simple : l'émetteur accompagne l'information utile d'une information supplémentaire (dite aussi redondante) de contrôle (figure 4.1). Cette dernière permettra au récepteur de contrôler l'information contre les erreurs.

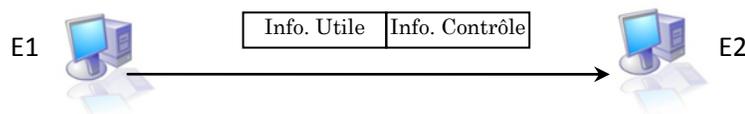


Figure 4.1. Types d'informations échangées entre deux ETTD

Trois méthodes sont plus utilisées :

A. Méthode basée la parité transversale

Coté émetteur : A chaque caractère de 7 bits on ajoute un bit de contrôle, dit de parité, indiquant si le nombre de bit à 1 est pair ou impair. Si ce nombre est pair, on ajoute 0 sinon, on ajoute 1. Ce calcul peut être réalisé par l'application de "ou exclusif (\oplus)" sur les bits du caractère (figure 4.2).

Donc, au lieu d'envoyer une information composée de N caractères de 7 bits, on envoie un N caractères de 8 bits. Le 8^{ème} bit de chaque caractère représente le bit de contrôle (parité) de ce caractère.

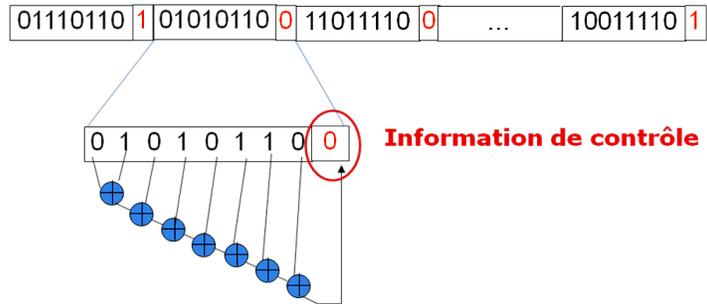


Figure 4.2. Calcul du bit de parité

Coté récepteur : Pour détecter la présence des erreurs, le récepteur procède comme suite : pour chaque (7 bits de) caractère, il recalcule la parité et compare le résultat avec la valeur du 8ème bit. Il n’y aura pas d’erreur si la parité calculé est identique à celle émise.

Remarque : La détection des erreurs peut se faire en calculant la parité associée au 8 bits (y compris le bit de parité émis) du caractère. Dans ce cas, il y a des erreurs si la parité calculée est 0 et il n’y pas sinon.

Limite de cette méthode : Cette méthode est efficace seulement dans les cas où la probabilité d’erreurs est jugée faible. Elle ne permet pas de détecter l’erreur si leur nombre est pair.

B. Méthode basée la parité transversale et longitudinale

Coté émetteur : on considère l'information à transmettre comme une matrice (chaque ligne est un caractère) et on calcule la parité verticalement (longitudinalement) et horizontalement (transversalement) (figure 4.3).

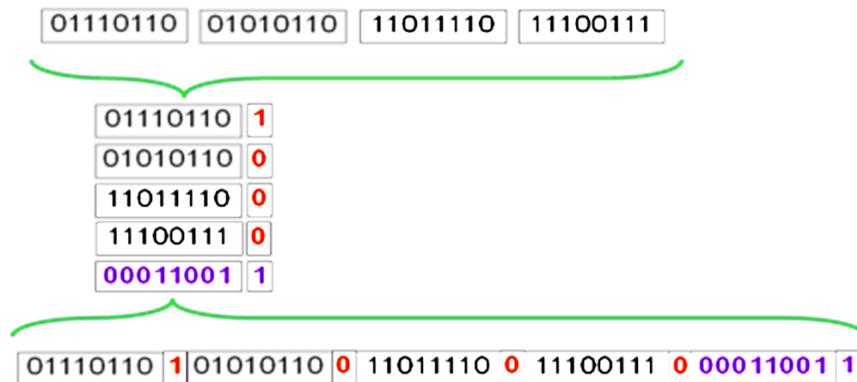


Figure 4.3. Calcul des bits de parité transversale et longitudinale

Coté récepteur : Pour détecter la présence des erreurs, le récepteur procède comme suite : pour chaque (7 bits de) ligne et pour (n-1 bits de) chaque colonne, il compare la parité recalculée avec la parité émise dans le message. Il n’y aura pas d’erreur si la parité calculé est identique à celle émise.

Limite de cette méthode : si cette méthode permet de détecter certaines erreurs non détectables par la méthode précédente, elle ne permet pas surtout de détecter les erreurs groupées.

C. Méthode basée sur le code générateur (code à redondance cycliques ou CRC)

Dans le cas des méthodes basées sur la parité, l'information de contrôle est composée des bits de parité. Cette méthode génère l'information de contrôle en effectuant une division d'un polynôme extrait de l'information par un autre polynôme dit générateur.

Trouver le polynôme associé à une séquence de bits : Soit une I une séquence de bits, $b_1 b_2 b_3 \dots b_k$, le polynôme y associé est $I(x) = b_1 \times x^{k-1} + b_2 \times x^{k-2} + b_3 \times x^{k-3} + \dots + b_k$

Par exemple: si $I = 1101011011$, alors $I(x) = x^9 + x^8 + x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$

$$I(x) = 1 \times x^9 + 1 \times x^8 + 0 \times x^7 + 1 \times x^6 + 0 \times x^5 + 1 \times x^4 + 1 \times x^3 + 0 \times x^2 + 1 \times x^1 + 1 \times x^0$$

Coté émetteur : soit M la séquence des bits à envoyer, on calcule le reste de la division, soit $R(x)$, (qu'on appelle CRC) du polynôme $x^n \cdot I(x)$ par un polynôme dit générateur $G(x)$ de degré n . Alors, la séquence M à envoyer est celle correspondant au polynôme $M(x) = x^n \cdot I(x) + R(x)$.

Coté récepteur : Pour détecter la présence des erreurs, le récepteur procède comme suite : divise

Le polynôme correspondant à la séquence de bits reçus, soit $M(x)$ par le polynôme générateur $G(x)$ (celui utilisé par l'émetteur). La séquence reçue est jugée correct si le reste de la division est nul ($R=0$). Sinon, elle est jugée erronée.

Cette méthode est jugée efficace pour la détection des erreurs groupées. Elle est largement utilisée actuellement.

4.2.3. Correction par retransmission

Les méthodes de détection présentées dans la section précédente permettent au récepteur de détecter l'existence des erreurs sans pouvoir les localiser. Par conséquent, elles ne permettent pas les corriger.

Pour corriger les erreurs, il y a lieu d'envisager des techniques de retransmission complémentaires. Il s'agit des méthodes se servant de la retransmission de l'information jugée erronée.

Nous utilisons le terme trame pour désigner un message ou un bloc de bit contenant l'information utile et l'information de contrôle redondante.

A. Transmission avec arrêt et attente

Est une méthode simple pour gérer la retransmission de l'information erronée. Elle se déroule comme suite (figure 4.4) :

- **l'émetteur** ne peut pas envoyer la trame (le bloc d'information) suivante qu'après s'assurer (par un acquittement positif de récepteur) que la trame (d'information) émise est bien reçue.

Remarque : le temps d'attente ne doit pas dépasser un délai dit de garde. On garde une copie de trame émise jusqu'à la réception de l'acquittement correspondant

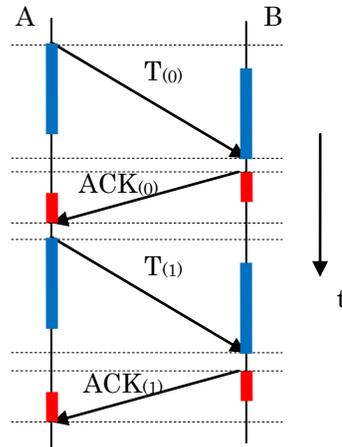


Figure 4.4. Scénario de Transmission avec arrêt et attente

- **récepteur** de toujours répondre, par un acquittement (message de contrôle) positif ou négatif. Les trames erronées et les trames dupliquas doivent être détruites

Cette méthode est basée sur les algorithmes ci-après (figure 4.5).

La trame d'information et l'acquittement doivent être numérotés. Les numéros des trames permettent au récepteur de détecter la perte, la duplication et l'ordonnancement des trames.

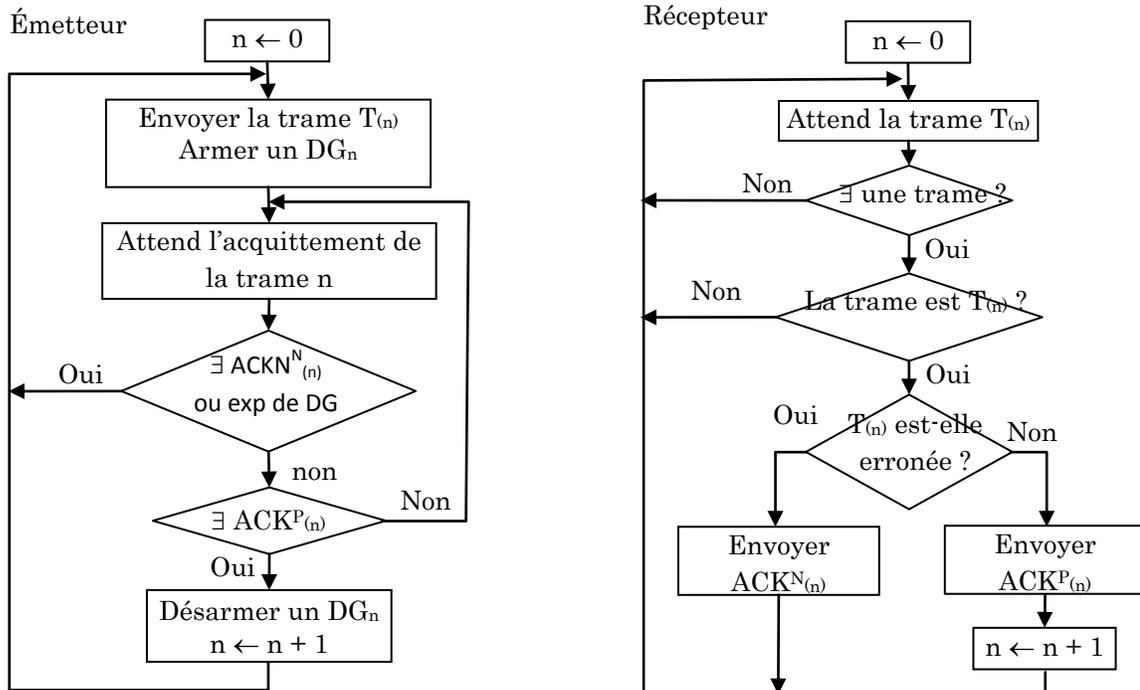


Figure 4.5. Organigramme de Transmission avec arrêt et attente

B. Transmission continue

Dans ce mode de transmission continue, l'émetteur reste inactif lors de l'attente de l'acquittement. Pour éviter ce problème, une autre solution consiste à exploiter le temps d'attente d'un acquittement pour envoyer une autre trame d'information (figure 4.6). Il s'agit de la transmission continue.

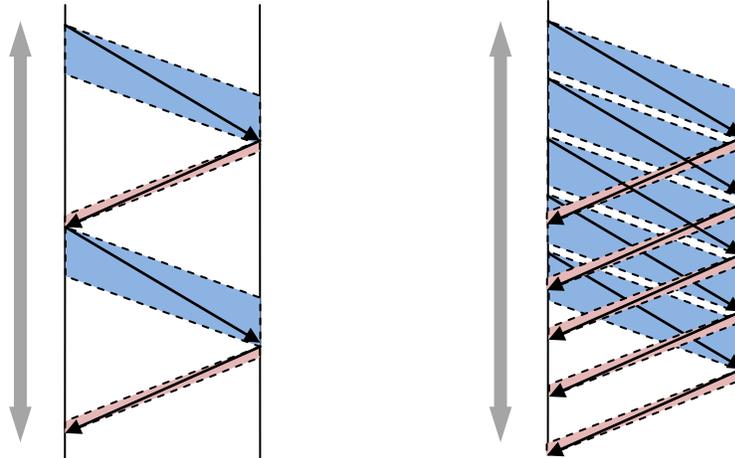


Figure 4.6. Scénario de Transmission continue

Dans les méthodes de transmission continue, l'émetteur peut envoyer plusieurs trames en attendant un acquittement. Pour gérer la transmission, l'émetteur garde une copie de chaque trame émise jusqu'à la réception de l'acquittement correspondant (figure 4.7).

