

# Cours Réseaux

UFR de Mathématiques et Informatique  
Licence 3 Informatique  
Semestre 5

Prof. Ahmed Mehaoua  
[Ahmed.mehaoua@parisdescartes.fr](mailto:Ahmed.mehaoua@parisdescartes.fr)

# Cours : Réseaux

## Equipe pédagogique :

**Pr. A. MEHAOUA**, Professeur, responsable du cours, et chargé de TD (mardi)

**Dr. N. DORTA**, Maître de Conférences, chargé de TD (lundi)

**Dr. O. SALEM**, Maître de Conférences, chargé de TD (jeudi)

**Dr F. KAABI**, Assistant d'enseignement, Chef de projet en Sécurité & Réseaux, GFI (vendredi)

**Dr H. MRAD**, Assistant d'enseignement, Resp. Sécurité & Réseaux, Orange Cyberdefense (mercredi)

## Accueil des étudiants :

sur RDV – contact par email ou en fin de cours : [ahmed.mehaoua@parisdescartes.fr](mailto:ahmed.mehaoua@parisdescartes.fr)

## Bibliographie :

- Architectures des réseaux, Dromard et Seret, Pearson Edition
- transparents du cours et énoncés de TD/TP disponibles sur MOODLE et à la scolarité
- Clé d'accès Moodle : L3RES

## Evaluation :

- une note d'examen de CC1 en distanciel en séance de TD (25%) : **mi semestre (novembre 2020)**
  - une note d'examen de CC2 en distanciel en séance de TD (25%) : **fin de semestre (decembre 2020)**
  - une note d'examen de CC3 en présentiel et sans documents/ordinateurs (50%) : **janvier 2021**
- Calcul de la moyenne final du cours = note FINALE =  $0.25\text{CC1} + 0.25\text{CC2} + 0.5\text{CC3}$

# Objectifs du cours Réseaux

1. Etudier et comprendre le fonctionnement des réseaux informatiques
  1. Les architectures (logiciels, matériels)
  2. Les logiciels et algorithmes (Systèmes d'exploitation, protocoles)
  3. Les Commandes systèmes et réseaux (paramétrage, diagnostique, ...)
2. Réseaux locaux d'entreprises **ETHERNET/WIFI** (cablage, codage des signaux, algorithmes de contrôle d'accès au canal de communication)
3. Réseau **INTERNET** (adressage, routage, équipements d'interconnexion)
4. Travaux dirigées et pratiques avec utilisation du logiciel de diagnostique et d'analyse des réseaux (sniffer): **WIRESHARK**

## Bonnes pratiques du cours :

- Récupérer le poly cours/TD/TP: **version papier ou version électronique en ligne**
- consulter le support du cours et le TD/TP de la semaine **avant chaque séance**
- participer activement aux séances de TD (passage aux tableaux)

# Plan Général

- 1) ARCHITECTURES DES RESEAUX, DEFINITIONS**
- 2) COUCHE PHYSIQUE : MATERIELS, TRANSMISSION**
- 3) COUCHE LOGICIEL : COUCHE LIAISON,  
PROTOCOLES HDLC**
- 4) LES RESEAUX LOCAUX : ETHERNET ET WIFI**
- 5) RESEAU INTERNET: ADRESSAGE, NOMMAGE DES  
RESSOURCES**
- 6) RESEAU INTERNET: ROUTAGE DES  
INFORMATIONS**
- 7) LES EQUIPEMENTS D'INTERCONNEXION (HUB,  
SWITCH, GATEWAY, ...)**

# Chapitre 1

## Réseaux Informatiques Architectures et Définitions

# Plan

- DEFINITIONS ET PRINCIPES DE BASE
- CLASSIFICATION DES RESEAUX
- NORMES ET STANDARDS
- HIERARCHIE DES PROTOCOLES
- PRINCIPES DE LA COUCHE PHYSIQUE
- TYPES D'INFOS ET CODAGE SOURCE
- TECHNIQUES DE TRANSMISSION

# Qu'est ce qu'un réseau de communication ?

Un ensemble de ressources **matériels** (modem, routeur, commutateur, câblage, cartes, ...) et **logiciels** (procédures, règles, protocoles, systèmes d'exploitation, ...) dédiés à la transmission et l'échange d'information entre différentes **entités** (ordinateurs fixes et mobiles, périphériques, processus informatiques, personnes).

Les réseaux font l'objet d'un certain nombre de **spécifications techniques** et de **normes** pour garantir leurs inter-fonctionnement ou interopérabilité.

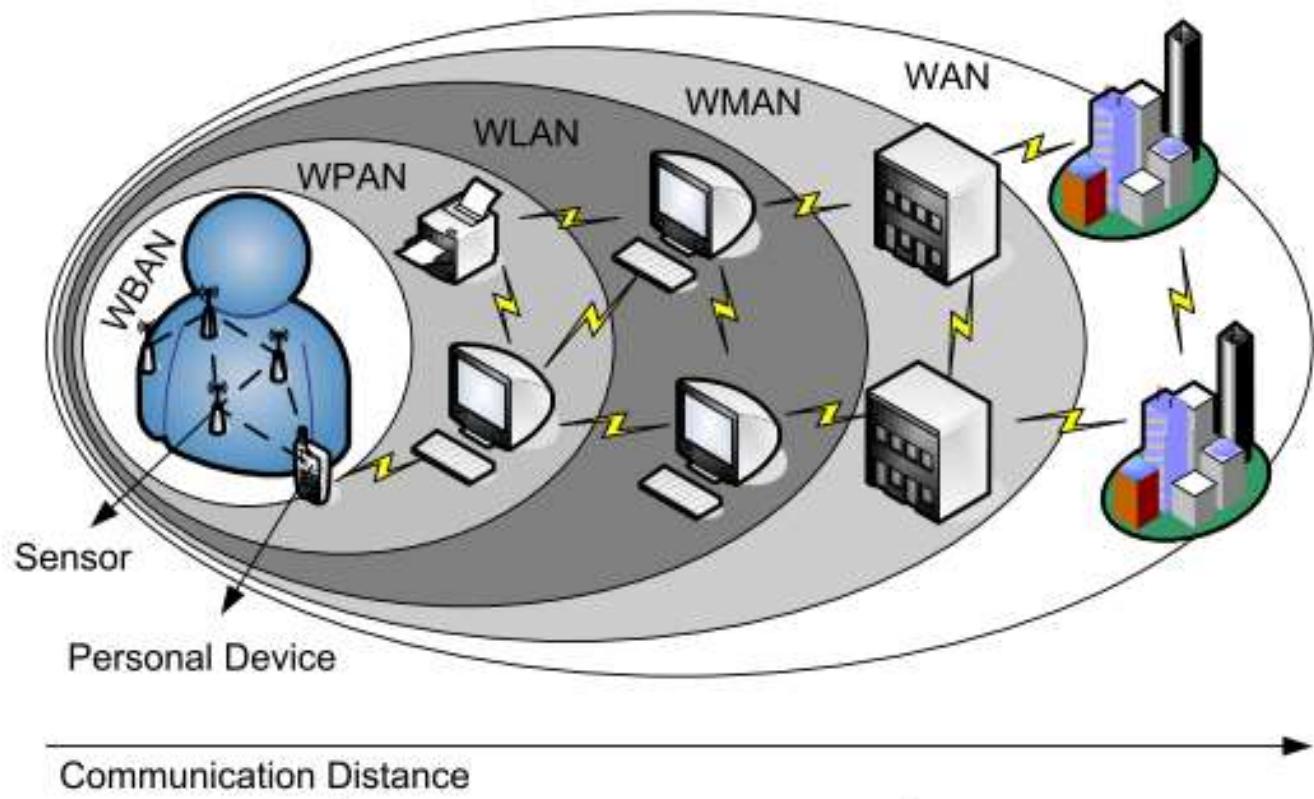
# Classification des Réseaux de Communication

## - type d'informations -

- ◆ Les **réseaux de communications** peuvent être **classés** en fonction du **type d'informations** transportées et de la **nature des entités** impliquées. On distingue ainsi trois principales catégories de réseaux de communication:
  - Les réseaux de **télécommunications**
  - Les réseaux de **télédiffusion**
  - Les réseaux **Téléinformatiques**

# Classification des Réseaux de Communication

## - Distances -



WAN : Wide Area Network

WMAN : Wireless Metropolitan Area Network (GSM, 3G/4G)

WLAN : Wireless Local Area Network (WIFI)

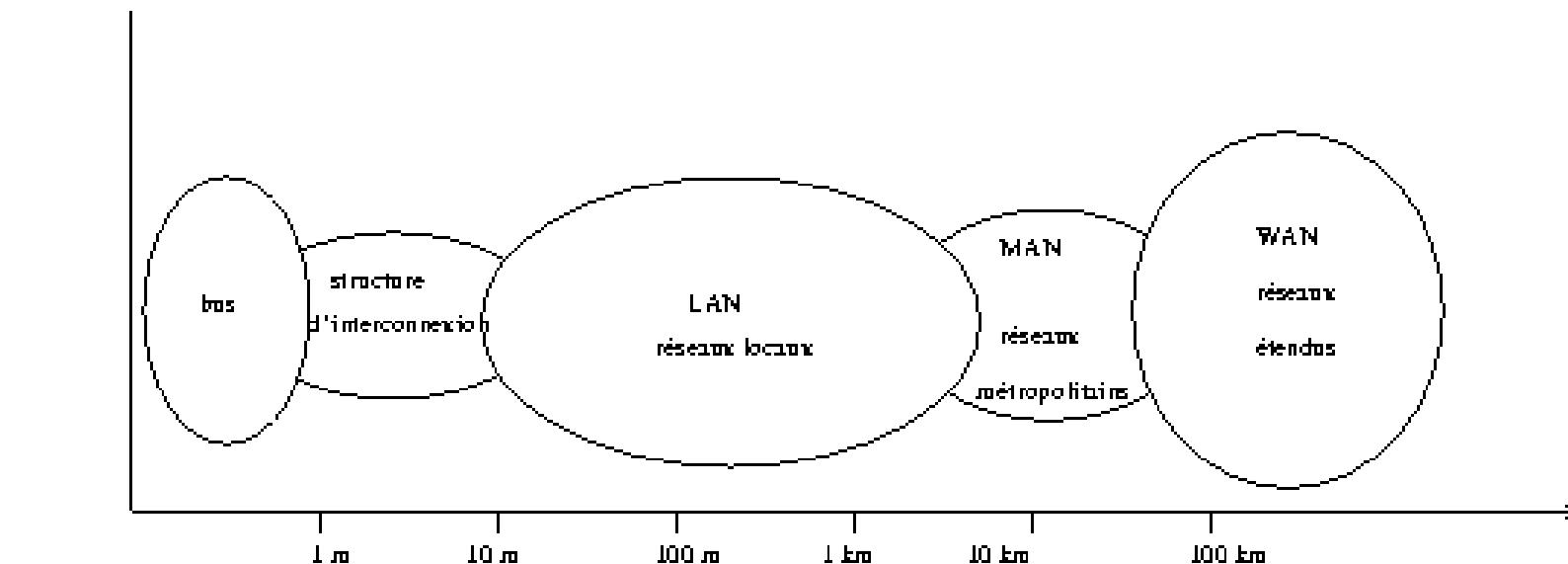
WPAN : Wireless Personal Area Network (Bluetooth)