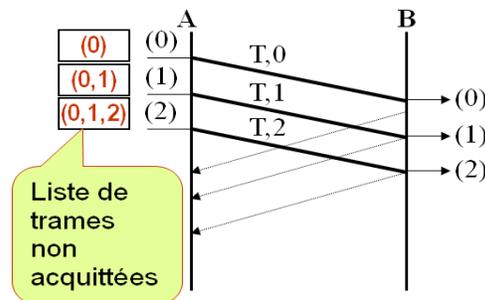


Figure 4.7. Scénario de Transmission continue avec numéros des trames non acquittées

Si certaine trame de l'ensemble des trames émises est perdue ou erronée, l'émetteur va procéder à la retransmission de cette trame et

- continue la transmission normalement : **Retransmission sélective** (figure 4.8 (a)) ou
- continue la transmission des trames venant après cette trame: **retransmission systématique (GO-BACK-N)** (figure 4.8 (b))

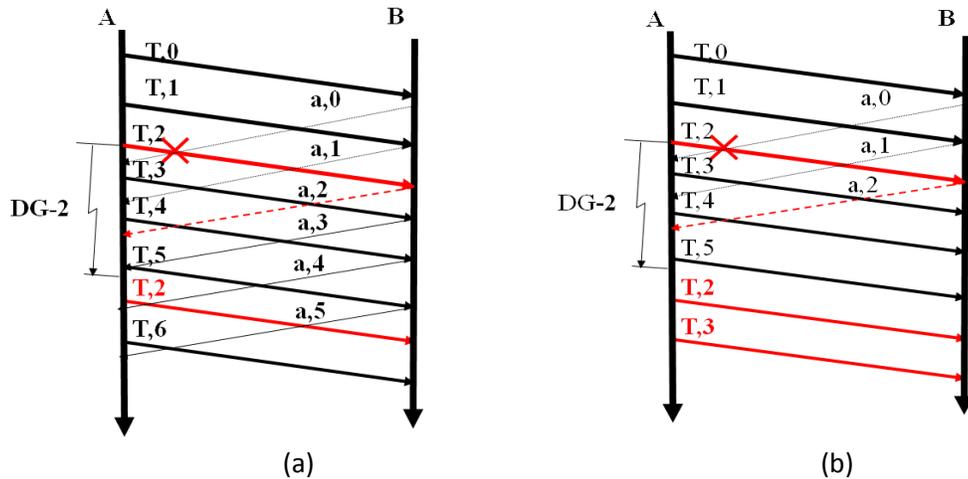


Figure 4.8. Scénarios de retransmission. (a) retransmission sélective; (b) retransmission systématique

Comparaison 1 (Retransmission systématique vs Sélective) : la comparaison des deux types de retransmission est résumée dans le tableau ci-dessous (tableau 4.1).

Critères de comparaison	Retransmission systématique	Retransmission Sélective
Implémentation	simple	complexe
Efficacité	Peu efficace	Plus efficace
Consommation de mémoire	Pas besoin de Mémorisation des trames côté récepteur	Mémorisation des trames côté récepteur

Tableau 4.1. Comparaison de Retransmission systématique et Sélective

Transmission bidirectionnelle

Dans un réseau de communication, la transmission est généralement bidirectionnelle. Chaque ETTD peut envoyer et recevoir des informations. Dans ce cas, un ETTD peut utiliser sa trame d'information pour acquitter les trames reçues.

Par exemple, si un équipement A envoie une trame d'information à B, et si à la réception de cette trame, B a aussi une trame d'information à émettre à A, B peut envoyer à A une seule trame qui inclut l'information et l'acquittement (dans un champ dans trames de d'information).

On appelle cette technique : Technique du « piggyback ».

Comparaison 2 (Transmission avec arrêt et attente vs transmission continue) : la comparaison de Transmission avec arrêt et attente et celle continue est résumée dans le tableau ci-dessous (tableau 4.2).

Critères de comparaison	Transmission avec arrêt et attente	transmission continue
Mémoire tampon	Presque nul	oui
Risque de Saturation	Non	oui
Baisse de débit	oui	non

Tableau 4.2. Comparaison de Transmission avec arrêt et attente et celle continue

4.3. Contrôle de flux

La transmission (surtout continue) peut poser un problème de saturation (généralement du récepteur). Pour traiter ce problème, il est nécessaire de réguler le débit de l'ETTD émetteur en fonction de la capacité d'absorption de l'ETTD récepteur. Autrement dit, adapter le rythme d'envoi des informations à celui d'absorption.

Il y a deux mécanismes pour contrôler le flux :

- Contrôle de flux géré par le récepteur,
- Contrôle de flux basé sur la fenêtre.

A. Contrôle de flux géré par le récepteur

C'est un mécanisme dans lequel le récepteur informe l'émetteur de son état : prêt à la réception ou non. Si le récepteur n'est pas prêt à recevoir plus de trames, il envoie à l'émetteur un message de contrôle lui imposant de cesser sa transmission. Si après certain temps le récepteur n'est plus saturé, il envoie à l'émetteur un autre message (de contrôle) de déblocage. Donc, l'émetteur gère la transmission à la demande de l'émetteur.

B. Mécanisme de fenêtre

Est un mécanisme dans lequel l'émetteur et le récepteur se mettent d'accord sur le nombre de trames que l'émetteur peut envoyer en attendant un acquittement.

La fenêtre représente la liste des numéros des trames que l'émetteur peut envoyer en attendant un acquittement. Le nombre des trames de la fenêtre représente ce qu'on appelle largeur de cette fenêtre. Par exemple, si la largeur de la fenêtre est trois (03) l'état initial de fenêtre est {0, 1, 2}. Dans ce cas, l'émetteur peut envoyer les trames numérotées 0, 1 et 2. Après la réception de l'acquittement positif de la trame n° 0, le récepteur enlève 0 de la fenêtre et ajoute 3 (pour la 4^e trame), et l'état de la fenêtre devient {1, 2, 3}.

4.4. Contrôleur de communication et liaison de données

Dans les sections précédentes, nous avons expliqué quelques techniques pour détecter et corriger l'information transmise contre les erreurs de transmission, et pour aussi celles pour éviter la saturation des ETTD. Ces techniques sont implémentées dans, ce qu'on appelle, **Contrôleur de communication**.

Les contrôleurs de communication (CC) font partie des ETTD et sont reliés aux circuits de données. On appelle l'ensemble composé de circuit de données et les CC sur les deux extrémités de ce circuit, Liaison de données. Donc, la liaison de données s'occupe de l'acheminement, sans erreur, des blocs d'information sur un circuit de données ([figure 4.9](#)).

Dans la technologie des réseaux locaux, les CC sont réalisés au niveau des cartes réseaux.

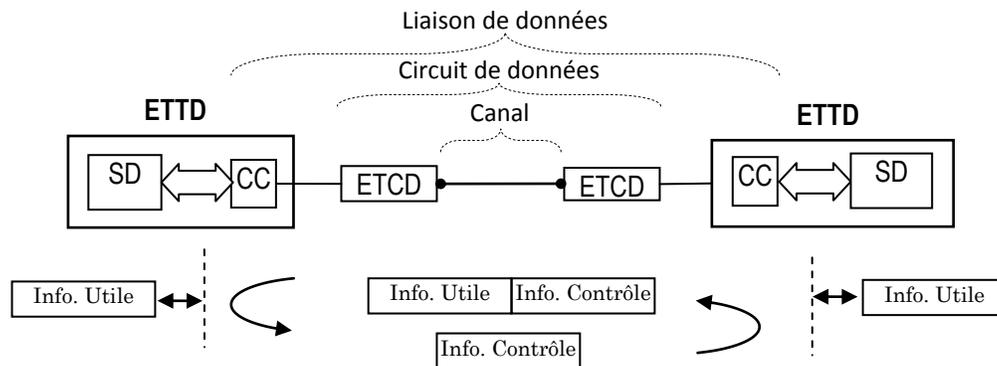


Figure 4.9. Éléments de liaison de données et types d'informations échangées.

A. Type de liaison

Les équipements communicants sont reliés physiquement selon plusieurs types de liaisons :

- **Liaison semi-duplex point à point** : liaison semi-duplex directe entre deux équipements communicants. Dans cette liaison, les deux équipements ne doivent pas se communiquer simultanément pour que leurs trames ne soient pas corrompues.
- **Liaison duplex point à point** : liaison duplex directe entre deux équipements communicants. Normalement, dans cette liaison, il n'y aura pas de problème dû à l'exploitation de la liaison.
- **Liaison multipoints** : liaison (semi-duplex ou duplex) reliant à la fois plusieurs équipements communicants. On trouve ce type de liaison dans les réseaux de topologies en bus, en étoile (avec l'utilisation de hub), topologie en anneau, ou dans les réseaux wifi. Dans ce type de liaison, la communication entre les équipements doit être gérée pour que les messages parviennent correctement à leurs bons destinataires.

B. Gestion de liaison

Outre que le contrôle d'erreur et le contrôle de flux, le contrôleur de communication s'occupe de la gestion de transmission :

- l'ouverture de la liaison
- la fermeture de la liaison
- contrôle de l'échange de trames.

Le contrôleur de communication fonctionne selon un protocole dit : protocole de liaison de données. Il y a actuellement beaucoup de protocoles de liaison de données, notamment : HDLC (High level Data Link Control), PPP (Point to Point Protocol), Ethernet / IEEE802.3, FDDI IEEE802.4, Token Ring IEEE802.5.

4.5. Gestion d'accès multiples aux supports de transmission

Dans le cas d'une liaison point-à-point les ETTDs échangent leurs trames dans des circuits séparés, il n'y a pas lieu de la notion de partage d'un seul circuit. Dans le cas des liaisons multipoints (comme généralement dans les réseaux locaux), les ETTDs partagent un support de transmission commun. Dans ce type de liaisons, les ETTDs doivent transmettre selon des méthodes bien déterminées. Chaque topologie de réseau physique implique une méthode particulière.

4.5.1. Méthode d'accès au support dans un réseau de topologie en bus

Pour que la communication soit correcte, dans un réseau de topologie en bus, une seule trame doit circuler sur le câble à un instant donné. L'envoi d'une trame par une station représente son accès au câble (bus).

L'interface réseau de chaque station est à l'écoute de la totalité des trames (contenant l'adresse de l'émetteur et du destinataire) qui circulent sur le câble. Si une trame lui est destinée (elle trouve sa propre adresse physique est égale à l'adresse destinataire de la trame), il la prend, la traite et la délivre à la couche supérieure.

Si une station désire envoyer une trame, elle regarde si le câble est libre. Si c'est le cas, elle envoie sa trame ; sinon elle attend que le câble soit libre.

Comme les stations sont libres dans leur communication, il y aura un problème de collision des trames émises simultanément (figure 4.10). Si c'est le cas, ces trames deviennent inexploitables, et les stations réémettront leurs trames ultérieurement.



Figure 4.10. Collision des trames

Pour éviter d'envoyer des trames simultanément (pour limiter maximum le risque de collision), la CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) est utilisée dans les réseaux Ethernet. CSMA/CD signifie « écoute porteuse, accès multiple avec détection de collision »

Le principe de cette méthode est le suivant :

- Accès multiple : toutes les stations ont une liberté totale d'accès.
- Écoute porteuse : écouter (avant et pendant la transmission) si aucune trame ne transite sur le réseau.
- Détection de collision : s'il y a d'autre station envoie une trame en même temps (collision). Elle se fait en comparant les données émises avec celles en transit sur le câble.
- S'il y a une collision, attendre pendant un temps aléatoire et Relance le processus.

La méthode d'accès CSMA/CD est implémentée dans l'interface réseau (au niveau de la couche MAC qui appartient à la couche liaison de données).

4.5.2. Méthode d'accès au support dans un réseau de topologie en anneau

Dans un réseau de topologie en anneau, les stations communiquent chacun à leur tour, chacun d'entre eux va "avoir le droit de communication" successivement. La sélection de la station qui peut émettre sa trame repose sur un mécanisme de jeton (Token) circulant sur l'anneau.

Si elle n'a pas de trame d'information à envoyer ou si elle n'a pas le droit pour émettre, une station de l'anneau se comporte comme un répéteur renvoyant les trames qui ne la concernent pas vers la station voisine selon le sens de rotation de l'anneau.

Lorsque le destinataire reçoit le message, le réémet sur l'anneau après avoir gardé une copie pour lui-même. Lorsqu'une station se reconnaît comme l'origine du message, arrête sa propagation (retire le message) et transmet le jeton à son successeur

Pour gérer l'accès au support de manière équitable, chaque station ne peut émettre que pendant une durée déterminée (10 ms par exemple).

4.6. Mesures de performance : taux d'occupation et débit effective

Les supports de transmission, la capacité limitée des équipements le partage des supports communs peuvent constituer une source des erreurs de transmission. Le traitement de ce problème implique l'utilisation d'un protocole qui permet aux ETTDs de gérer et contrôler leurs communication ce qui implique par conséquent :

- l'échange des données redondantes, comme le bloque de contrôle, et les trames de contrôle (acquiescement, gestion de la liaison, contrôle de flux, etc.).
- l'arrêt de transmission de temps en temps, pour par exemple éviter la saturation, ou en attendant d'un acquiescement.
- la retransmission des trames.

Tout cela a un impact sur le temps de transmission des informations utiles et par conséquent, sur ce qu'on appelle début utile.

A. Débit effective (ou utile) et débit nominal

Le débit nominal ou tout simplement le débit est la vitesse de transmission ou la quantité d'information (utile ou redondante) pouvant être transmise par unité de temps.

Par définition, le débit utile est le débit des données utiles. Il correspond aux données utiles transmises divisées par le temps de transmission global. Donc c'est la moyenne de la quantité d'information effectivement transmise par unité de temps.

B. Taux d'occupation de la voie de transmission

Le taux d'occupation ou de l'utilisation de la voie de transmission est le rapport du débit utile au débit nominal :

$$\text{Taux d'utilisation(occupation)} = \frac{\text{débit utile}}{\text{débit nominal}}$$

4.7. Exercices

Exercice 1

On désire transmettre un message composé de deux caractères codés en 7 bits : $c_1=1001011$, $c_2=1011011$. Sachant que la technique de contrôle d'erreurs est celle basée sur la parité (paire) transversale.

- 1) Donnez la série de bits réellement transmise sur le support physique,
- 2) Même question en utilisant la technique basée sur la parité (paire) transversale et longitudinale.

Exercice 2

Soit la séquence de bits suivante : 1101010. Le mécanisme de détection des erreurs est basé sur le code générateur. Le polynôme générateur est $G(x) = x^4 + x$

- 1) calculez le bloc de contrôle d'erreurs correspondant.
- 2) Expliquer comment le récepteur puisse détecter la présence des erreurs.
- 3) supposant que le récepteur reçoit la séquence (information + contrôle) 11010100101. Dits si cette séquence contient des erreurs ou non, Justifier.

Exercice 3

Soit un réseau composé de deux ETTD A, B reliés directement par une liaison point-à-point. Sachant que

- Le temps de propagation est t_p
- Le temps de traitement d'une trame d'information et d'un acquittement est t_t
- le débit (nominatif) de transmission est D
- la taille des trames d'information est N_{inf} et celle d'acquittement est N_{acq}

- 1) Estimer, en fonction de t_p , t_t , D , N_{inf} , N_{acq} , le délai de garde D_g d'une trame.
- 2) Admettant que les trames sont émises correctement, exprimer le débit effectif (utile) en fonction de t_p , t_t , D , N_{inf} , N_{acq} dans le cas de transmission avec arrêt et attente et de transmission continue (avec une fenêtre = 3).
- 3) Admettant que la transmission d'une trame d'information correcte implique la transmission de deux copies de cette trame (une première erronée et une deuxième correcte) et les trames d'acquittement se transmettent toujours correctement, exprimer le débit effectif (utile) en fonction de t_{p1} , t_{p2} , t_t , D , N_{inf} et N_{acq} dans le cas de transmission avec arrêt et attente.

Chapitre 5

Couche Réseau

5.1. Introduction

La couche liaison de données assure de faire transiter, d'une manière fiable, une information numérique d'une extrémité d'un support à l'autre extrémité. Dans un réseau où les liaisons entre les équipements communicants ne sont pas directes (le cas où il y a des routeurs), l'utilisation d'autres fonctionnalités de la couche réseau devient essentielle.

La couche réseau fournit les moyens (équipements et services) nécessaires pour l'interconnexion des réseaux (dans un seul réseau) et pour l'acheminement (routage) efficace des messages (qui s'appelle dans ce niveau paquets) vers le bon destinataire (éventuellement via un ou plusieurs relais ou équipements intermédiaires) final. On appelle l'acheminement des paquets : Routage de paquets.

Pour faire le routage, cette couche permet de chercher les meilleurs (selon certains critères) chemins parmi ceux qui existent.

Les standards de cette couche spécifient

- les types et les structures des adresses et des paquets
- les mécanismes d'acheminement des paquets
- les mécanismes de contrôle de congestion de réseaux

Dans ce chapitre nous abordons les standards proposés dans le cadre de l'architecture TCP/IP. Dans cette architecture la couche correspondant à la couche réseau dans le modèle OSI s'appelle Internet.

5.2. Interconnexion des réseaux et routage

La complexité de l'opération d'acheminement des paquets dépend de la complexité du réseau lui-même de la façon dont ces éléments sont physiquement et logiquement interconnectés. Un réseau est composé d'un ensemble de terminaux communicants reliés entre eux par des supports et d'autres équipements d'interconnexion. Un réseau peut être obtenu en faisant relier plusieurs sous-réseaux.

5.2.1. Équipements d'interconnexion

Selon le niveau où se réalise l'interconnexion, on distingue quatre types d'éléments d'interconnexion ([figure 5.1](#))

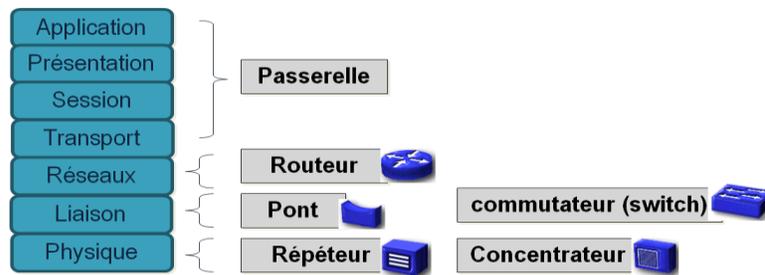


Figure 5.1. Équipements d'interconnexion arrangés par couche.

Ces équipements sont utilisés pour relier des stations ou des sous-réseaux dans un réseau.

- **Commutateur (classique), Répéteur et concentrateur** : Agissent sur la couche physique. Ils permettent d'assurer un circuit physique entre Stations et Réseaux
- **Pont (en anglais, Bridge) et Commutateur (Switch)** : Agissent sur la couche liaison. Ils permettent d'assurer une commutation des trames entre équipement et réseaux (de la même technologie) *selon les adresses MAC* (Media Access Control). Ces équipements utilisent des tables de commutation.
- **Routeur** : Agit sur la couche réseau. Il permet d'interconnecter des réseaux de même ou différentes technologies. Il permet d'assurer un acheminement (routage) des paquets entre équipement et réseaux selon les *adresses logiques*. Le routeur utilise des tables de routage et des mécanismes de routage généralement compliqués.

Dans ce chapitre réservé à la couche réseau, nous nous intéressons aux routeurs. Ceux-ci, représentent des équipements actifs interconnectent physiquement et logiquement des sous (fragments des) réseaux.

5.2.2. Réseau physique et logique

Le pont, le Switch, le concentrateur (hub), le répéteur, ... sont des équipements permettant de connecter physiquement des machines dans un réseau dit physique, en mettant en place des circuits ou des liaisons (point-à-point ou multipoints) de données partagés entre ces machines. Pour acheminer des trames l'émetteur doit connaître l'adresse Mac du destinataire !

Dans un réseau vaste (comme celui d'Internet) contenant des milliers (voire des millions) de machines, l'acheminement basé sur l'adresse Mac de destinataire final devient inappropriés, voire non pratique :

- l'adresse Mac ne permet pas de regrouper des machines dans un réseau identifiable. Les adresses Mac sont affectées par le constructeur et ne dépendent pas de la structure de réseaux.
- L'adresse Mac ne peut pas être changée et elle ne permet pas de localiser l'équipement dans le réseau.

- Pratiquement, les équipements servant de l'acheminement (Switch, pont, commutateur) ne peuvent conserver les adresses Mac de toutes les machines communicantes. En outre ils ne peuvent pas effectuer, d'une manière efficace, l'acheminement.

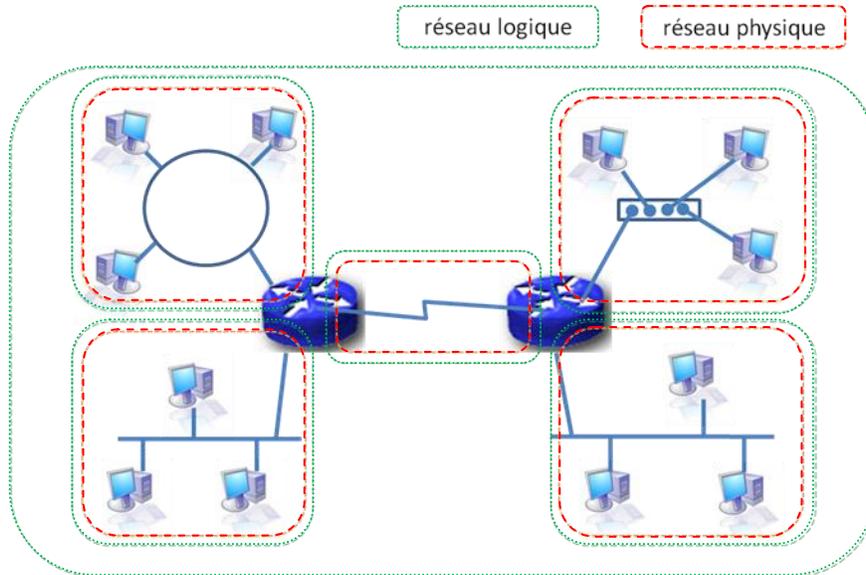


Figure 5.2. Réseaux logiques et physiques

Pour faire face à ces problèmes, une solution consistant à utiliser des adresses de niveau supérieur, comme celles des adresses logiques IP. Avec l'introduction de la couche réseau, on obtient un réseau logique (réseau IP) au-dessus d'un ou des *réseaux physiques* réels auxquels sont effectivement connectés les ordinateurs (figure 5.2). De cette manière un vaste réseau est découpé en des sous-réseaux ou des segments des réseaux en utilisant des routeurs qui agissent comme des passerelles entre les différents sous-réseaux.

Pour rendre l'acheminement efficace les adresses IP sont conçues pour être Hiérarchiques, elles identifient les machines et ainsi que le réseau auquel appartient ces machines.

5.2.3. Principe de routage

La figure 5.3 illustre un réseau composé de 4 machines, M1, M2, M3, M4, regroupées en deux sous-réseaux reliés par un routeur.

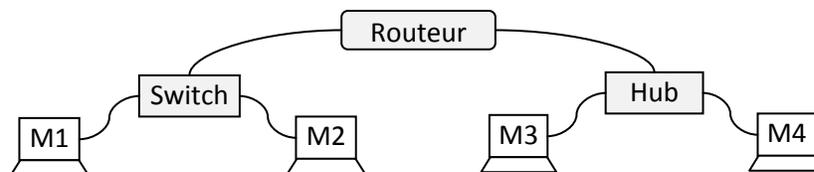


Figure 5.3. Interconnexion de deux réseaux physiques

On distingue deux cas :

Cas 1 : la machine source et destinataire se trouvent sur le même réseau physique : Dans ce cas, la machine source envoie la trame (respectivement le paquet) à l'adresse Mac (respectivement l'adresse IP) de la machine destinataire

Si on suppose que la machine M1 va transmettre un message à la machine M2.

- l'adresse IP source et destinataire du paquet à émettre à M2 sont respectivement celle de M1 et celle de M2.
- l'adresse Mac source et destinataire de la trame encapsulant ce paquet sont respectivement celle de M1 et celle de M2.

Dans ce cas le comportement du routeur n'a aucun effet sur l'acheminement car les deux stations source et destinataire se trouvent sur le même réseau physique (même fragment).

Cas 2 : la machine source et destinataire se trouvent sur des sous réseaux différents (interconnectés par un ou plusieurs routeurs) : Dans ce cas, la station source envoie la trame (respectivement le paquet) à l'adresse Mac (respectivement l'adresse IP) du routeur (respectivement de la station destinataire)

Si on suppose que la machine M1 va transmettre un message à la machine M3.

- l'adresse IP source et destinataire du paquet à émettre à M3 sont respectivement celle de M1 et celle de M3.
- l'adresse Mac source et destinataire de la trame encapsulant ce paquet sont respectivement celle de M1 et celle de Routeur.

Dans ce cas le routeur se comporte comme passerelle entre le sous-réseau contenant M1 et celui contenant M3. Comme l'acheminement s'effectue sur la couche réseau (ou Internet) la couche liaison du routeur doit avoir le droit de recevoir la trame à acheminer. Une raison pour laquelle l'adresse Mac destinataire doit être celle du Routeur.

5.3. Protocoles utilisés dans la couche Internet

Les fonctionnalités de la couche Internet sont assurées en se basant sur :

- Un adressage IP (Internet Protocol)
- un protocole principal s'appelle Protocole Internet
- des protocoles complémentaires comme ceux de résolution dynamique d'adresses (ARP pour *Address Resolution Protocol*), de résolution inverse d'adresses (RARP pour *Reverse Address Resolution Protocol*) et ICMP (pour *Internet Control Message Protocol*)

5.3.1. Protocole Internet (IP)

C'est le protocole principal de la couche Internet (d'où vient son nom). Il permet d'assurer un routage sans confirmation des paquets. Il est exécuté sur les machines hôtes et ainsi que sur les routeurs.

Ce protocole échange des paquets ayant la structure suivante :

- **version** - la version de protocole IP utilisée (4 bits)
- **HLEN (header length)** - indique la longueur de l'en-tête du datagramme en mots de 32 bits (4 bits)
- **longueur totale** - précise la longueur du paquet IP en entier, y compris les données et l'en-tête, en octets (16 bits)
- **identification** - contient un nombre entier qui identifie le datagramme actuel (16 bits)
- **protocole** - précise le protocole de couche supérieure qui recevra les paquets entrants après la fin du traitement IP (8 bits)
- **adresse source** - précise le nœud émetteur (32 bits)
- **adresse de destination** - précise le nœud récepteur (32 bits)
- **données** - contient de l'information (longueur variable, maximum 64 Ko)
- ...

5.3.2. Protocoles complémentaires

Le protocole IP fonctionne conjointement avec d'autres protocoles complémentaires se servant à lui fournir des services particuliers.

A. Protocole de résolution dynamique d'adresses (ARP) : Ce protocole détermine l'adresse Mac d'une machine ayant une adresse IP connue. Si la machine destinataire ne se trouve pas sur le même sous-réseau, et elle n'a pas l'adresse MAC de la passerelle par défaut (routeur) dans sa table de correspondance, elle envoie une requête ARP. Le routeur l'intercepte et répond à cette requête par renvoi de son adresse MAC (figure 5.4).

Remarque : Les tables ARP des routeurs contiennent les correspondances de tous les réseaux qui leur sont directement connectés.

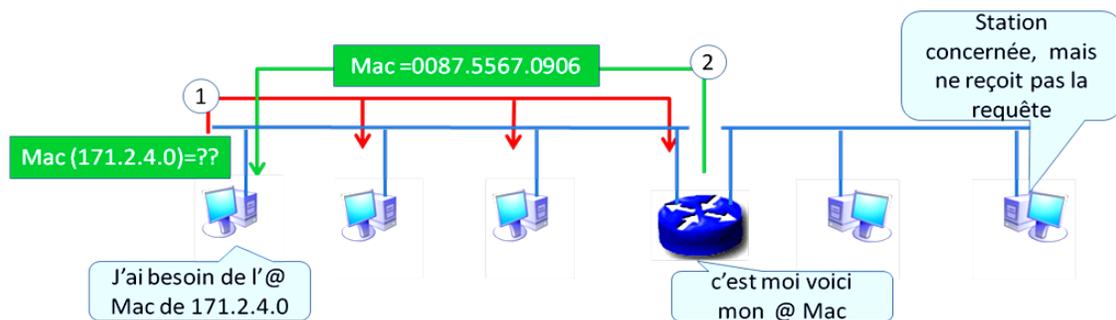


Figure 5.4. Exécution du protocole ARP

B. Protocole de résolution inverse d'adresses (RARP) : Ce protocole détermine les adresses IP lorsque les adresses Mac sont connues

C. **Protocole ICMP** : permet d'assurer des fonctions de contrôle. La commande *Ping* est exécutée à la base de ce protocole.