WBAN : Wireless Body Area Network (Zigbee)

# Classification Des Réseaux informatiques

## - Distances -

- **Bus des ordinateurs** ISA, PCI
- **Réseaux personnels (PAN)** Bluetooth
- **Réseaux locaux (LAN)** Ethernet, WiFi
- **Réseaux métropolitains (MAN)** Gigabit Ethernet,
- **Réseaux étendus (WAN)** Internet, GSM/3G/4G, Satellites



# Historique technologique



- 1876: Téléphonie (Graham Bell), 1880 en France
- 1906: Radiodiffusion (Branly, Ducret, Marconi)
- 1930: La télévision
- 1969: Arpanet, 1<sup>er</sup> réseau informatique
- Apparition du transistor dans les années 50
- Numérisation des communications téléphoniques 1970
- 1980: réseau Numéris, intégration de la voix et des données informatiques
- Numérisation de la télévision
  - 1994 MPEG Motion Picture Expert Group (codage source)
    - ✓ Représentation numérique et compression de l'information audiovisuelle
  - 1995 DVB-S (Satellite) Digital Video Broadcasting (codage canal)
    - ✓ Transmission numérique de l'information audiovisuelle
    - ✓ 2001 : DVB-T (Terrestre)

# La télé-informatique



- En **1957** Seymour Cray invente la société CDC et le 1<sup>er</sup> calculateur
- En **1964**, Kleinrock du MIT invente la commutation de paquets
- Le réseau ARPANET apparaît en **1969**
- **1971** : Email la 1<sup>ère</sup> application ARPANET inventée par le MIT
- En **1976**, TCP/IP intégré dans ARPANET
- En **1979**, Metcalf invente Ethernet et quitte Xerox pour créer 3Com
- Mai **1982** : 235 machines connectées sur Internet

# Equipment Manufacturers



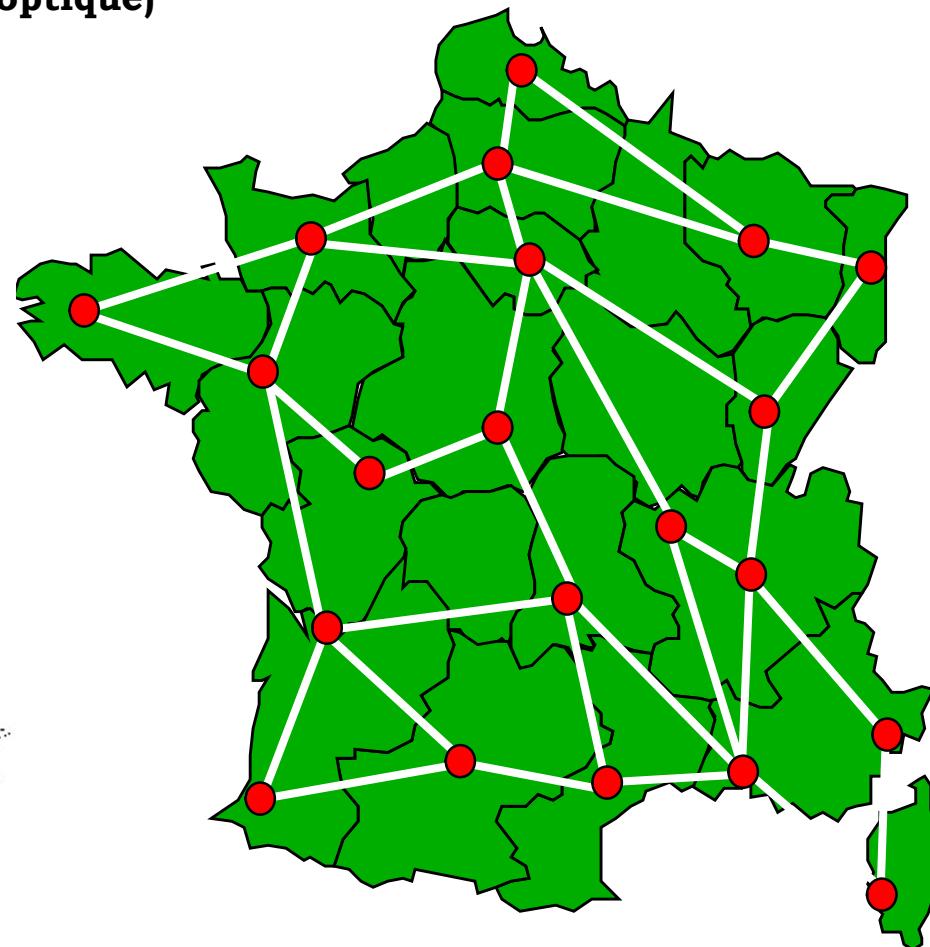
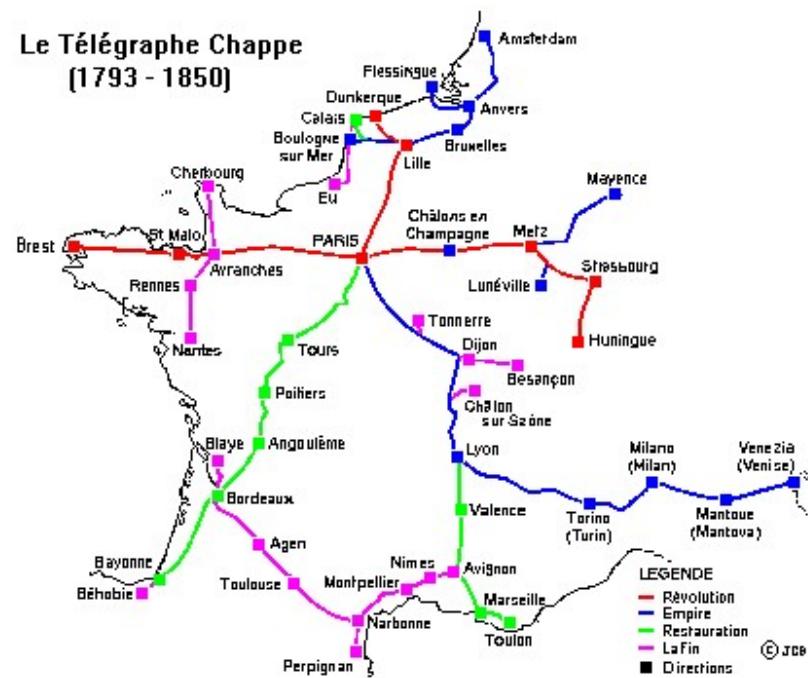
HUAWEI



JUNIPER  
NETWORKS

# Architecture matérielle d'un réseau d'opérateur

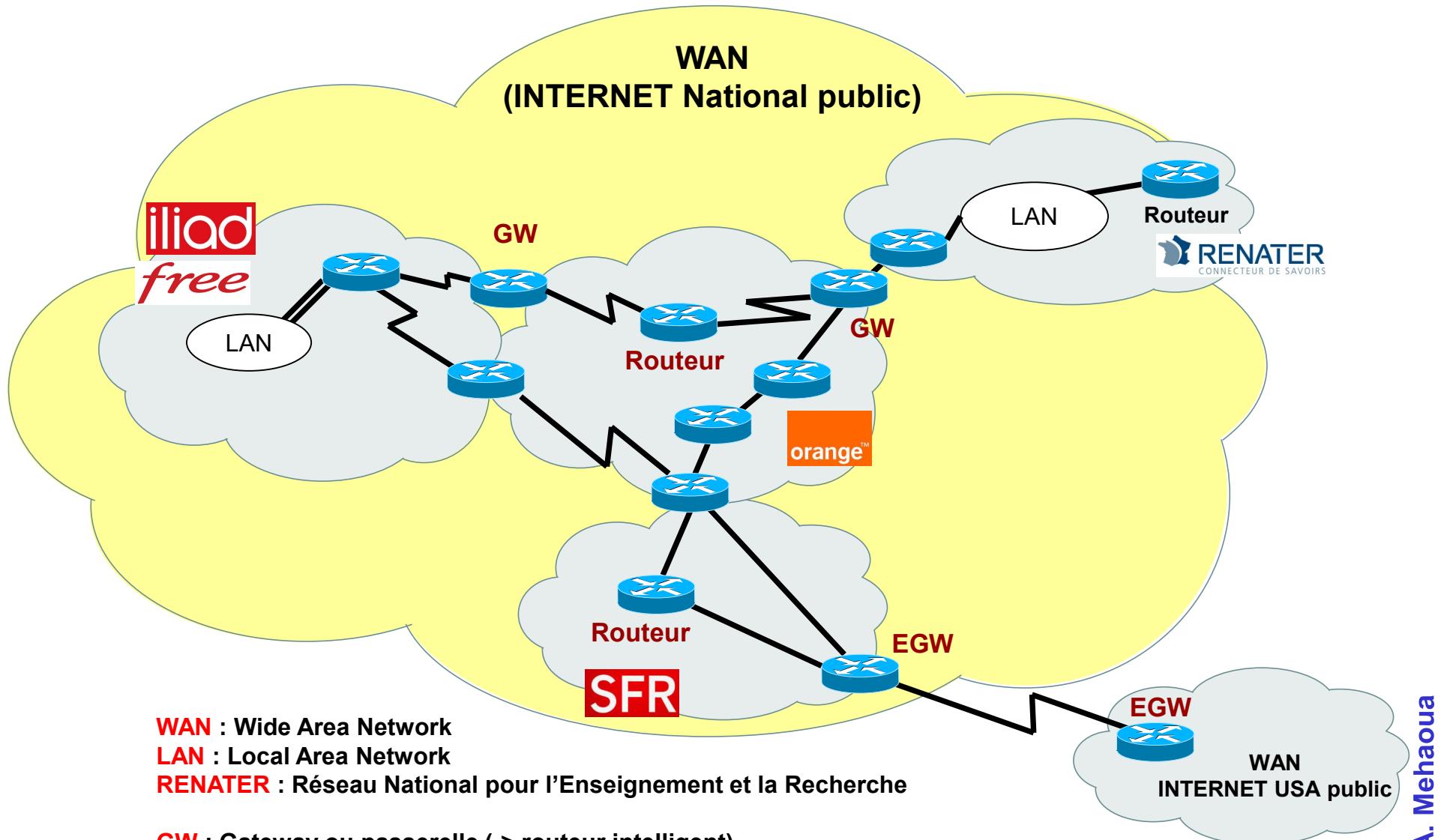
- **POP**
  - Points de(Of) Présence (équipements commutateur, routeur, multiplexeur)
- **Raccordement des utilisateurs sur les POP**
  - Via la boucle locale (cuivre, fibre optique)
- **Interconnexion des POP**
  - Réseau maillé
  - Fibres optiques