5.4. Adressage IP

Chaque station ou routeur du réseau doit avoir sa propre adresse. Dans la technologie TCP/IP, les adresses logiques s'appellent : *Adresse IP* (figure 5.5). Ces adresses sont composées de quatre octets séparés par des points.

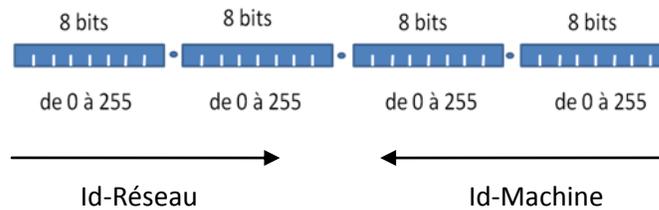


Figure 5.5. Adresse IP

Par exemple : 123.23.43.1

Les adresses IP sont dites hiérarchiques, elles sont composées de deux parties :

- une partie droite identifie la machine hôte. Elle :
 - doit être unique sur le réseau physique
 - ses bits ne peuvent pas valoir tous 1
 - ses bits ne peuvent pas valoir tous 0
- une autre gauche identifie le réseau auquel appartient la machine hôte. Pour pouvoir communiquer entre eux, les machines d'un même réseau physique doivent être associées au même ID de réseau. Celui-ci :
 - doit être unique dans le réseau logique
 - ses bits ne peuvent pas valoir tous 1
 - ses bits ne peuvent pas valoir tous 0

5.4.1. Classes d'adresses

Selon le nombre d'octet réservés pour la Station et Réseau on distingue plusieurs *Classes d'adresse IP*:

- **Classe A** : un octet est réservé à l'ID réseau et trois octets pour l'ID machine
- **Classe B** : deux octets est réservé à l'ID réseau et deux octets pour l'ID machine
- **Classe C** : trois octets est réservé à l'ID réseau et un octet pour l'ID machine

La distinction entre ces trois classes est basée sur les valeurs des trois premiers bits. La [figure 5.6](#) montre la différence entre ces trois classes et indique les adresses réservées par classe.

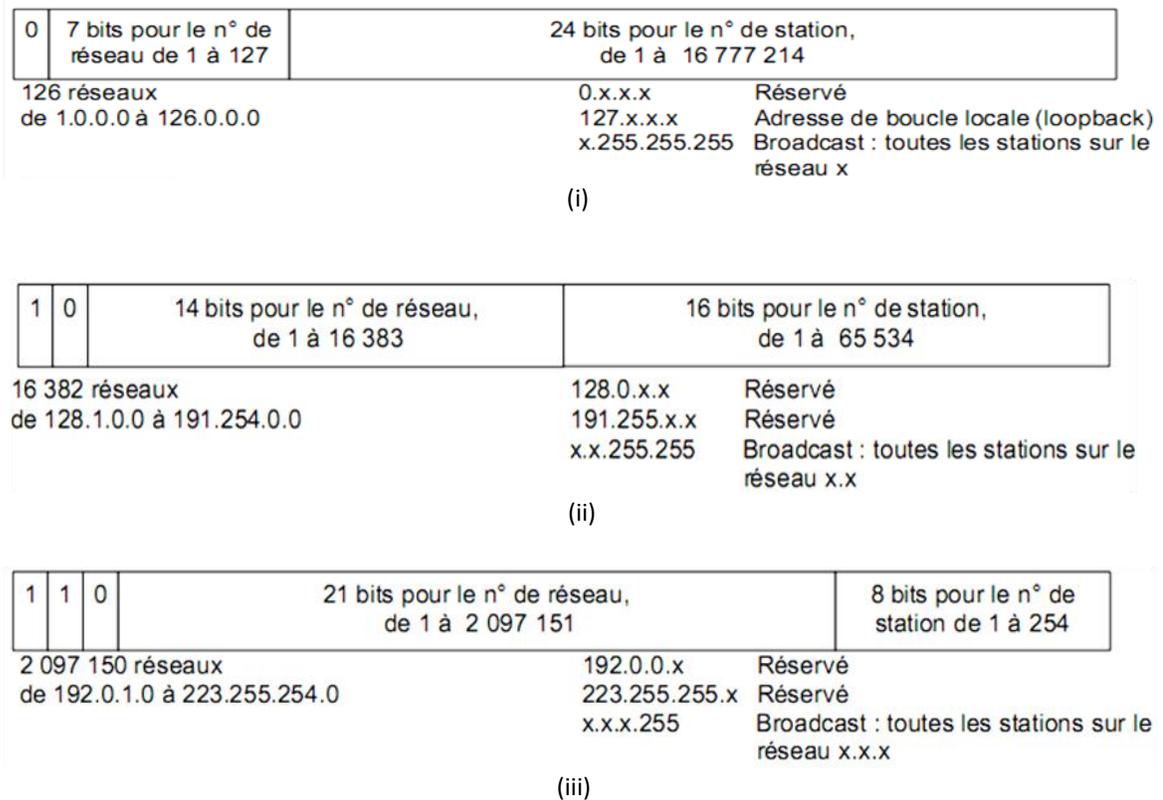


Figure 5.6. Classes d'adressage IP. (i) classe A (ii) classe B (iii) classe C

5.4.2. Adresses spéciales

- *Adresse de boucle locale (local host) : 27.x.x.x*
Est une adresse réservée à des fonctions de diagnostic, utilisée lors de test de la station ou de programmes applicatifs. Tout paquet à destination de cette adresse n'est jamais émis sur le réseau (figure 5.7).

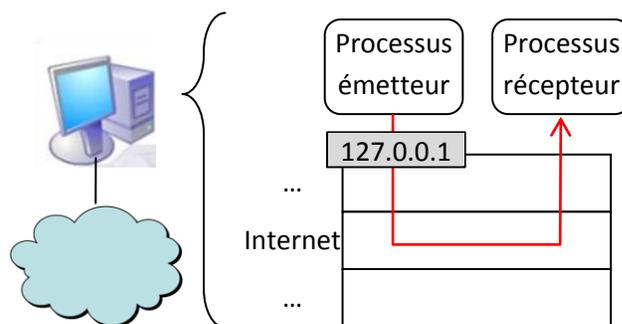


Figure 5.7. Boucle locale

- **Adresse de diffusion générale ou limitée : 255.255.255.255**
 Cette adresse désigne toutes les stations sur le réseau de l'émetteur du paquet (broadcasta IP). Le paquet portant cet adresse (comme adresse de destination) sera envoyé à toutes (et exactement) les stations du même segment (ou sous réseau) où il ya l'émetteur.
- **Adresse de diffusion dirigée : <id-réseau><11...11>**
 Cette adresse désigne toutes les stations sur le réseau ayant l'adresse <id-réseau><00...00>. Le paquet portant cet adresse (comme adresse de destination) sera envoyé à toutes (et exactement) les stations de ce réseau, l'émetteur peut appartenir à un autre réseau (figure 5.8).

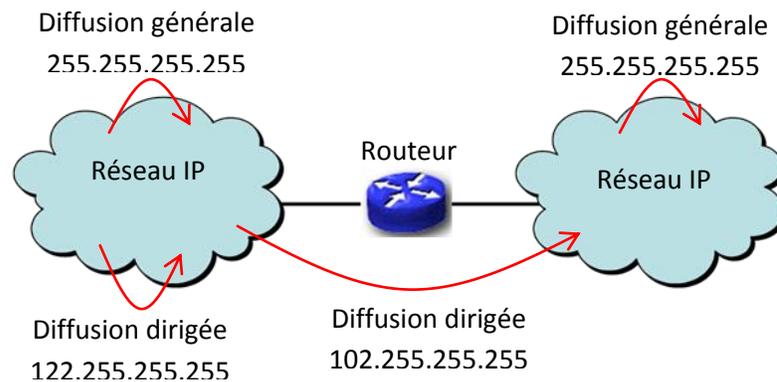


Figure 5.8. Diffusion générale et dirigée

5.4.3. Choix d'une classe

Le choix d'une classe d'adresse IP pour un réseau dépend du nombre de machines présentes sur ce réseau.

- Si ce nombre ne dépasse pas 254, on choisit la classe C,
- Si ce nombre dépasse 254, on choisit la classe B.

Généralement, pour un réseau privé la classe B est la plus utile, car elle offre 65 534 adresses de machines, un nombre largement suffisant. La classe A présente un handicap pour le cas des grands réseaux, car elle ne permet d'adresser qu'un nombre limitée (à 126) des réseaux IP.

5.4.4. Masque réseau ou masque sous-réseau

Pour identifier la partie Réseau et la partie station dans une adresse IP, on utilise ce qu'on appelle Masque réseau (ou masque sous réseau).

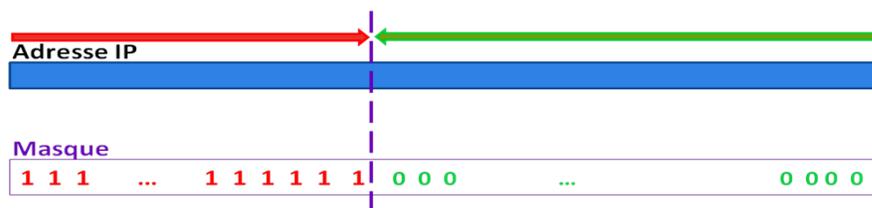


Figure 5.9. Structure du masque sous-réseau

Les bits à un (1) du masque correspondent à la partie réseau et les bits à zéro (0) correspondent à la partie station (ou hôte) (figure 5.9). Le masque est indiqué chaque fois qu'on indique une adresse déterminée.

Dans le cas où les adresses sont déterminées selon une classe des trois classes A, B et C, le masque est dit "masque par défaut". Le tableau 5.1 suivant indique donc le masque pour chacune des classes:

Classe	Masque par défaut
Classe A	255.0.0.0
Classe B	255. 255.0.0
Classe C	255. 255. 255.0

Tableau 5.1. Le masque sous-réseau par défaut pour chaque classe

Le masque associé à une adresse ne sera pas toujours par défaut. Il s'agit des cas où la partie ID-réseau est étendue pour occuper d'autres bits de la partie ID-machine. Dans ce cas le masque doit indiquer ces bits supplémentaires dans la partie ID-réseau; il ne reste pas "par-défaut".

5.5. Sous réseaux

À l'intérieur d'un réseau on peut créer des sous réseaux. Pour cela, on peut prendre une partie (quelques bits) de l'id machine pour identifier ces sous-réseaux. Par exemple, on peut étendre la partie correspondant à l'ID réseau en empruntant un octet de la partie correspondant à l'ID machine (figure 5.10). Cette extension doit être indiquée au niveau du masque par défaut en étendant la partie contenant les bits à 1.

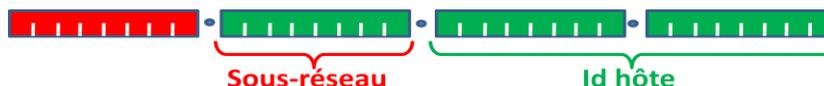


Figure 5.10. Extension de l'ID réseau pour identifier les sous-réseaux

La création des sous réseaux permet de :

- Bien structurer le réseau global
- Améliorer les performances du réseau (limiter l'effet de la diffusion et de la collision)

Le tableau 5.2 suivant montre le nombre de bits de l'id machine qu'on peut prendre pour étendre l'ID réseau pour identifier les sous réseaux.

Classe	Masque par défaut	Nombre de bits affectés à ID-Réseau	Extension possible : nombre de bits à ajouter à ID-Réseau
A	255.0.0.0	8	+ 1 à + 22 bits
B	255. 255.0.0	16	+ 1 à + 14 bits
C	255. 255. 255.0	24	+ 1 à + 6 bits

Tableau 5.2. Nombre de bits de l'id machine qu'on peut prendre pour étendre l'ID réseau

Dans tous les cas, la partie id-machine de l'adresse doit comporter au moins 2 bits afin que cette dernière soit valide.

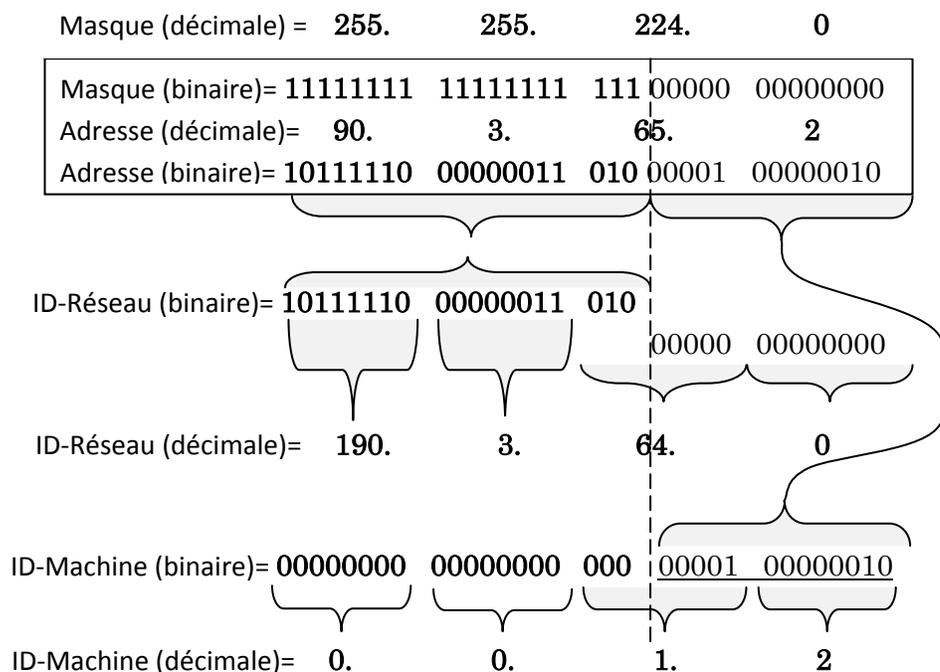
	ID-Machine	Conclusion
1 bit	1 = broadcast 0 = ce réseau	Interdit. Il ne reste aucun bit pour désigner un sous-réseau ou une station.
2 bits	11 = broadcast 00 = ce réseau 01 = station n° 1 10 = station n° 2	OK. 2 est le nombre minimal de bits devant être réservés aux sous-réseaux et stations.