© A. Mehnaoua

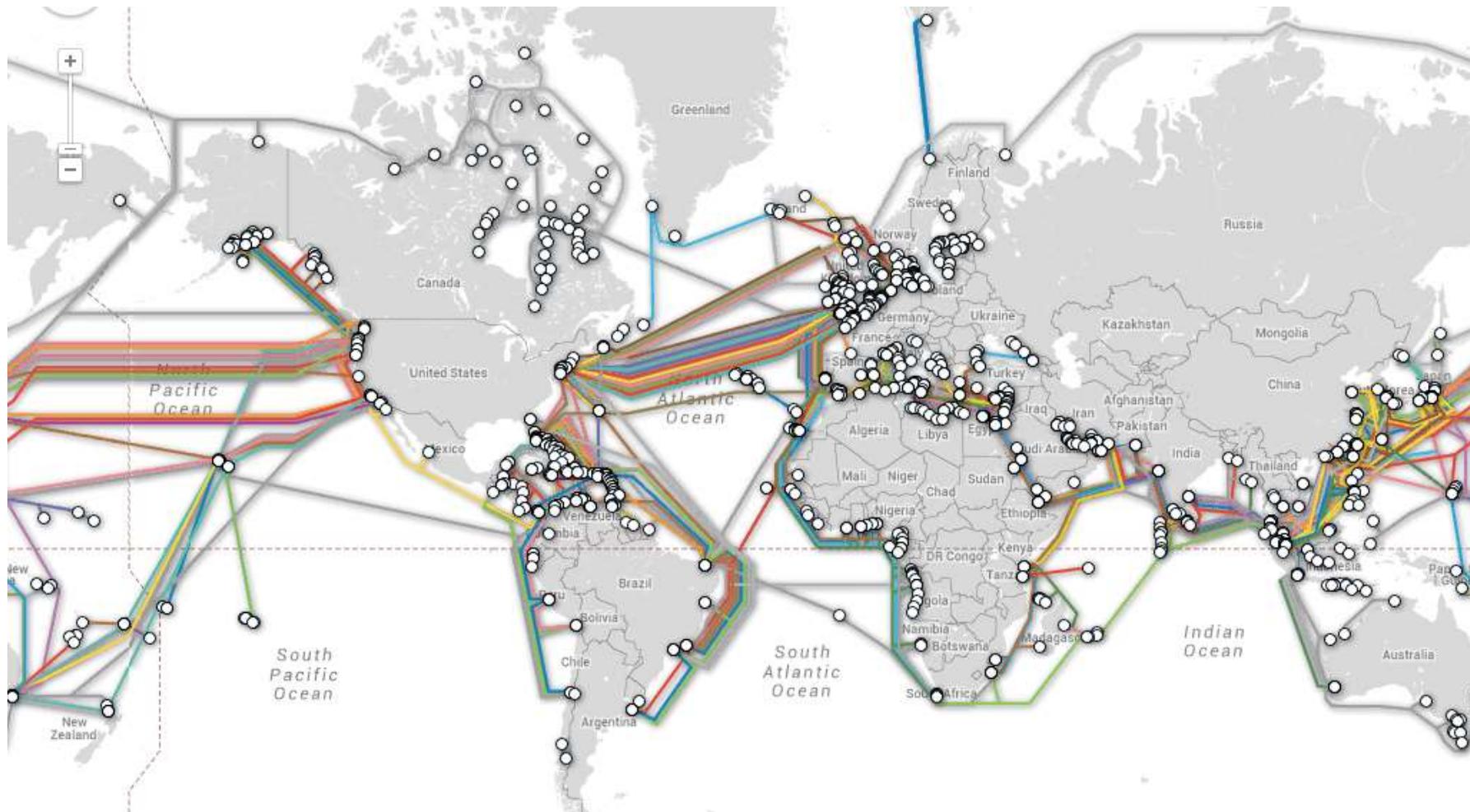
# Réseaux nationaux & Internet

## Exemple de la France



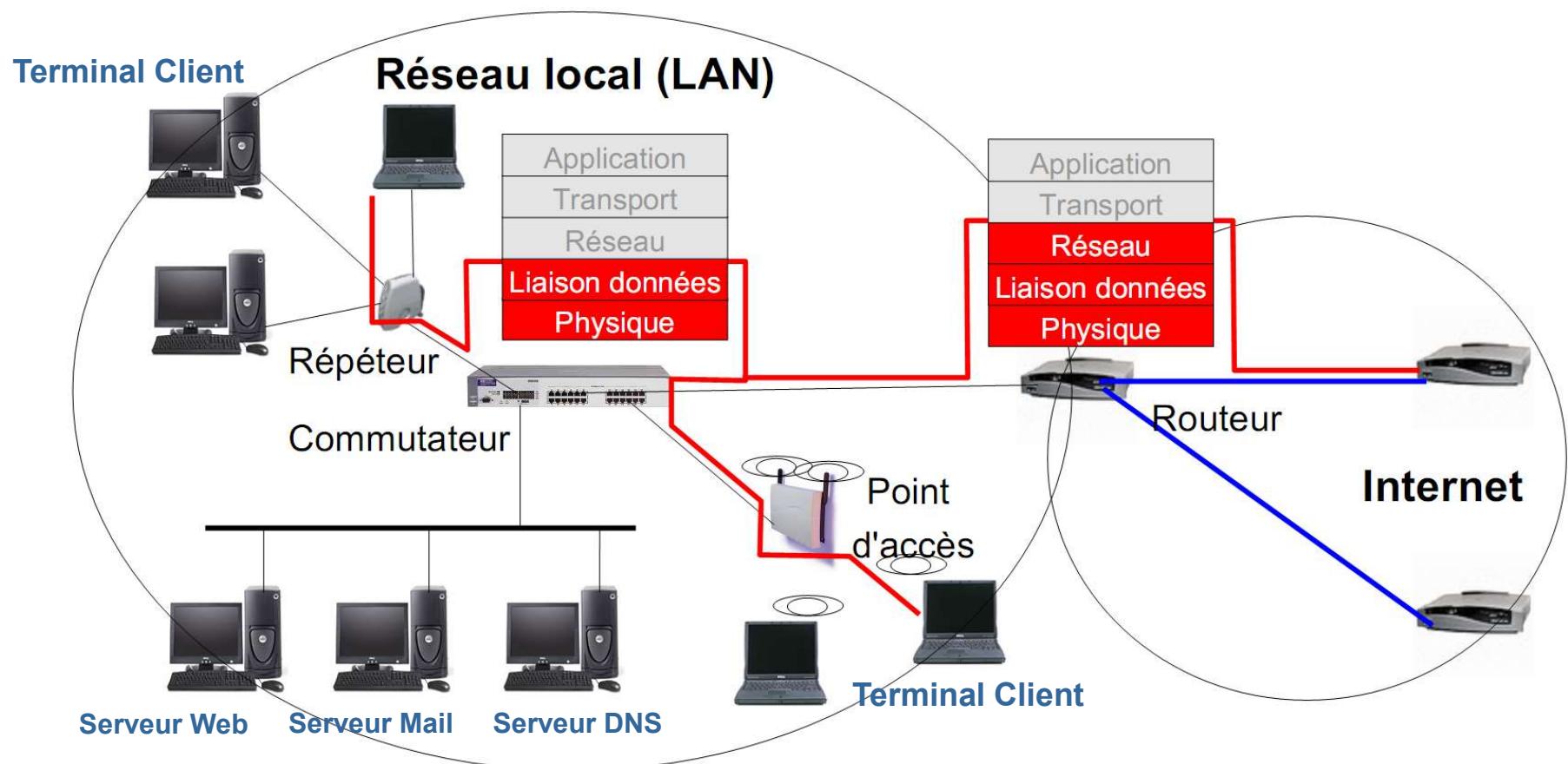
# Interconnexion des réseaux nationaux : Internet

## Cables optiques sous-marins

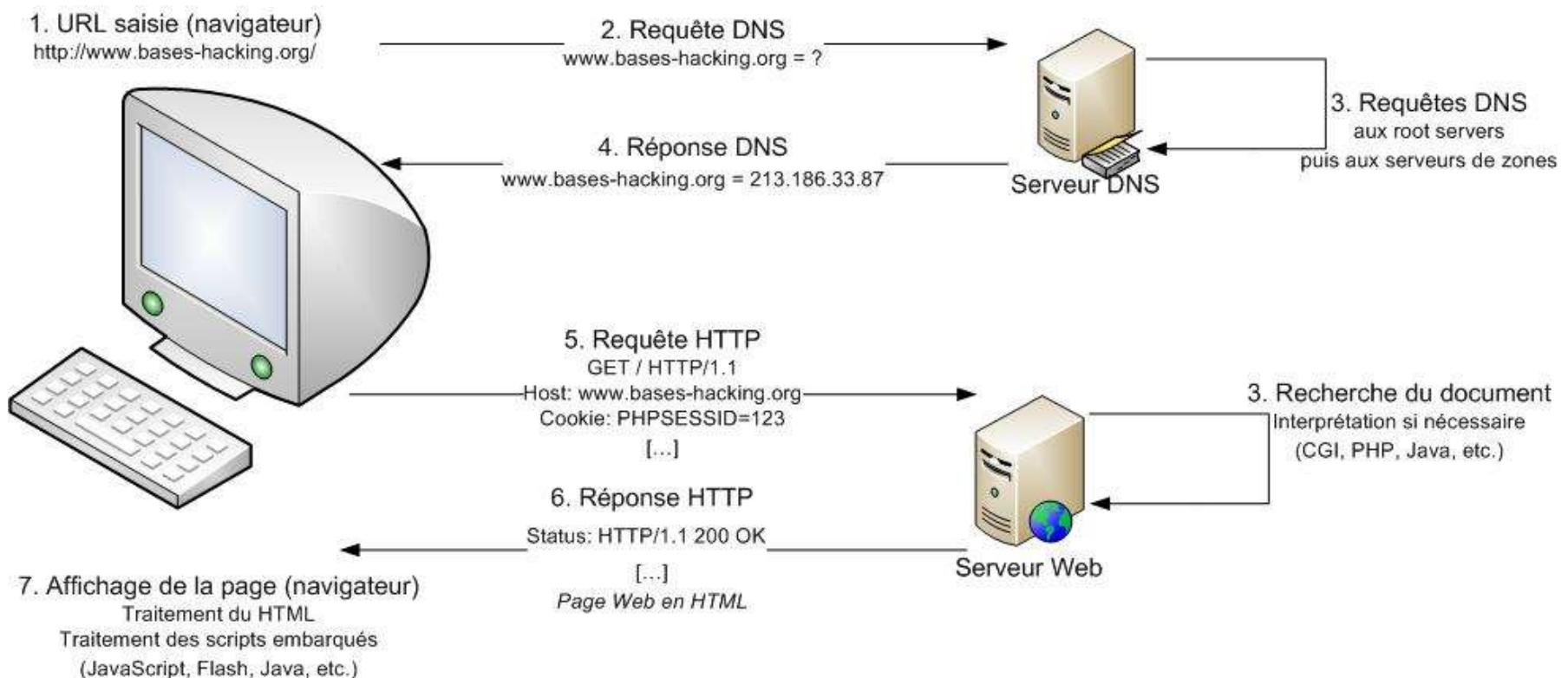


[www.submarinecablemap.com](http://www.submarinecablemap.com)  
100 Gbps par fibre

# Réseau Local Intranet d'entreprises



# Accès à un site Web



# La problématique des réseaux téléinformatiques

- Comment faire communiquer les ordinateurs/processus sur une seule ligne ?
- La solution
  - Coder les données et les informations de contrôle (logique à deux états)
  - Les transmettre sur la même ligne
- Les protocoles
  - Règles de codage des informations
  - Règles de dialogue entre ordinateurs
    - Gérés par les logiciels et matériels de communication
- Les architectures
  - Cadres d'environnement et de définition des protocoles
  - Ensemble de protocoles, procédures et équipements de communications
  - Permettre l'interconnexion des réseaux hétérogènes aux moyens de dispositifs de conversion

# Organismes de Normalisation

## ♦ Les Organismes Internationaux :

Les organismes de normalisation internationaux cités ci-dessous sont sous l'égide de l'**ONU** et sont les plus **actifs** dans le domaine des **réseaux** et des **télécommunications**.

- **OSI** (Organisation Internationale de Standardisation) ou ISO (International Organisation for Standardisation)
- **UIT** (Union Internationale des Télécommunications) anciennement CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique)

## ♦ Les Organismes Multinationaux :

A ces organismes internationaux, s'ajoutent encore des organismes de différents continents comme l'Europe et les Etats-Unis :

- **IETF** (Internet Engineering Task Force)
- **IEEE** (Institute of Engineers in Electronic & Electrotechnic)
- **ETSI** European Telecommunication Standardization Institute)
- **EBU** (European Broadcasting Union)

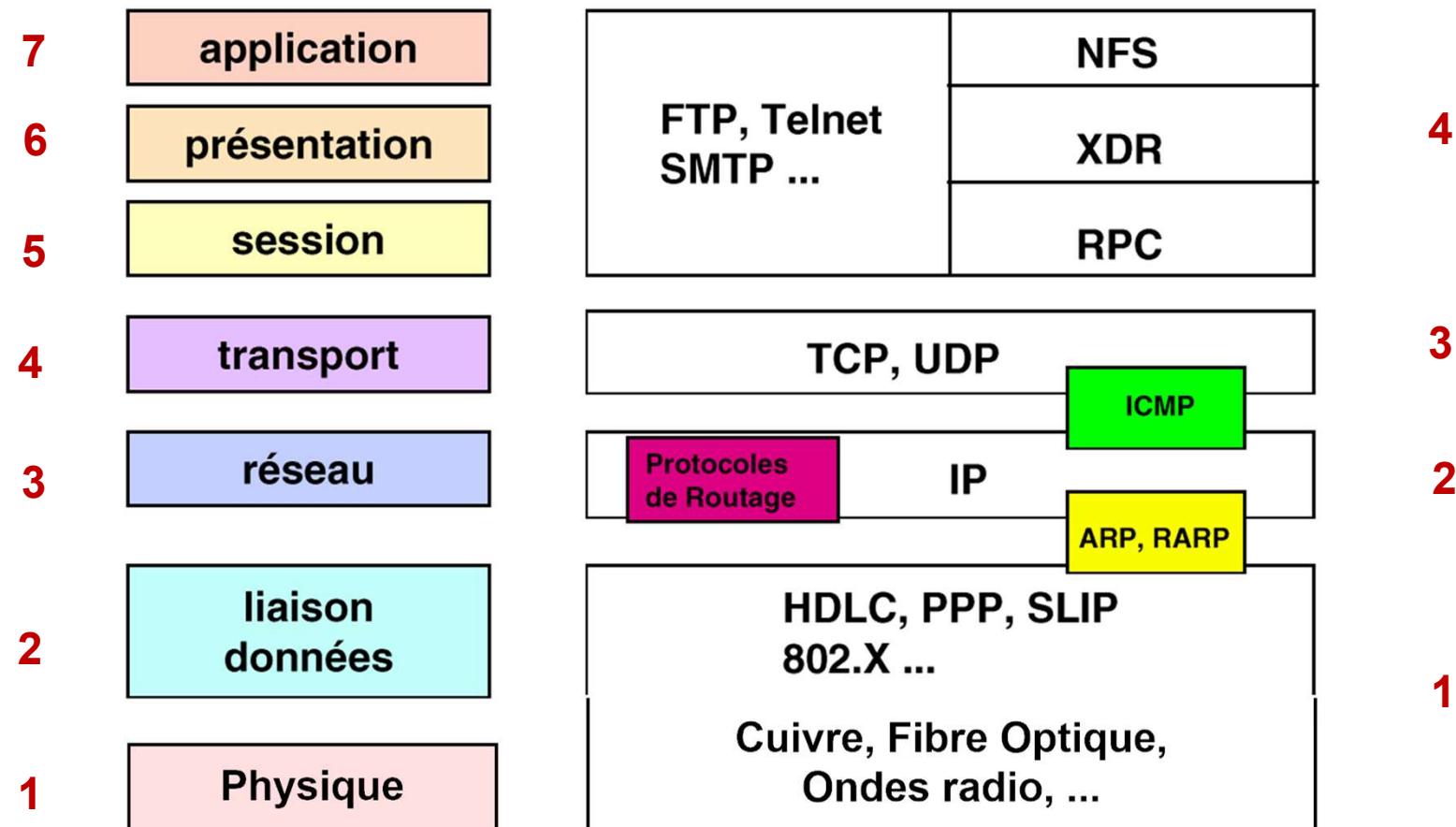
# **LE MODELE DE REFERENCE ISO de L'OSI**

**Le Modèle de référence ISO pour Interconnexion des Systèmes Ouverts a été proposé en 1984 par l'OSI (Organisation de standardisation Internationale) :**

- **Modèle fondé sur un principe énoncé par Jules César :**
  - « Diviser pour Régner »
- **Le principe de base est la représentation des réseaux sous la forme de couche de fonctions superposées les unes aux autres.**
  - Leur nombre, leur nom et leur fonction varient selon les réseaux
- **L'étude du système de communication revient alors à l'étude de ses éléments élémentaires et offre une plus grande :**
  - Facilité d'étude
  - Indépendance des couches
  - Souplesse d'évolution