Tableau 5.3. Nombre minimum de bits qu'on doit laisser à l'id machine

Pour pouvoir distinguer entre la partie qui identifie le sous réseau et celle qui identifie la machine dans une adresse on utilise toujours le masque sous réseau. Ce masque doit prendre en compte les bits supplémentaires utilisés pour identifier les sous réseaux.

La notation décimale (octet par octet) est rendue difficile lorsque le sous-réseau ne porte pas sur un multiple de 8 bits.

Exemple : Soit une adresse IP et son masque sous réseau, codés en binaire comme suite :



5.6. Adressage privé et public

Un adressage privé est un adressage où les adresses affectées aux machines doivent être complètement séparées de celles de l'Internet.

Contrairement à l'adressage privé, l'adressage public implique l'obtention des adresses des "organismes de régulation de l'Internet". L'obtention de ces adresses nécessite une justification de leur usage auprès des ces organismes.

Le choix entre un adressage privé et public n'a aucune importance que dans le cas où le réseau est interconnecté à un internet. Le problème qui se pose dans ce cas est celui de conflit des adresses internes avec et celles de l'Internet.

Les adresses privées par classe sont résumés dans le [tableau 5.4](#) suivant :

Classe	Espace d'adressage
Classe A	1 réseau : 10.0.0.0
Classe B	16 réseaux : de 172.16.0.0 à 172.31.0.0
Classe C	256 réseaux : de 192.168.0.0 à 192.168.255.0

Tableau 5.4. Adresses privées par classe

5.7. Exercices

Exercice 1

Soit un réseau R composé de quatre stations A, B, C et D.

- 1) Supposant que toutes les stations sont reliées avec un Switch, donner des adresses IP de classe A à tous ces équipements.
- 2) Supposant que R est décomposé en deux sous-réseaux (fragments) R1 et R2 reliés par **Switch** S1. R1 contient A et B reliées par un Switch S2 et R2 contient C et D reliés par un Switch S3.

Est-ce que les adresses proposées dans 1) restent valides.

- 3) Supposant que R est décomposé en deux sous-réseaux (fragments) R1 et R2 reliés par **Routeur** S1. R1 contient A et B reliées par un Switch S2 et R2 contient C et D reliés par un Switch S3.

Est-ce que les adresses proposées dans 1) restent valides. Si non proposer un plan d'adressage valide pour tous les équipements du réseau en choisissant

- a) une classe différente pour R1 et R2
- b) une seule classe pour R1 et R2, mais les deux doivent avoir des identifications différentes.

Exercice 2

Soit un réseau composé de deux réseaux locaux R1, composé des stations A, B, C et D, et R2, composé de stations E, F, G. Les réseaux R1 et R2 sont interconnectés par un routeur.

Sachant que le réseau global a un seul identifiant (selon la classe A), Proposer un plan d'adressage IP pour toutes les stations du réseau. Expliquer brièvement.

Exercice 3

Soit une université composée de trois (03) départements. L'administrateur réseau souhaite réaliser un réseau pour l'université (RU). RU doit être segmenté en sous réseaux (un sous réseau par département) en utilisant un ou plusieurs routeurs.

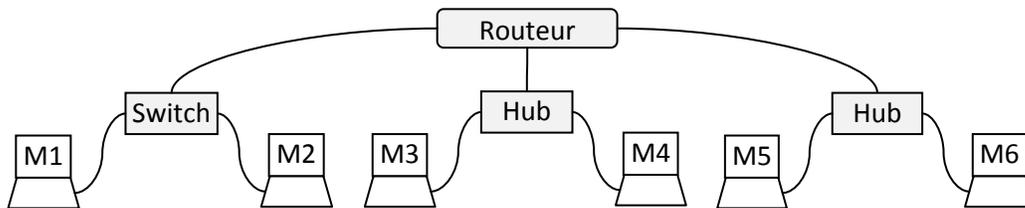
- 1) Illustrer par un schéma l'interconnexion de ces réseaux ?
- 2) proposer un plan d'adressage IP (et les masques sous-réseaux) pour toutes les sous réseaux et les interfaces des routeurs.

On suppose que RU possède une adresse globale 190.242.0.0 (avec un masque par défaut), et fait parti d'un réseau national des universités (RNU).

- 3) Si le nombre de départements de cette université ne va pas évoluer,
 - a) proposer un plan d'adressage de manière à pouvoir interconnecter un nombre maximum des machines dans chaque département.
 - b) donner l'adresse de diffusion d'un sous réseau d'un département
 - c) donner l'adresse de diffusion du réseau de l'université
- 4) Si l'université peut s'évoluer tel que le nombre de département peut atteindre 30 départements. Combien de machines chaque département peut-il comporter ? Justifier.

Exercice 4

La figure ci-dessous illustre un réseau composé de 6 machines, M1, M2, M3, M4, M5 et M6.



- 1) Donnez des adresses IP (et les masques y associés), de la classe B, pour toutes les machines et équipements nécessitant une adresse IP.
- 2) Supposant que la machine M2 va transmettre un message à la machine M5. Indiquer :
 - l'adresse Mac source et destinataire de la trame à recevoir par M5
 - l'adresse IP source et destinataire du paquet à recevoir par M5
 - l'adresse Mac source et destinataire de la trame à émettre par M2
 - l'adresse IP source et destinataire du paquet à émettre par M2
- 3) Si la couche liaison coté M5 reçoit une trame erronée, quel est l'équipement qui va effectuer la retransmission. Expliquez.
- 4) Donner la table de commutation du Switch (supposé à 4 ports) après le scénario de transmission suivant : M1 envoie une trame à M2 puis M3 envoie une trame à M2 puis M5 envoie une trame à M3.

Chapitre 6

Couche Transport

6.1. Introduction

La couche réseau fournit les moyens (équipements et services) nécessaires pour l'interconnexion des réseaux (dans un seul réseau) et pour l'acheminement (routage) efficace des paquets entre les machines communicantes. Elle encapsule les détails de connexions physiques entre machines.

La couche transport permet, cependant, d'assurer une communication directe, sans erreurs et sans saturation entre des applications communicantes (processus) en offrant des voix logiques à travers des connexions physiques sur le réseau. Elle permet ainsi de partager des connexions réseaux entre plusieurs applications s'exécutant sur la même machine. Autre que ces fonctionnalités de base, la couche transport procède à la segmentation des données en paquets (lors de l'émission) et le réassemblage des paquets à la réception.

Contrairement aux couches inférieures, la couche transport est dite de bout-en-bout car elle n'est présente que dans les extrémités, c.-à-d., sur les machines hôtes seulement.

Dans ce chapitre on présente la couche transport telle quelle est proposée par l'architecture TCP/IP.

6.2. Défauts issues de la couche réseau

La couche internet permet d'acheminer les paquets, qui s'appellent aussi, Datagrammes, selon un mode dit sans connexion et sans confirmation. Les routeurs n'ont pas à acquitter les paquets lors du routage. Si ceci est justifié pour des raisons relatives à l'accélération de routage, il peut poser de problème de perte des paquets ce qui implique l'utilisation de technique de recouvrement sur un niveau supérieur.

Un deuxième problème qui n'est pas peut être bien traité par la couche réseau est celui de saturation du récepteur. Si le problème de congestion (saturation) du réseau (surtout les routeurs) est bien traité par les routeurs eux-mêmes durant le routage, le problème de saturation des machines hôtes peut toujours être posé.

6.3. Multiplexage

Sur la même machine plusieurs programmes communicants peuvent être exécutés et peuvent utiliser simultanément la même connexion IP. La couche transport ajoute un mécanisme qui permet l'identification du processus (applications) afin d'éviter tout genre de confusion entre eux. Elle utilise

pour cette identification des numéros dits de port. Ceux-ci sont considérés comme des numéros de canaux virtuels à affecter aux différents processus (application) communicants. Donc au lieu d'identifier un processus pendant l'émission ou réception, la couche transport utilise les numéros qui leurs sont affectés.

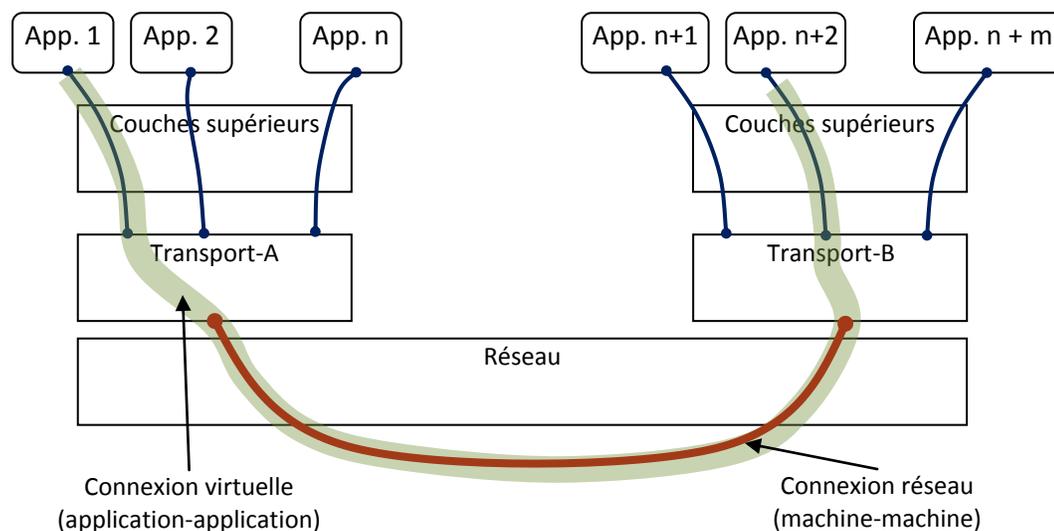


Figure 6.1. Multiplexage de connexion réseau

Donc, les paquets venant de la couche réseau sont dispatchés aux différentes applications en fonction des numéros de port inclus dans l'en-tête des segments (figure 6.1). Cette opération est considérée comme une opération de démultiplexage. Dans une opération inverse, les messages en provenance des différentes applications locales sont transmis à la couche réseau (vers le protocole IP par exemple). Cette opération est considérée comme une opération de multiplexage. Donc une seule connexion réseau (voie IP par exemple) est partagée, autrement-dit multiplexée, entre plusieurs applications.

Les ports sont identifiés par un entier positif codé sur deux octets. Leur affectation aux applications est gérée par le système d'exploitation. Dans la plupart des implémentations, pour chaque port affecté, une file d'attente est créée pour recevoir les messages venant du réseau et à destination de ce port.

L'affectation de ces numéros aux différentes applications peut être effectuée selon divers stratégies :

- des numéros sont réservés aux applications publiques. Il s'agit des numéros inférieurs à 255. Par exemple : le port 80 est réservé au protocole http, 21 à ftp, etc.
- Les numéros de 255 à 1023 sont attribués aux entreprises pour les applications à commercialiser.
- Les numéros supérieurs à 1023 ne sont pas attribués
- Etc.

6.4. Protocole de contrôle de Transmission (TCP)

TCP est acronyme de "Transmission control Protocol" ou protocole de contrôle de transmission. Il est un protocole qui permet à une application d'une machine de communiquer avec une autre application d'une autre machine, d'une manière fiable (sans perte) et efficace (sans submerger le destinataire contrôle de congestion).

6.4.1. Structure des segments

La figure 6.2 suivante illustre la structure d'un segment TCP.

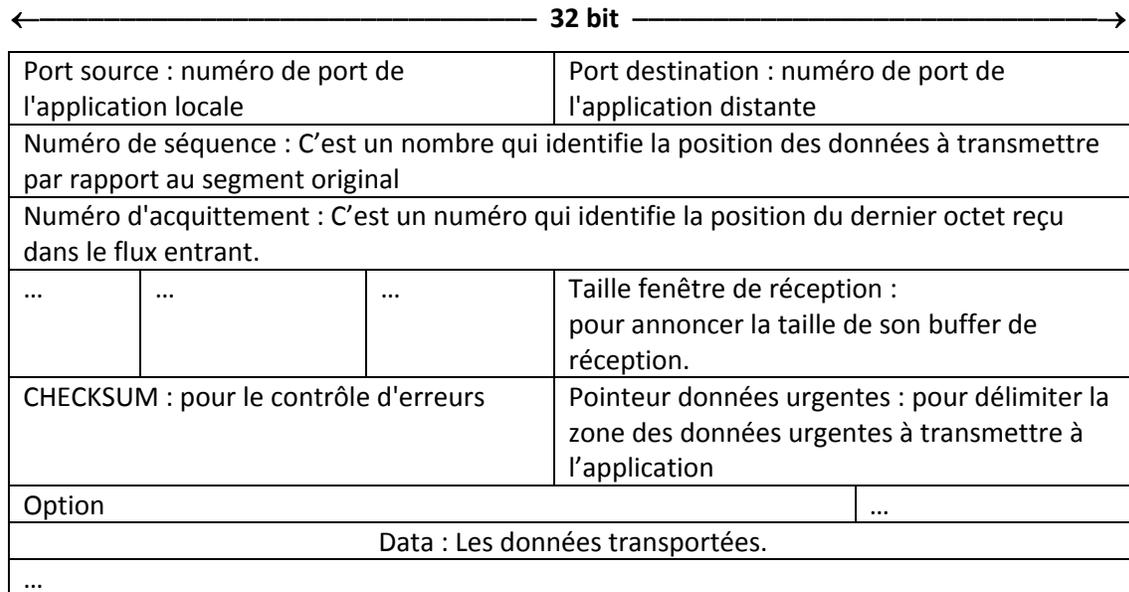


Figure 6.2. Structure d'un segment TCP

6.4.2. Gestion de connexion

A. Établissement de connexion :

L'établissement de connexion s'effectue selon les étapes suivantes (figure 6.3) :

Étape 1 : une extrémité (jouant le rôle de serveur) effectue une ouverture (connexion) passive en indiquant qu'elle est prête à accepter une connexion entrante.