# Architecture Logiciel Réseaux

## le modèle ISO (1982) vs le modèle Internet (1969)



**ISO**  
Interconnexion des Systèmes Ouverts

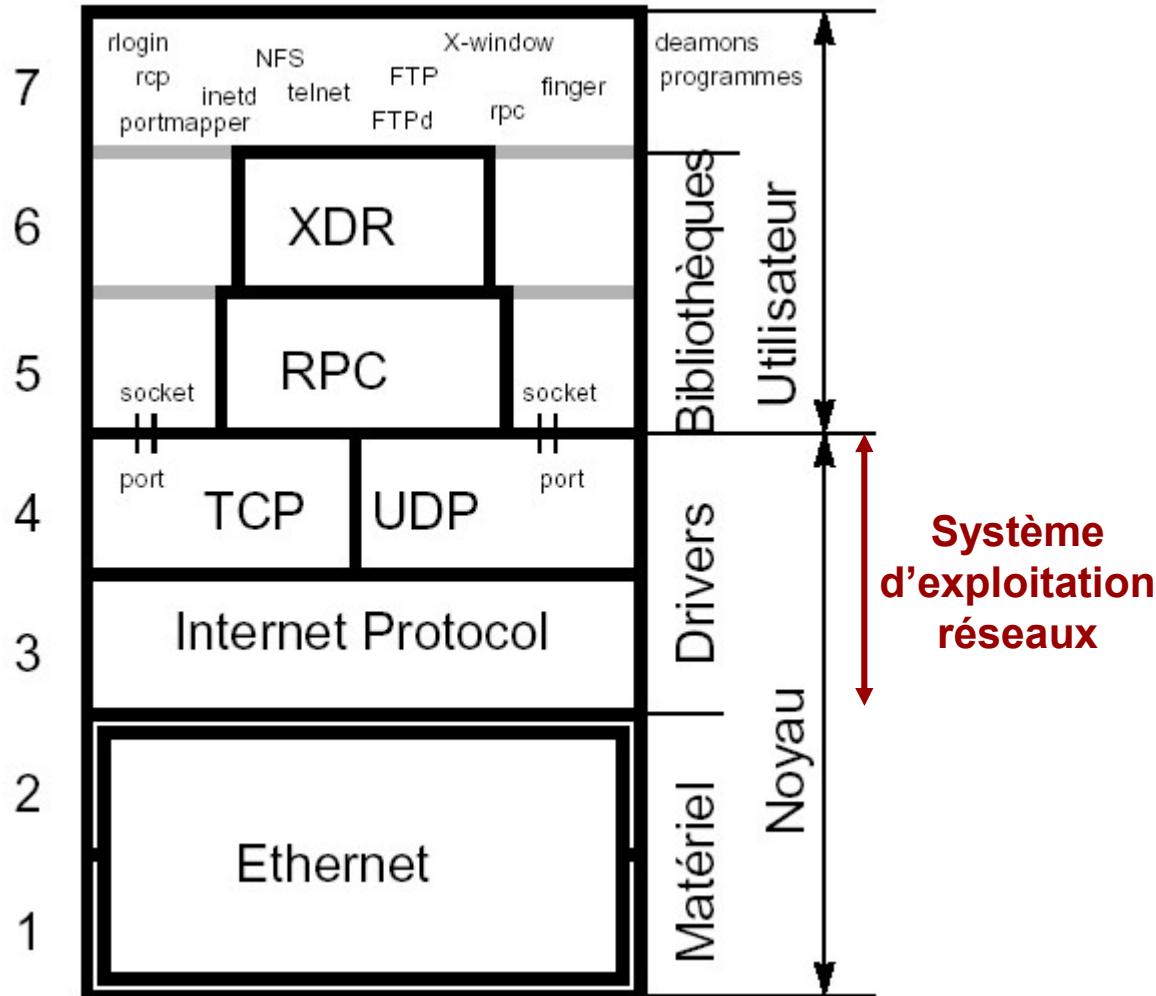
**Internet**

# LE MODELE ISO 7 COUCHES

Tableau 2 – Couches du modèle OSI

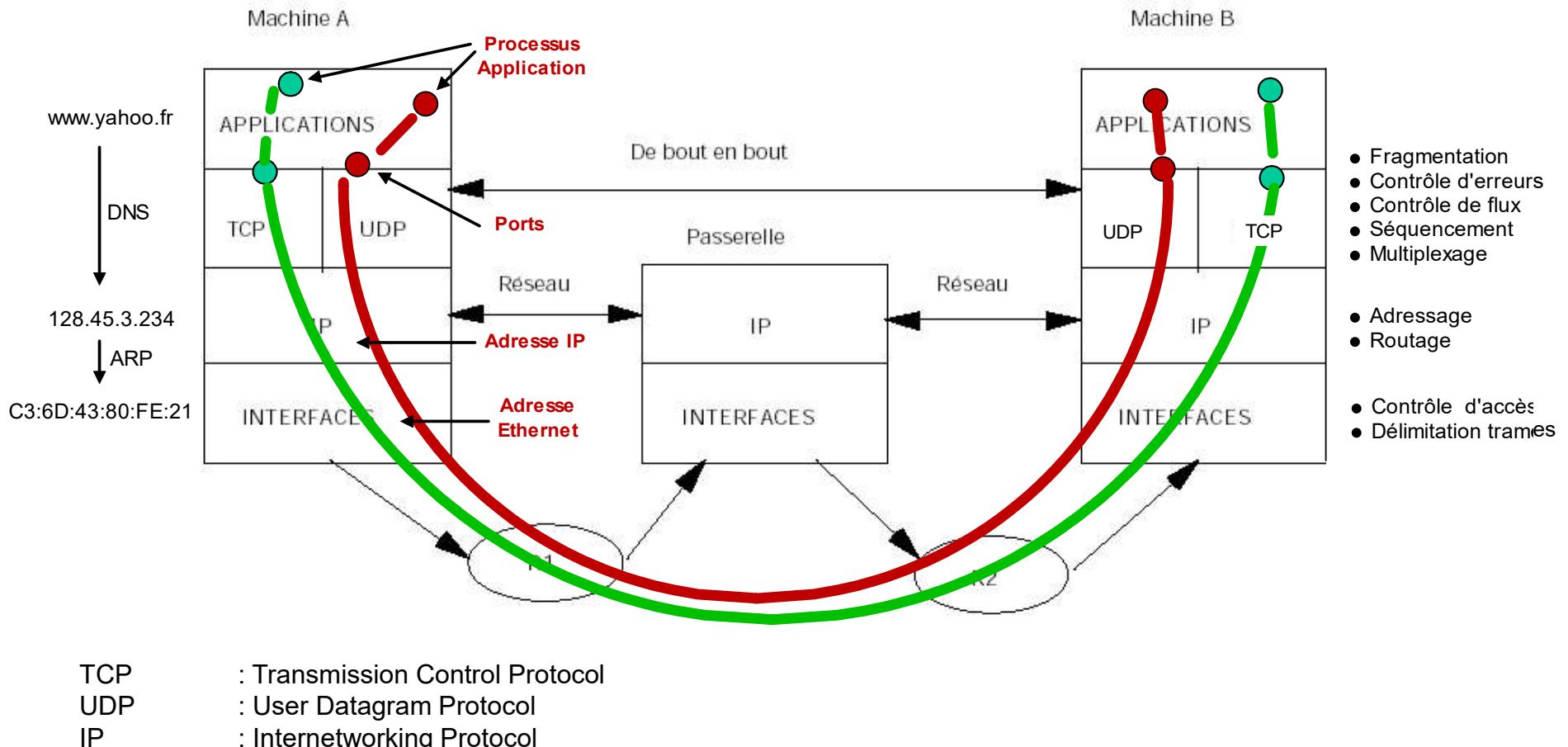
Niveau	Nom	Fonction	Protocoles
7	Couche application	Assurer l'interface avec les applications.	HTTP, FTP, telnet, SSH, DNS
6	Couche présentation	Formater des données (leur représentation, éventuellement leur compression).	
5	Couche session	Fournir les moyens pour organiser et synchroniser les dialogues et les échanges de données.	
4	Couche transport	Transporter les données et, selon le protocole, gérer les erreurs.	TCP, UDP
3	Couche réseau	Gérer l'adressage et le routage.	IP, ICMP, IGMP, ARP
2	Couche liaison	Définir l'interface avec la carte réseau et la méthode d'accès.	Ethernet, LLC, SNAP, PPP
1	Couche physique	Convertir des données en signaux numériques.	Ethernet, 802.3, 802.5 ( <i>token ring</i> ), 802.11 ( <i>wireless</i> )