Étape 2 : l'autre extrémité (jouant le rôle de client) effectue une ouverture active pour demander l'établissement de la connexion. Pour cela le client envoie un segment TCP SYN au serveur en spécifiant un numéro de séquence (SYN) initial.

Étape 3 : le serveur confirme l'acceptation de l'établissement de connexion. Il répond pour cela par un segment SYNACK (ACK de réception SYN) et alloue les buffers

Étape 4 : le client acquitte l'acquittement de serveur.

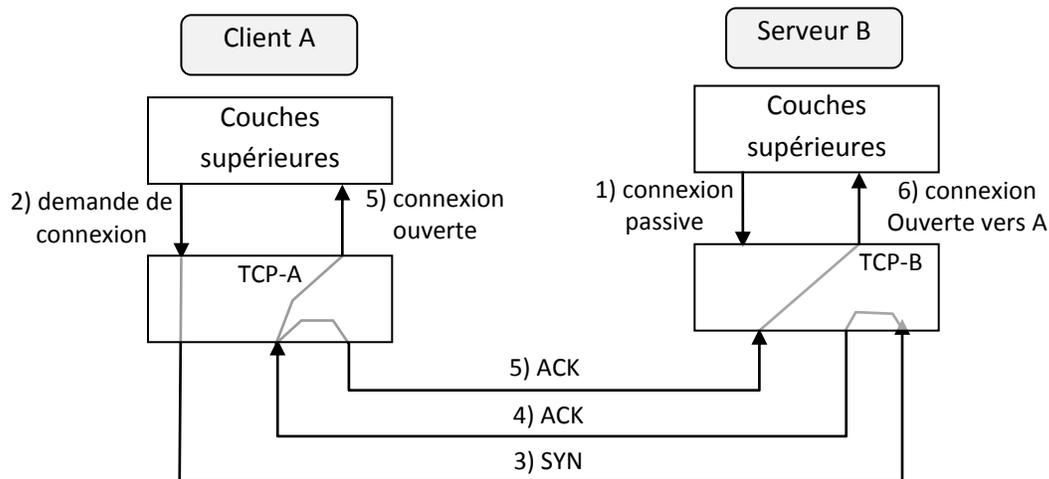


Figure 6.3. Scénario d'établissement de connexion

À la réussite d'établissement de connexion, la couche transport dans chaque extrémité met en correspondance une paire d'extrémités formant une connexion représentée par deux couples, chacune est représentée par une adresse IP et un numéro de port (ou se qui est appelée socket).

Le protocole TCP admet le partage d'une extrémité de connexion (celle qui accepte la connexion, serveur) par plusieurs autres extrémités de connexions.

B. Fermeture de connexion :

La fermeture de connexion peut être effectuée par l'un des deux extrémités. Celle qui désire fermer la connexion envoie un segment avec le drapeau FIN indiquant l'autre extrémité qu'elle n'enverra plus de donnée.

À la réception de cette demande de fermeture, la machine distante doit acquitter ce segment, mettant fin la communication.

6.4.3. Contrôle de transfert

La bonne transmission de segments des données est assurée par le mécanisme d'acquiescement. Le récepteur procède à l'émission d'un acquiescement après la réception des segments de données.

Le mécanisme utilisé pour gérer la perte des segments est similaire à celui utilisé dans la couche liaison de données. À chaque segment émis on associe un délai de garde (estimé selon une méthode particulière). Cependant, la retransmission est gérée par les deux nœuds d'extrémités.

Des techniques de transmission continuée, comme celle employées dans la couche liaison, sont aussi employées dans la couche transport.

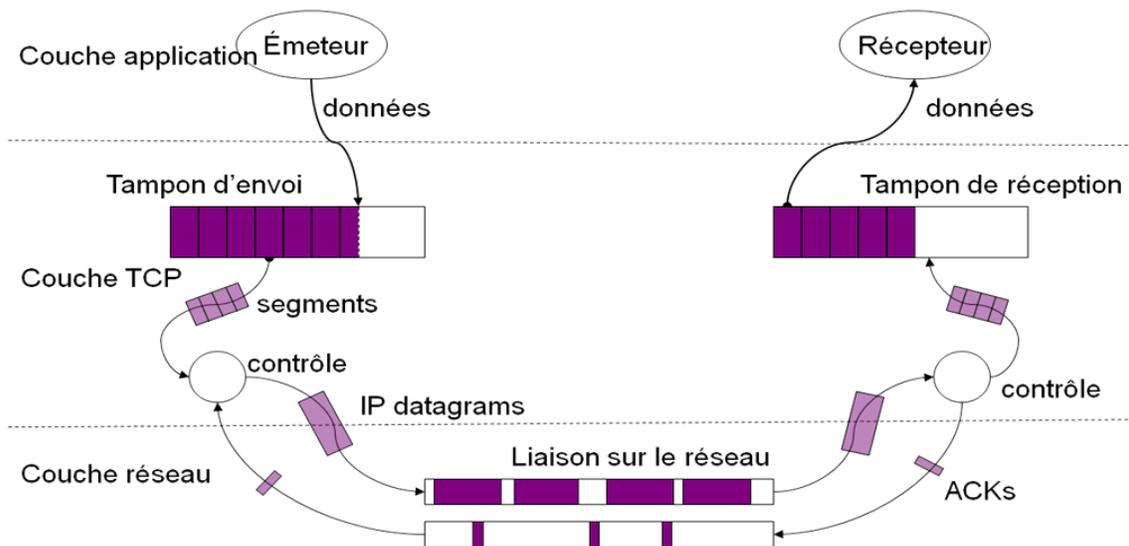


Figure 6.4. Contrôle de transfert

Le [tableau 6.1](#) ci-dessous résume réaction de TCP coté récepteur face aux différents événements relatifs aux messages reçus.

Événement	Action récepteur TCP
arrivée du segment attendu, pas de segment manquant, ou tout le reste à déjà été acquitté	ACK retardé. Attente jusqu'à 500ms du segment suivant. Le cas échéant, envoi ACK
arrivée du segment attendu, pas de segment manquant, ou un segment non encore acquitté	envoi immédiat d'un seul acquittement "cumulatif"
arrivée d'un segment avec un seq # plus grand que prévu, ou info manquante détectée	envoi du même ACK (dupliqué), même valeur du seq. # du prochain octet attendu
arrivée d'un segment qui comble toute ou partie d'une info manquante	ACK immédiat si le segment commence au début de la partie manquante

Tableau 6.1. Réaction de TCP coté récepteur face aux différents événements

6.4.4. Contrôle de flux ou de congestion

Le protocole TCP fournit une transmission de données en duplex intégral entre applications. Le contrôle de flux est donc nécessaire pour éviter le dépassement de la capacité de stockage à la réception. Pour cela l'état de transfert est suivi en permanence.

Le contrôle de flux est basé sur le principe suivant : *"L'émetteur ne doit pas submerger le destinataire en envoyant trop de données, trop vite"*

Pour cela, le récepteur informe explicitement l'émetteur de la taille disponible dans son buffer (changement dynamique) en utilisant le champ "Taille fenêtre de réception" (figure 6.1). L'émetteur de son coté garde les données non-acquittées et n'envoie qu'une quantité que le récepteur peut la conserver, soit : Taille_fenêtre_de_réception - Non_acquittées.

6.5. Protocole datagramme utilisateur (UDP)

UDP est l'acronyme de "User Datagram Protocol" ou Protocole datagramme utilisateur. UDP est un protocole simple assurant le transfert de données entre extrémités avec les caractéristiques suivantes:

- communication sans établissement de connexion.
- transfert de données non fiable : pas de technique d'acquiescement (sans confirmation) ou de garantie de livraison (sans retransmission).
- pas de contrôle de flux
- pas de contrôle de congestion

Le protocole UDP est conçu pour les applications qui n'ont pas à assembler des séquences de segments. Donc pas de segmentation ni d'assemblage. Chaque unité UDP est encapsulée dans un seul paquet IP.

UDP ne constitue qu'une simple interface au dessus de la couche réseau (IP), ainsi l'émission des messages se fait sans garantie de bon acheminement. Plus généralement, le protocole UDP ne masque pas les défauts de la couche réseau (IP).

6.5.1. Structure de l'unité UDP

Une unité UDP, qui s'appelle aussi paquet, ou datagramme, à la structure suivante (figure 6.5)

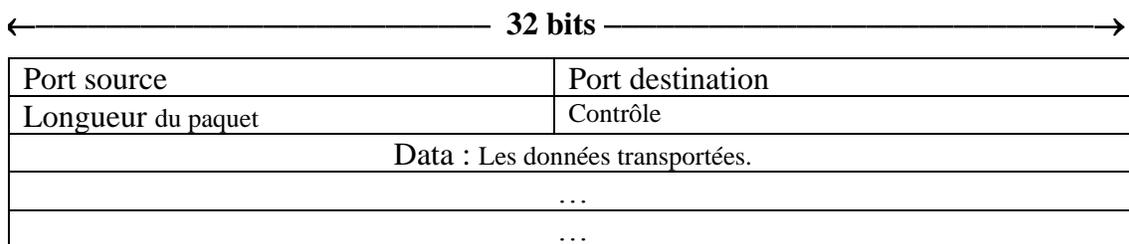


Figure 6.5. Structure d'une unité (segment, ou même paquet) UDP

- **Port source** : Le numéro de port de l'émetteur du paquet. Ce champ est optionnel, sa valeur zéro (0) indique qu'il est inutilisé, car le port 0 n'est pas celui d'un service valide. quand le port est spécifié, il indique le numéro de port que le destinataire doit employer pour sa réponse.
- **Port destination** : Le numéro de port du destinataire du paquet.
- **Longueur du paquet** : La longueur du paquet, comprenant l'en-tête et le message. La longueur minimale est 8 et la longueur maximale est 65 535
- **Contrôle (ou checksum)** : est optionnel et, généralement, inutilisable.

6.5.2. Problème issu du protocole UDP

Plus particulièrement, les paquets à destination d'une application UDP sont conservés dans une pile de type FIFO. Si l'application destinatrice ne les "consomme" pas assez rapidement, les plus anciens paquets risquent d'être écrasés par les plus récents. . . Un risque supplémentaire (par rapport aux propriétés d'IP déjà connues) de perte de données.

6.5.3. Utilisation du protocole UDP

Le protocole UDP ne peut pas convenir pour des programmes d'application transférant de grands volumes de données. Cependant est peut être jugé convenable pour d'autres types d'applications. On peut citer :

- Serveur du nom du domaine
- protocoles applicatifs comme tftp ou nfs.

6.6. Questions de révision

Question 1 :

Citez différentes raisons qui justifient l'introduction de la couche transport dans la pile des protocoles de communication TCP/IP.

Question 2 :

Indiquer les principales analogies et différences entre la couche transport et la couche liaison ?

Question 3 :

Un utilisateur d'une machine A se connecte à un serveur Web B en utilisant deux navigateurs différents. Supposons qu'il ne demande pas les mêmes objets sur ces deux navigateurs. Comment le serveur et le client font-ils pour faire parvenir les bons fichiers sur le bon navigateur ?

Question 4 :

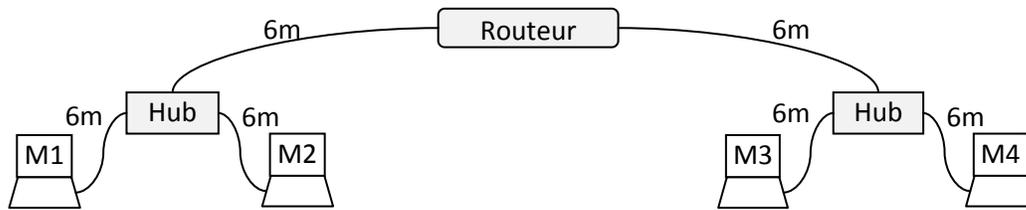
Quelle est l'utilité du champ window dans l'en-tête TCP ? Comment est calculée sa valeur ?

Question 5 :

Pourquoi dit-on que les acquittements TCP sont cumulatifs ?

Question 6 :

Soit le réseau de la figure suivante :



Supposons que la vitesse de propagation sur tous les segments des supports soit de 2.10^8 m/s. On néglige les temps de traitement. La station M1 veut émettre un message de 900 octets de données à la station C en utilisant UDP. On suppose que les données redondantes de niveaux 2,3 et 4 ajoutées à chaque paquet émis totalisent 44 octets. Les stations ainsi que le routeur peuvent émettre des paquets sur le réseau Ethernet à 10^7 bits/s.

Question 6.1

En supposant que la station D est la seule à émettre, et que le message n'est pas segmenté, quels sont les délais subis par le message ?

Question 6.2

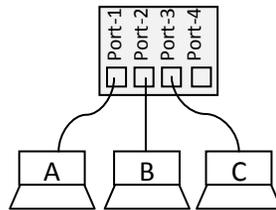
Que devient ce délai si le message est segmenté pour être envoyé dans 2 segments séparés ?

Prototype d'un examen final

Durée : 2 H 00

Questions (6 pts)

- 1) Soient 3 pc, A, B et C, reliés par un Switch (Ethernet) à 4 ports, selon une topologie en étoile. Donner la table de commutation de ce Switch après le scénario de transmission suivant : A envoie une trame à B puis B envoie une trame à C. (1,5 pts)



- 2) Quelle est la différence entre le Switch et le concentrateur (Hub) ? (1,5 pts)
- 3) Tracer le signal représentant la séquence 0110010 en utilisant le code Manchester (1 pt)
- 4) Tracer le signal modulé représentant la séquence 0110010 en utilisant la modulation de fréquence (1 pt)
- 5) Quelle est la rapidité de modulation nécessaire pour que le canal de transmission ait un débit binaire de 2400 bit/s, sachant que le signal transmis est de valence 4 ? (1 pt)

Exercice 1 (3 pts)

Donner les numéros des quatre dernières trames dans le tableau suivant représentant la communication de deux équipements A et B. On considère que :

- La transmission est continue (fenêtre = 3) et
- la retransmission est systématique
- le temps d'envoi d'une trame est 3 unités de temps

Temps	Transmission	Délai de garde
T = 0	A commence l'envoi de la trame T1	10
T = 3	A commence l'envoi de la trame T2	8
T = 6	A commence l'envoi de la trame T3	9
T = 8	A reçoit l'acquittement positif de T1	-
T = 9	A commence l'envoi de la trame T...	-
T = 12	A commence l'envoi de la trame T...	-
T = 15	A commence l'envoi de la trame T...	-
T = 18	A commence l'envoi de la trame T...	-

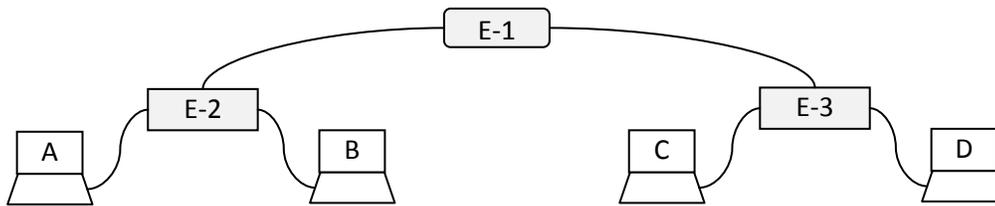
Exercice 1 - bis (3 pts)

Soit un modem fonctionne à 9600 bit/s sur une liaison full duplex, relié avec un support de transmission ayant une bande passante d'une largeur de 4800 Hz. Le modem utilise une modulation hybride, combinaison de modulation de phase (4 phases) et de d'amplitude (2 amplitudes).

- 1) Quelle est la valence du signal modulé ? (0,75 pt)
- 2) Quelle est la rapidité de modulation du modem ? (0,75 pt)
- 3) Supposant que le support est soumis à un bruit, quel est le rapport signal/bruit *minimum* permettant la transmission ? (1,5 pt)

Exercice 2 (5 pts)

Soit le réseau R suivant composé de 4 machines, A, B, C et D reliés par les équipements d'interconnexion E-1, E-2 et E-3.



- 5) supposant que les équipements E-2, E-3 sont des Concentrateurs (Hub), E-1 est Switch, et la machine B a l'adresse 135.230.5.0. Donner des adresses IP (et les masques y associés), pour les machines A, C et D, compatibles avec l'adresse B. Expliquer brièvement. (2,5 pts)
- 6) Supposant que E-2, E-3 sont des Concentrateurs (Hub) et E-1 est Routeur, Donner des nouvelles adresses IP (et les masques y associés), pour les machines A, B, C et D. Expliquer brièvement. (2,5 pts)

Exercice 3 (6 pts)

Soit un réseau composé de deux ETTD A, B reliés par une liaison point-à-point. Sachant que

- le débit (nominal) de transmission est 3 Kbit/s
- Le temps de traitement d'une trame d'information et d'un acquittement est négligeable.
- les trames d'information et d'acquittement sont émises correctement.
- la taille des trames d'information est 300 bits (250 bit utiles et 50 de contrôle) et celle d'acquittement est 30 bits
- la transmission est continue, avec une fenêtre de largeur 3
- Le temps de propagation égale au temps d'envoi d'une trame d'information.

- 1) Calculer le délai de garde D_g d'une trame. Expliquer brièvement. (1 pt)
- 2) Calculer le taux d'occupation (débit utile/débit nominal) de support. Expliquer en détail (2,5 pts)
- 3) Calculer le temps total de la transmission de 1 Méga bits, de A vers B ? Expliquer en détail (2,5 pts)

Corrigé des exercices

Chapitre 1

Réponse 4 : L'ensemble des pages HTML et les liens qui les relie d'un simple clic

Réponse 6 : aucune réponse

Réponse 8 : L'existence (avec infrastructure) ou non (ad-hoc) d'une infrastructure ou équipements intermédiaires d'interconnexion entre les équipements communicants

Réponse 9 : 1) wifi 2) Bluetooth 3) GSM & GPRS 4) Wimax

Réponse 10 : Les ressources sont les fichiers de données, les applications, les imprimantes, le modem, etc. le partage des ressources sur le réseau signifie permettre aux ordinateurs de réseaux de partager l'accès ou l'utilisation de ces ressources. Par exemple deux PC peuvent imprimer automatiquement des documents sur une seule imprimante.

Chapitre 2

Réponse 1 : liaison

Réponse 2 : Session

Réponse 3 : présentation

Réponse 6 : non. Parce que les deux utilisent deux protocoles différents pour traiter deux problèmes indépendants, donc ils utilisent des numéros selon la nature de problème à traiter dans chaque couche.

Réponse 7 : réseau

Réponse 8 : physique

Chapitre 3

Exercice 4.

- 1) Le débit représente la quantité d'information (nombre de bits) transmis par un second. Donc D de la source doit permettre la diffusion de 40 images par second donc, $D = 40 \times I_{image}$ bit/s tel que I_{image} est la taille (nombre de bits) d'une image.

$I_{image} = 450 \times 500 \times I_{pixel}$ tel que I_{pixel} est le nombre de bit par pixel. Donc $I_{pixel} = 5$ car $2^5 = 32$ avec 5 bits on peut représenter 32 valeurs représentant 32 couleurs différentes.

Alors : $D = 40 \times I_{image}$ bit/s = $40 \times 450 \times 500 \times 5$ bit/s = 9×10^6 bit/s

- 2) $S/B_{dB} = 10 \log_{10}(S/B) = 40 \Rightarrow \log_{10}(S/B) = 4 \Rightarrow S/B = 10^4$

La capacité $D_{max} = W \log_2(1 + S/B) = 4,5 \times 10^6 \log_2(1 + 10^4)$ bit/s

$$D_{max} = 4,5 \times 10^6 \times 13,28 \simeq 60 \times 10^6 \text{ bit/s}$$

$D_{max} > D$ Donc, le transfert est possible

Chapitre 4

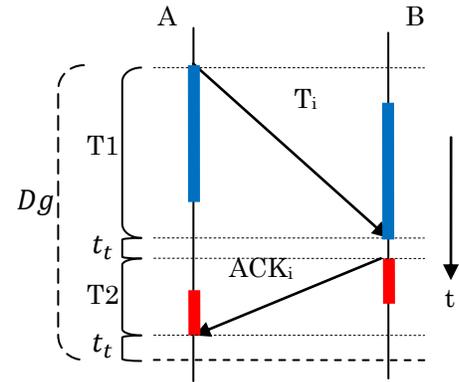
Exercice 3

Exercice 3

- 1) le délai de garde est estimé par le temps entre l'instant de débit de transmission d'une trame et celui du traitement de l'acquittement de cette trame. Donc $Dg = T1 + t_t + T2 + t_t$ tel que

$$T1 = \frac{N_{inf}}{D} + t_p \text{ et } T2 = \frac{N_{acq}}{D} + t_p$$

$$\text{Donc } Dg = \frac{N_{inf} + N_{acq}}{D} + 2t_p + 2t_t$$



- 2) Le débit effectif D_{eff} est calculé par le rapport $\frac{N_{utile}}{T_{total}}$ tel que, N_{utile} est nombre de bits de l'information utile et T_{total} : temps nécessaire pour transmettre cet information.

Dans le cas de cette question, on ne peut émettre que N_{inf} bits utile (par une trame d'information) dans Dg donc : $D_{eff} = \frac{N_{utile}}{T_{total}} = \frac{N_{inf}}{Dg} \rightarrow D_{eff} = \frac{N_{inf}}{\frac{N_{inf} + N_{acq}}{D} + 2t_t + 2t_p}$

Dans le cas de transmission continue, l'émetteur peut envoyer plusieurs trames en attendant l'acquittement d'une trame. Pour estimer le débit effectif, on distingue deux cas :

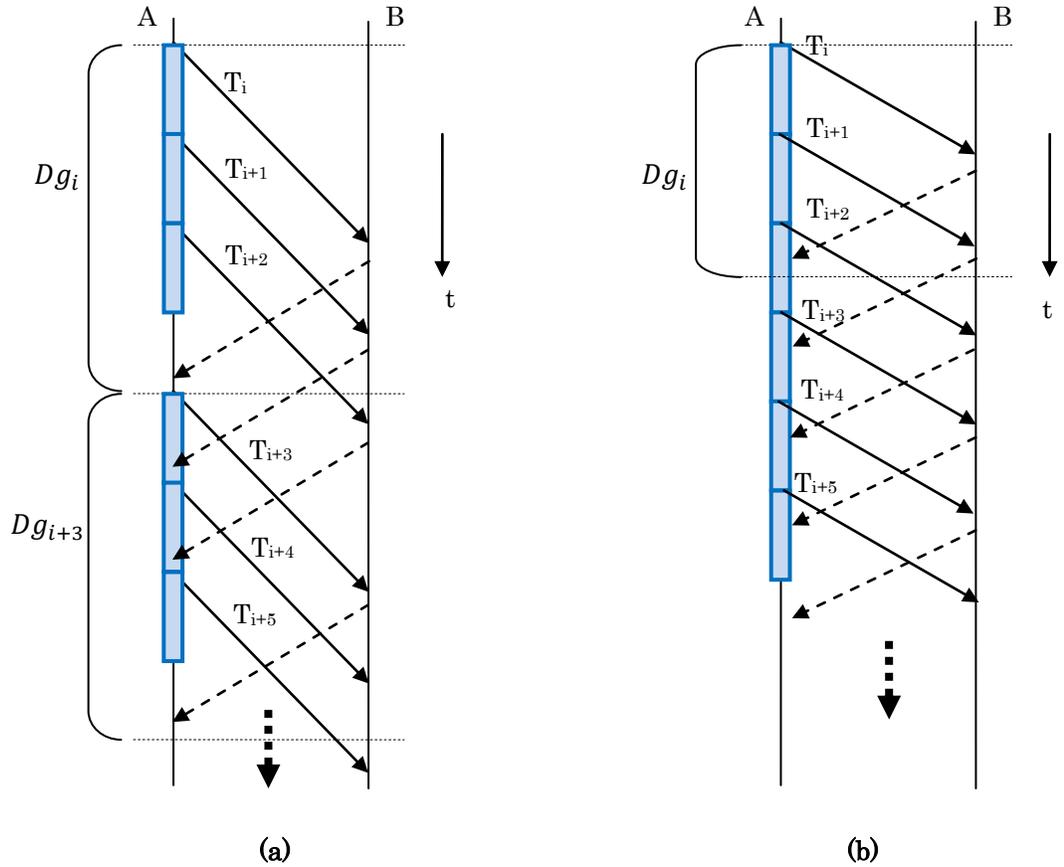
- a) l'émetteur peut envoyer de manière continue trois trames avant l'expiration de DG (avant l'arrivée de l'acquittement) de la première trame (la première qui attend l'acquittement), donc : $Dg > 3T_{trame}$ tel que T_{trame} est le temps de transmission (envoi) d'une trame.

$$D_{eff} = \frac{3N_{utile}}{Dg} = \frac{3N_{inf}}{\frac{N_{inf} + N_{acq}}{D} + 2t_t + 2t_p}$$

- b) l'émetteur peut envoyer de manière continue trois trames, mais, l'acquittement de la première trame arrive avant terminer l'envoi de la troisième. donc : $Dg \leq 3T_{trame}$ tel que T_{trame} est le temps de transmission (envoi) d'une trame.

Dans ce cas il n'y aura pas de temps d'attente, la transmission sera entièrement continue.

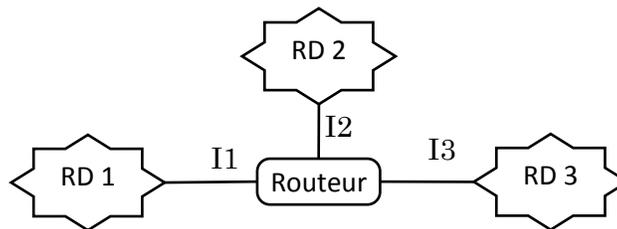
$$D_{eff} = \frac{n \times N_{utile}}{n \times T_{trame}} = \frac{N_{utile}}{T_{trame}} = \frac{N_{utile}}{\frac{N_{utile}}{D}} = D$$



Chapitre 5

Exercice 3

1)



2) Par exemple, on choisit des adresses de la classe A pour tous les sous réseaux (sans identifier le réseau global.