# Architecture logicielle d'un terminal Internet



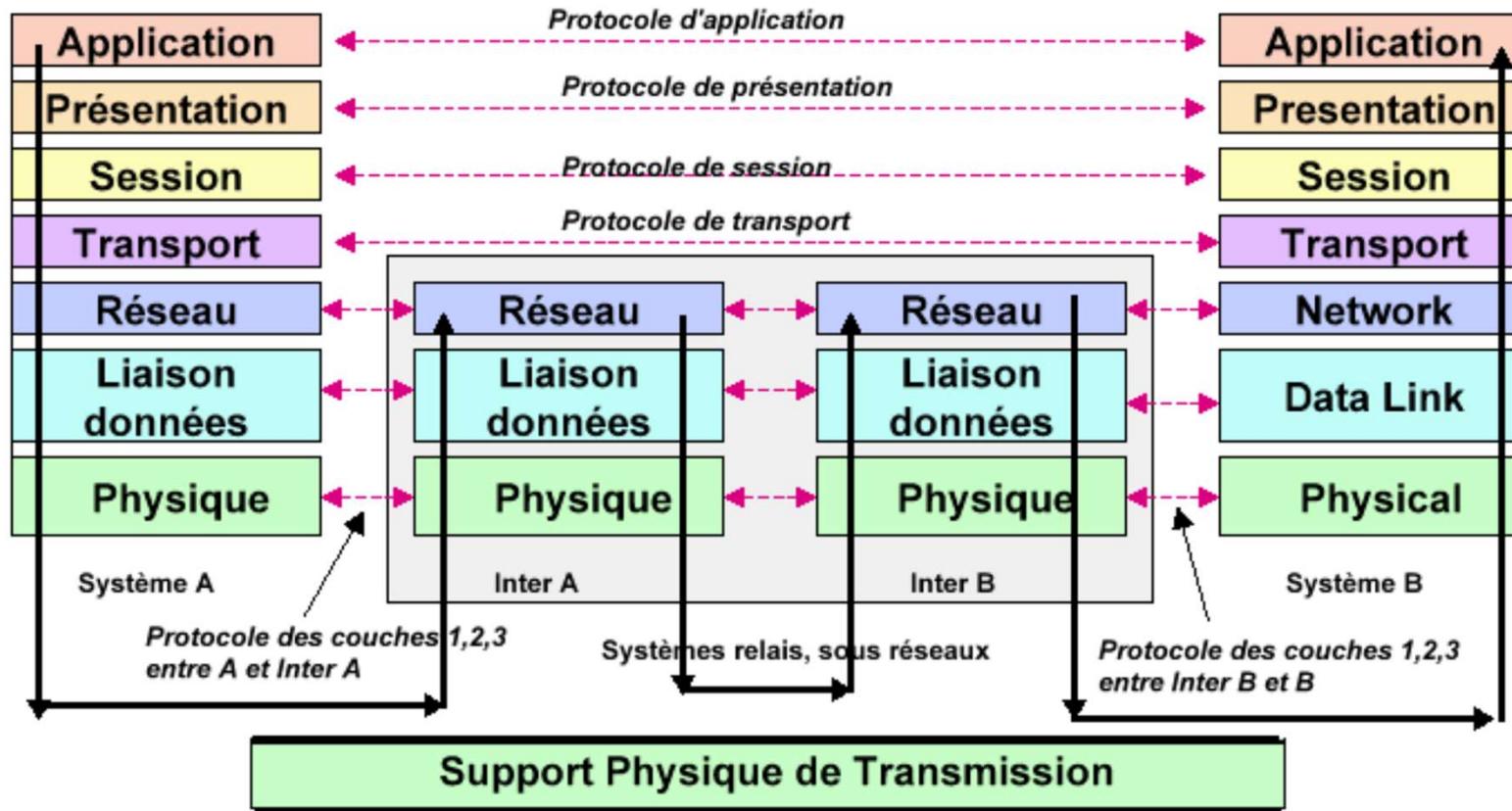
Pile de protocoles TCP/IP

# Accès à un serveur Web: le modèle client/serveur



# LE MODELE ISO

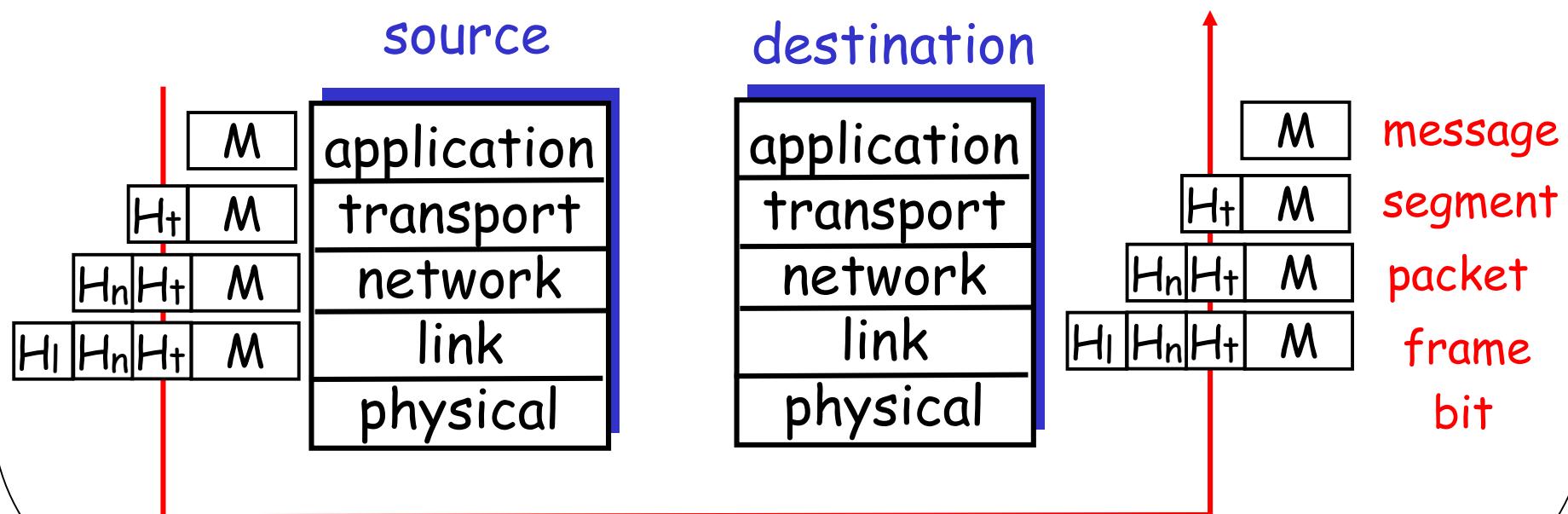
## Principe du routeur



# Encapsulation des données

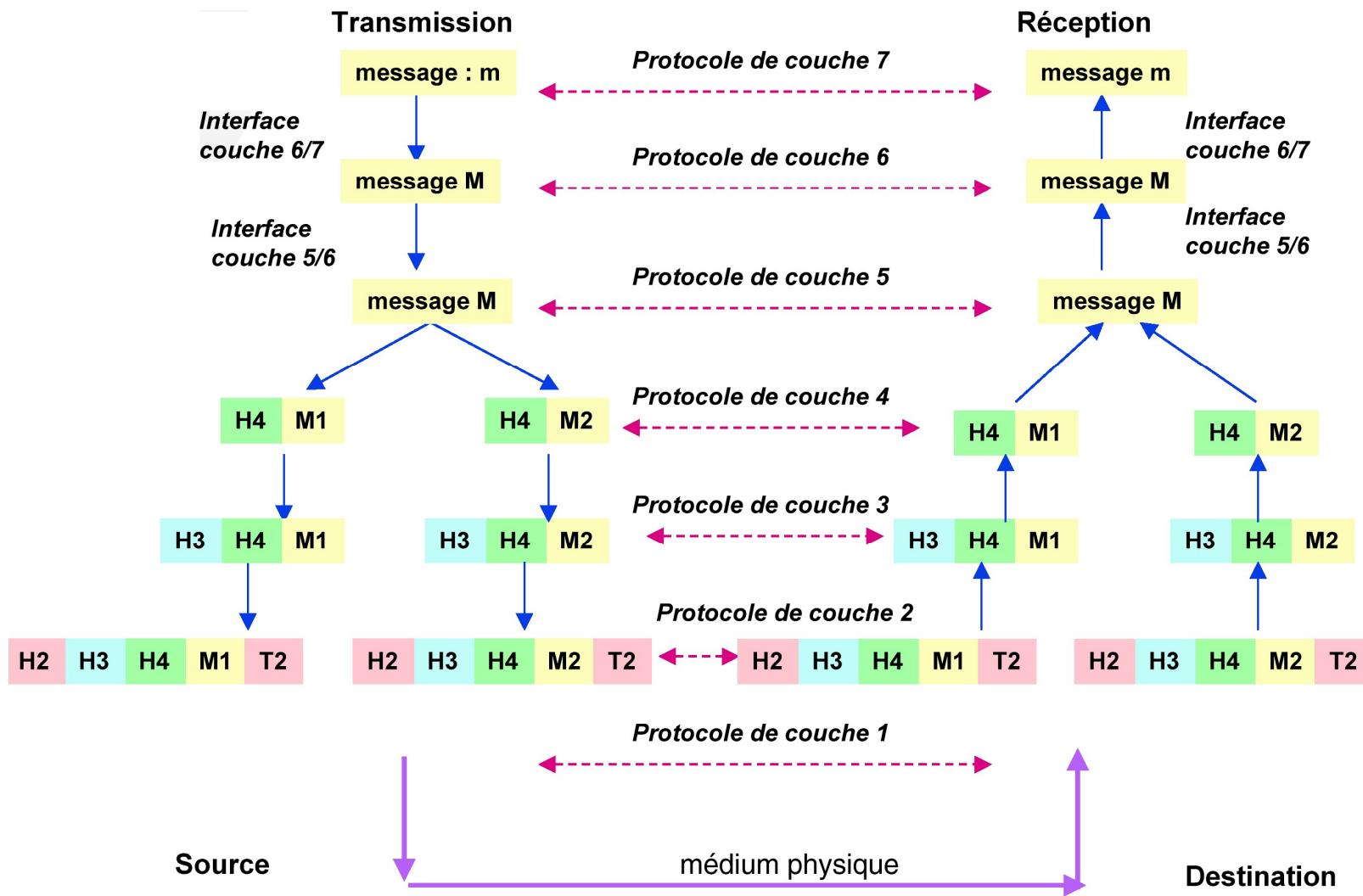
Chaque couche récupere les données de la au dessus et

- ajoute des entête d'information de controle (variables)
- Transmet la nouvelle strucuture de données à la couche inférieure



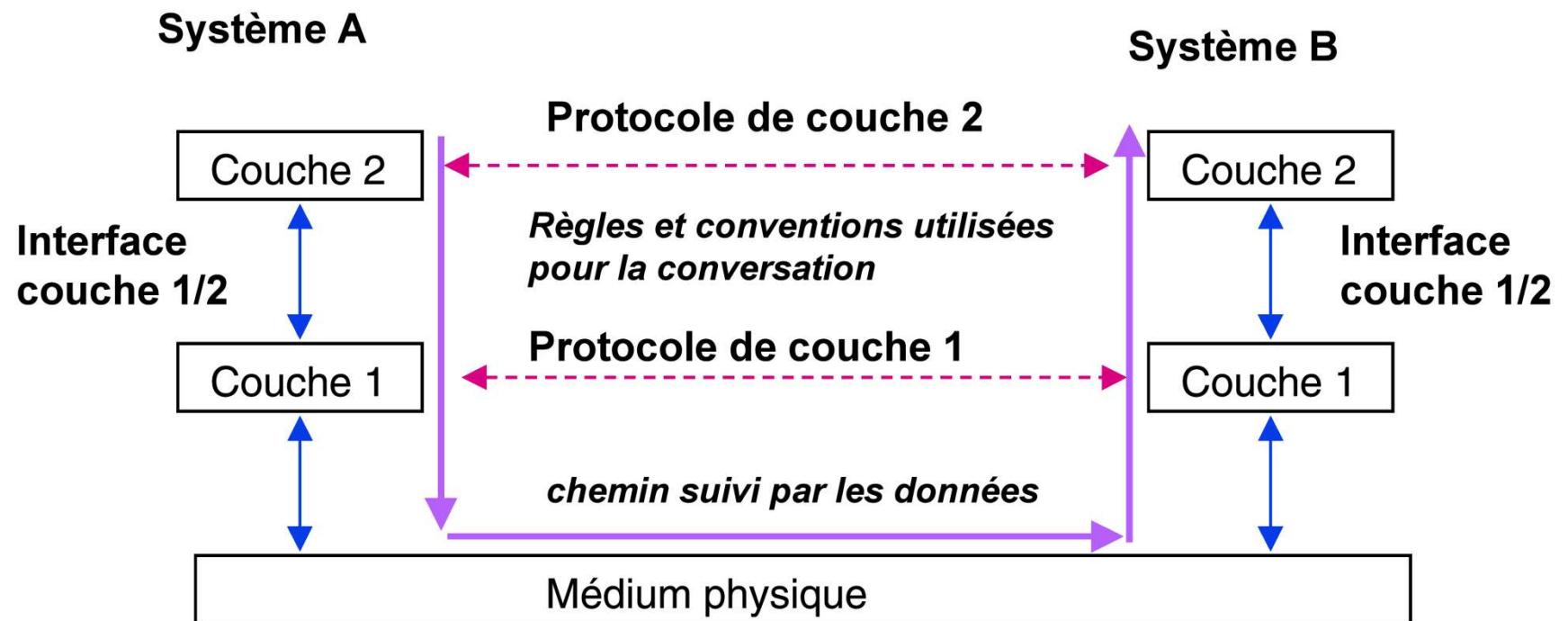
# LE MODELE ISO

## Principe de L'encapsulation



# LE MODELE OSI

## PRINCIPE DU PROTOCOLE



# CARACTERISATION DES RESEAUX

Comment transférer des données d'un point A à un point B ?