RD	RD1	RD2	RD3
IP	16.0.0.0	18.0.0.0	19.0.0.0
Masque	Masque par défaut : 255.0.0.0		
Interface avec	I1	I2	I3
IP	16.1.2.2	18.1.5.3	19.1.1.1

3.a) 190.242.0.0 (classe B) est une adresse du réseau global (RU). Pour identifier les 3 sous-réseaux on prend *quelques* bits de ID machine (codé sur 2 octets). Pour pouvoir adresser le maximum des machines, on doit maximiser le nombre de bits à l'ID-machine (à utiliser pour identifier les machines) minimisant ainsi le nombre de bits à ID-Réseau. Donc, le nombre minimum de bits à utiliser pour identifier les trois (03) sous-réseaux (RD) doit être suffisant pour trois (03) adresses d'adressage et deux (02) adresses spécial (adresse réseau ou tous les bits sont 0 et adresse de diffusion où tous les bits sont 1) est 3 bits car $2^2 < (3+2) < 2^3$

LAN	IP	Masque	Int	IP
RD1	190.242.010 00000.0 ou 190.242. 64 .0	255.255.224.0 111 00000	I1	190.242.010 00001.2 ou 190.242. 65 .2
RD2	190.242.001 00000.0 ou 190.242. 32 .0		I2	190.242.001 00010.1 ou 190.242. 34 .1
RD3	190.242.100 00000.0 ou 190.242. 128 .0		I3	190.242.100 00001.6 ou 190.242. 129 .6

3.b) Nous prenons le cas du réseau RD3 dont l'adresse est 190.242.128.0 (128 → 100 00000). L'adresse de diffusion est obtenue en remplaçant tous les bits de l'id machine par 1. Ainsi :

@ du RD3	190.242. 100 00000.00000000 ou 190.242. 128 . 0
@ de diffusion	190.242.100 11111.11111111 ou 190.242. 159 . 255

3.c) l'adresse de diffusion du réseau de l'université

@ de l'université	190.242.0.0
@ de diffusion	190.242.255.255

4) On choisi le cas extrême où on réserve le minimum des bits pour adresser le maximum de sous réseaux des départements (30 département). Ainsi, pour pouvoir adresser ces sous-réseaux, nous devons emprunter 5 ($2^4 < 30 < 2^5$) bits de la partie ID machine. Les bites qui restent pour ID-machine est $8-5+8=11$.

Ainsi, par 11 bits on peut adresser $2^{11} - 2$ (0..0 et 1..1) machines possibles

Corrigé type de l'examen

Questions

1) la table de commutation de Switch est :

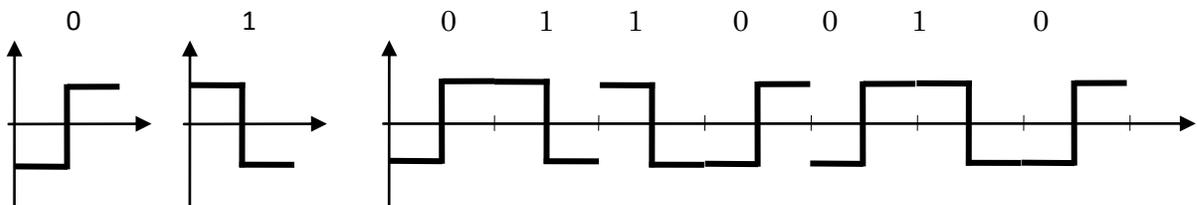
Port-1	Port-2	Port-3	Port-4
A	B		

- Lorsque A envoie une trame à B → le Switch apprend que A est raccordé sur le port n° 1
- Lorsque B envoie une trame à C → le Switch apprend que B est raccordé sur le port n° 2

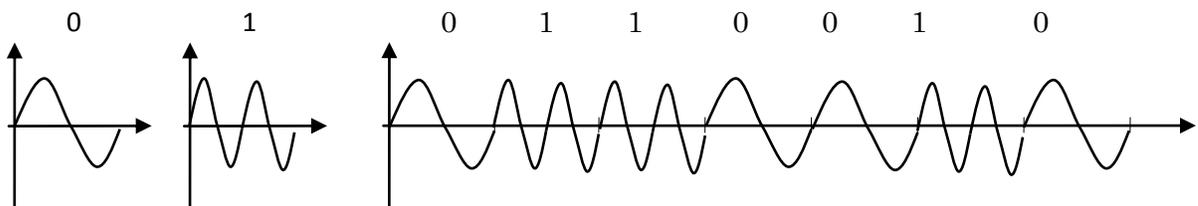
2) la différence entre le Switch et le concentrateur (Hub) :

Lorsqu'une trame passe par le Switch, ce dernier la retransmet sur un seul port (où il est raccordé le destinataire) selon sa table de commutation. Dans le cas de hub, la trame est retransmise sur tous les ports.

3) le signal représentant la séquence 0110010 en utilisant le code Manchester



4) le signal modulé représentant la séquence 0110010 en utilisant la modulation de fréquence



5) la rapidité de modulation nécessaire pour que le canal de transmission ait un débit binaire de 2400 bit/s, sachant que le signal transmis est de valence 4 se calcule comme suite :

Comme Débit (D) = nombre de bits par impulsion (n) x la rapidité (R) alors $R = D/n$

À partir de la valence on obtient le nombre de bits par impulsion :

Valence (V)=4= $2^{\text{nombre de bits par impulsion (n)}}$ = 2^2 alors $n = 2$

$R = 2400 / 2 = 1200$ bauds

Exercice 1

Les numéros des quatre dernières trames sont indiqués en gras.

Temps	Transmission	Délai de garde	
T = 0	A commence l'envoi de la trame T1	10	
T = 3	A commence l'envoi de la trame T2	8	
T = 6	A commence l'envoi de la trame T3	9	
T = 8	A reçoit l'acquittement positif de T1	-	
T = 9	A commence l'envoi de la trame T4	-	Suite à la réception de l'acquittement de T1
T = 12	A commence l'envoi de la trame T2	-	Suite à l'expiration de Dg associé à T2
T = 15	A commence l'envoi de la trame T3	-	
T = 18	A commence l'envoi de la trame T4	-	

Exercice 1 - bis

- 1) la valence du signal modulé se calcule come suite :

Valence (V) = nombre des impulsions de base pouvant être utilisées
= nombre de combinaisons possibles de 4 phases et 2 amplitudes
= $4 \times 2 = 8$

- 2) la rapidité de modulation du modem se calcule come suite :

Débit (D) = nombre de bits par impulsion (n) x la rapidité (R)

$$\rightarrow R = D/n$$

Valence (V) = $2^{\text{nombre de bits par impulsion (n)}} = 8 = 2^3 \rightarrow n = 3$

$$R = 9600 / 3 = 3200 \text{ bauds}$$

- 3) le rapport signal/bruit **minimum** permettant la transmission se calcule come suite:

Selon $D_{\max} = w \log_2(1+S/B)$ si on minimise S/B on minimise en conséquence D_{\max}

S/B minimum est celui qui donne D_{\max} égale exactement au débit de transmission 9600 bit/s. si on diminue S/B au delà de cette valeur on obtient un débit max inférieur à 9600 bit/s et la transmission devient impossible

Alors pour trouver S/B minimum, on met $D_{\max}=9600$ bit/s et on trouve S/B y correspondant.

$$D_{\max} = w \log_2(1+S/B) = 9600 \rightarrow 4800 \log_2(1+S/B) = 9600 \rightarrow \log_2(1+S/B) = 9600/4800 = 2$$

$$\rightarrow 1+S/B = 2^2 = 4 \rightarrow S/B = 3$$

Exercice 2

- 1) les adresses IP (et les masques y associés), pour les machines A, C et D, compatibles avec l'adresse B sont :

L'adresse de la machine B est 135.230.5.0, une adresse de la classe B, où 2 octet est pour l'id réseau et 2 octets pour id machine.

Comme les machines A, B, C et D appartiennent au même réseau logique, elles doivent avoir des adresses dont l'id réseau est le même que la machine B (une condition imposée par le protocole IP). Alors les adresses de A, C et D doivent aussi commencer par 135.230. Pour les différencier on choisi des combinaisons des valeurs différentes les uns aux autres et, bien sûr, différentes de 0.0 et 255.255

A → @IP : 135.230.1.2 - masque 255.255.0.0

C → @IP : 135.230.8.42 - masque 255.255.0.0

D → @IP : 135.230.255.42 - masque 255.255.0.0

- 2) les nouvelles adresses IP (et les masques y associés) des machines A, B, C et D. sont :

Dans ce cas on obtient 2 réseaux logiques séparés par le routeur, le premier contient A et B et le deuxième C et D.

Alors les adresse de A et B doivent avoir le même ID réseau et C, D doivent avoir le même ID réseau, mais différent de celui pour A et B.

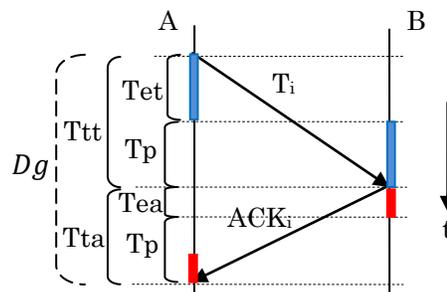
On choisit la même classe C pour les deux réseaux logiques

A → @IP : 200.1.2.2 - masque 255.255.255.0 B → @IP : 200.1.2.5 - masque 255.255.255.0

C → @IP : 201.3.8.2 - masque 255.255.255.0 D → @IP : 201.3.8.5 - masque 255.255.255.0

Exercice 3

- 1) Calcule du délai de garde D_g d'une trame.



$D_g = T_{tt} + T_{ta}$ tel que $T_{tt} = T_{tet} + T_{tp}$ et $T_{ta} = T_{tea} + T_{tp}$ alors :

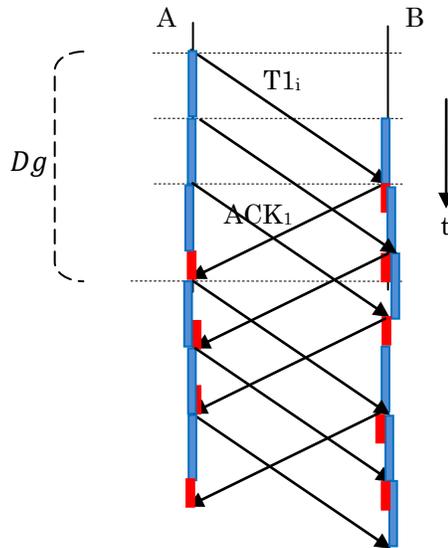
$D_g = T_{tet} + T_{tea} + 2T_{tp}$ et comme $T_{tp} = T_{tet}$ alors

$D_g = 3T_{tet} + T_{tea} = 3 \times 300/3000 + 30/3000$

$= 930/3000$

$D_g = 0,31$ s

- 2) Calcule de taux d'occupation (débit utile/débit nominal) de support.



Le débit effectif D_{eff} est calculé par le rapport N_{utile}/T_{total} tel que, N_{utile} est nombre de bits de l'information utile et T_{total} : temps nécessaire pour transmettre cet information.

Dans le cas de cette question, $Dg = 3T_{et} + T_{ea} > 3T_{et}$, à chaque transmission de 3 trames l'émetteur arrête la transmission pendant T_{ea} , en attendant l'acquittement, avant reprendre la transmission.

Alors en moyenne 3 trames d'information durant Dg

comme chaque trame de 300 bit contient 250 bits utiles seulement alors 3 trames contiennent 250×3 bits utiles.

$$\text{donc : } D_{eff} = \frac{N_{utile}}{T_{total}} = \frac{3 \times 250}{Dg} \rightarrow D_{eff} = \frac{750}{0,31} = 2419,35 \text{ b/s}$$

Taux d'occupation de support (TOS) = débit effectif/débit nominal

$$\text{TOS} = \frac{D_{eff}}{D} = \frac{2419,35}{3000} = 0,806 \text{ où } \text{TOS} = 80,6 \%$$

3) Calcule de temps total de la transmission de 1 Méga bits, de A vers B

La transmission s'effectue par des trames de 3000 bits contenant 250 bit utiles

1° méthode :

$$\text{le temps total de la transmission } (T_{total}) = \frac{\text{nombre de bits à transmettre}}{\text{Débit effectif}}$$

$$T_{total} = \frac{10^6}{2419,35} = 413,33 \text{ s}$$

2° Méthode :

Pour transmettre 1 méga (ou 10^6) bits on doit émettre $\frac{10^6}{250}$ ou 4×10^3 trames, 3 trames (3×250) à chaque Dg ou 3999 trames durant $1333 Dg$ + Temps totale de transmission confirmée d'une trame (=DG)

$$T_{total} = 1333 \times Dg + Dg = 1334 \times Dg = 1334 \times 0,31 = 413,54 \text{ s}$$

Bibliographie

Danièle Dromard, Fetah Ouzzani, Dominique Seret, Kim-Loan Thai, Réseaux informatiques : cours et exercices. Eyrolles, 1994

Djillali Seba, SISCO Interconnexion Des Réseaux à L'aide Routeurs Et Commutateurs, ENI, 2003

Guy Pujolle, Les Réseaux, Eyrolles, 2014

Guy Pujolle, Initiation aux réseaux: Cours et exercices, Eyrolles. 2000

Jean Luc Montagnier, Réseaux d'entreprise Par La Pratique, Eyrolles, 2011

José Dordoigne, Réseaux informatiques, notions fondamentales: Protocoles, Architectures, Réseaux sans fil, Virtualisation, Sécurité, IP, Volume 6, ENI, 2015

Mike Busby, Introduction à TCP/IP, Osman Eyrolles Multimedia, 2000

Nicolas Turin, L'univers des réseaux Ethernet: Concepts, produits, mise en pratique, Masson, 1995

Petit. Bertrand. Architecture des réseaux: Cours et exercices corrigés. Ellipses, 2013

A. Tanenbaum, Réseaux, Pearson Education France, 2003

A.Tanenbaum, Réseaux. Architectures, protocoles, applications. - InterÉditions, 1997