## ◆ Transfert en Mode circuit

Toutes les données entre A et B transitent par un même chemin à travers le réseau.

Ce chemin est appelé « **Circuit** » et est pré-établi (calculé) pour satisfaire les contraintes de l'application (débit, délai, taux d'erreurs, taux de pertes ....).

Le circuit est calculé lors d'une **phase de mise en connexion** entre A et B (envoi d'un message de contrôle)

Exemples: Réseaux téléphoniques fixes et mobiles : RNIS, GSM, 3G

## ◆ Transfert en Mode datagramme

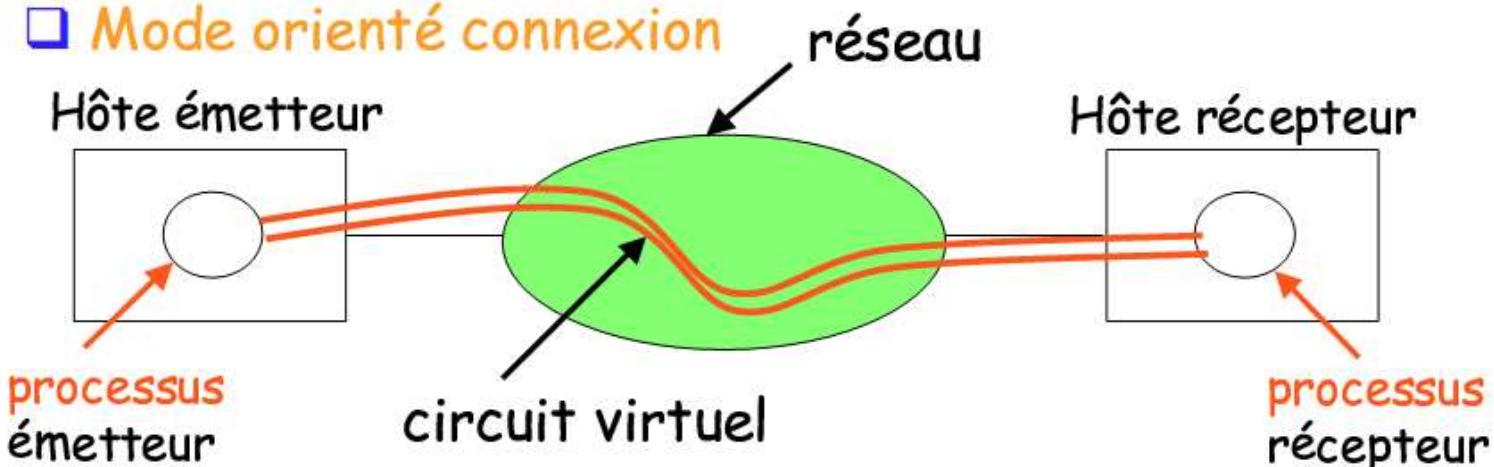
Les données « peuvent » transiter entre A et B par des chemins différents à travers le réseau.

**Pas de phase de mise en connexion réseaux** et de calcul d'un chemin entre A et B.

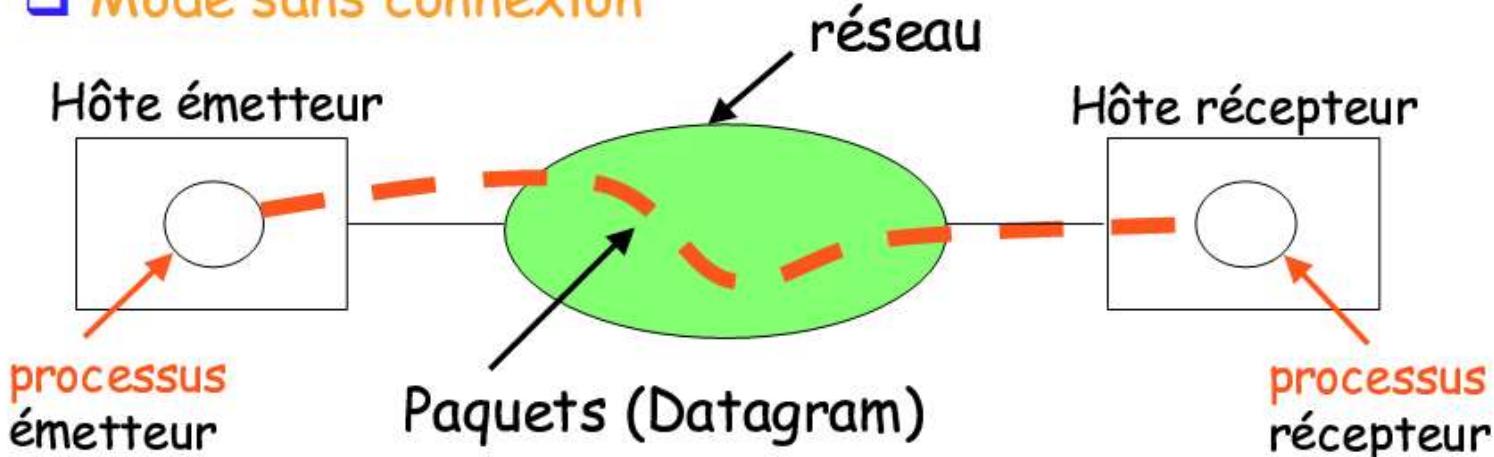
Exemples : Réseau Internet, réseaux 3G.

# Mode de transfert des données

## ❑ Mode orienté connexion



## ❑ Mode sans connexion

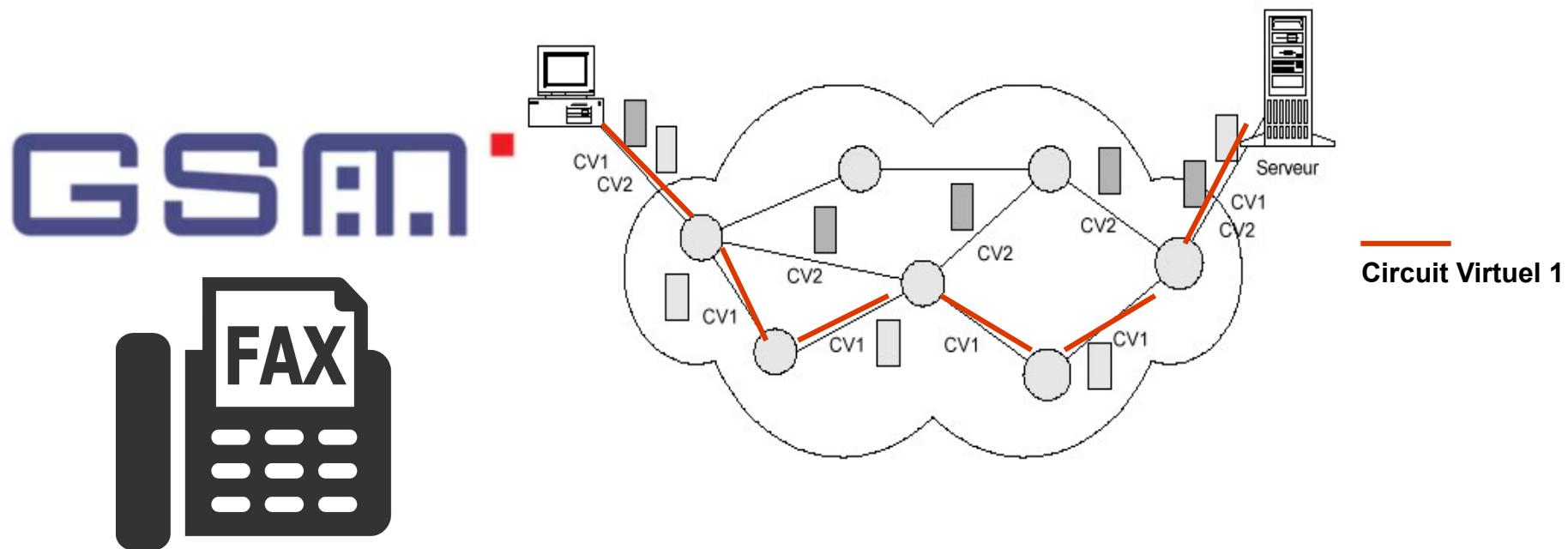


# TRANSFERT DES DONNEES EN MODE CIRCUIT

## ◆ Principe du service téléphonique :

Toutes les données entre A et B transitent par un même chemin à travers le réseau. Ce chemin est appelé « **Circuit** » et est pré-établi (calculé) pour satisfaire les contraintes de l'application (débit, délai, taux d'erreurs, taux de pertes ....)

1. Si ce circuit est dédié aux communications entre A et B : on parle de **circuit physique**
2. Si ce circuit est partagé entre plusieurs entités (A, B, C, ....) alors on parle de **circuit virtuel**



# TRANSFERT DES DONNEES EN MODE DATAGRAMME

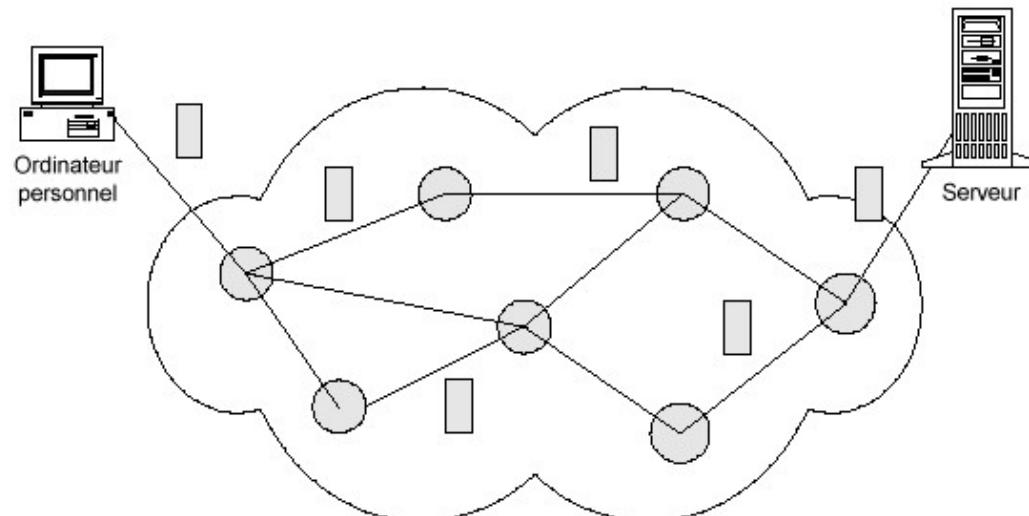
## Principe du courrier postal

A envoi vers B les différents **paquets** de son messages avec l'adresse de B sans demande préalable de connexion

C'est aux routeurs d'acheminer ces paquets **individuellement** par des chemins pouvant être différents, et en les **bufferisant les paquets** si nécessaire.



**INTERNET**



## Chapitre 2

# Réseaux Informatiques Couche Physique

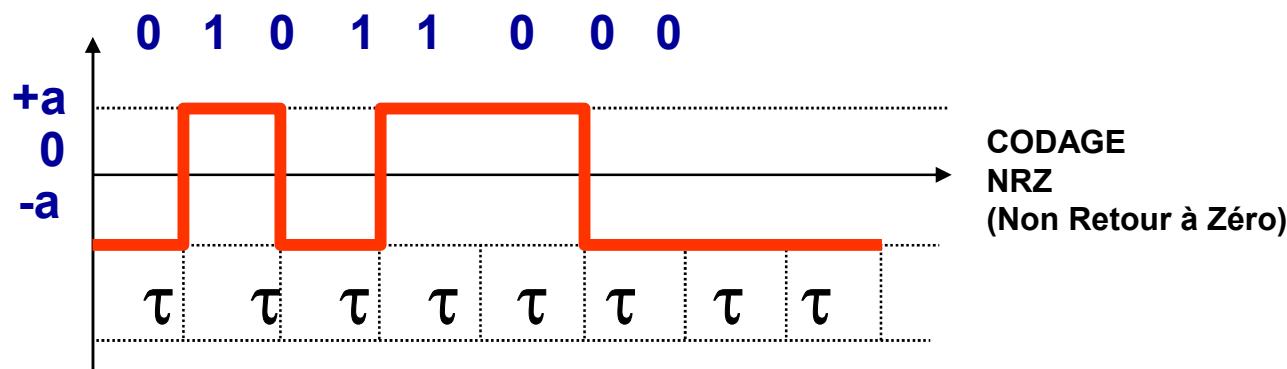
# Plan

- PRINCIPES DE LA COUCHE PHYSIQUE
- TYPES D'INFOS ET CODAGE SOURCE
- TECHNIQUES DE TRANSMISSION
- DELAIS DE TRANSMISSION
- CODES CORRECTEURS DES ERREURS

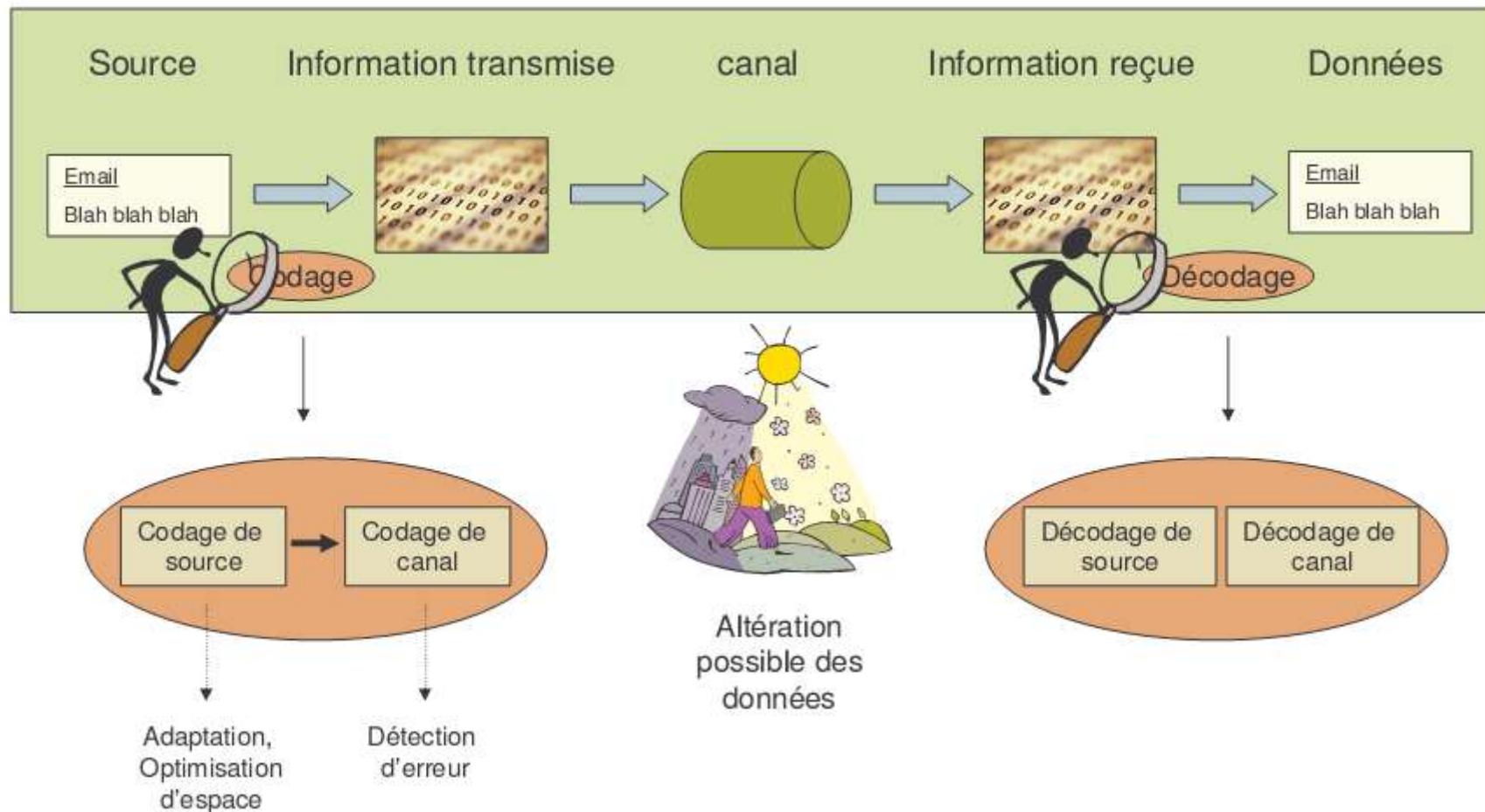
# La couche physique

## Le codage canal

- La couche physique est chargée de la transmission (émission et réception) effective d'un bit ou d'un train de bits continu sous la forme de signaux électriques ou optiques entre les interlocuteurs.
- Cette couche est chargée de la conversion entre bits et signaux électriques ou optiques.
- La transmission numérique (ou bande de base) consiste à convertir (ou coder) les bits en un signal à 2 niveaux :  $0 \rightarrow -a$  et  $1 \rightarrow +a$

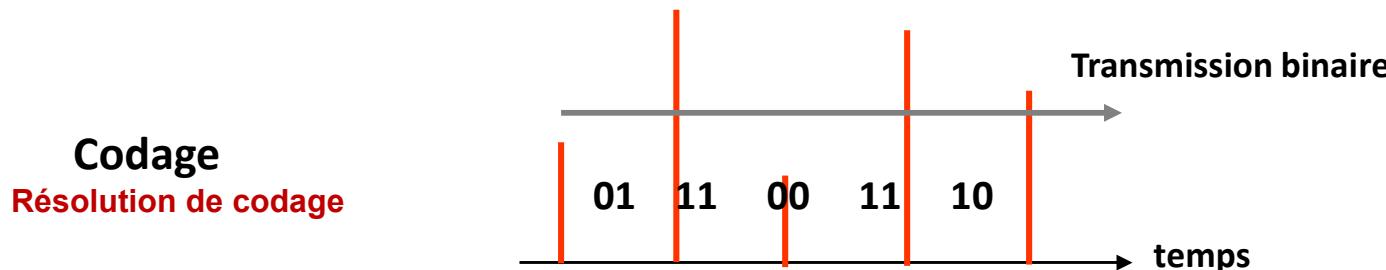
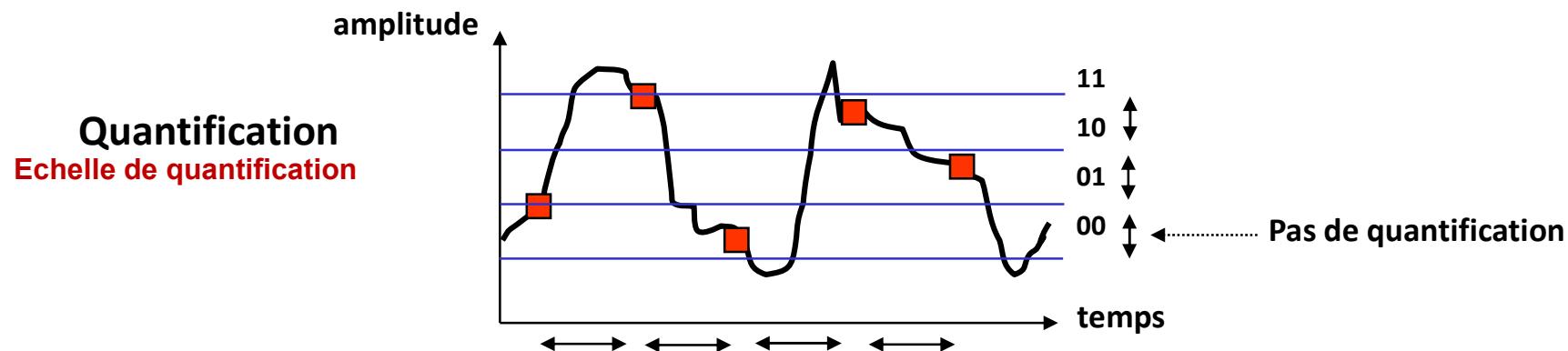
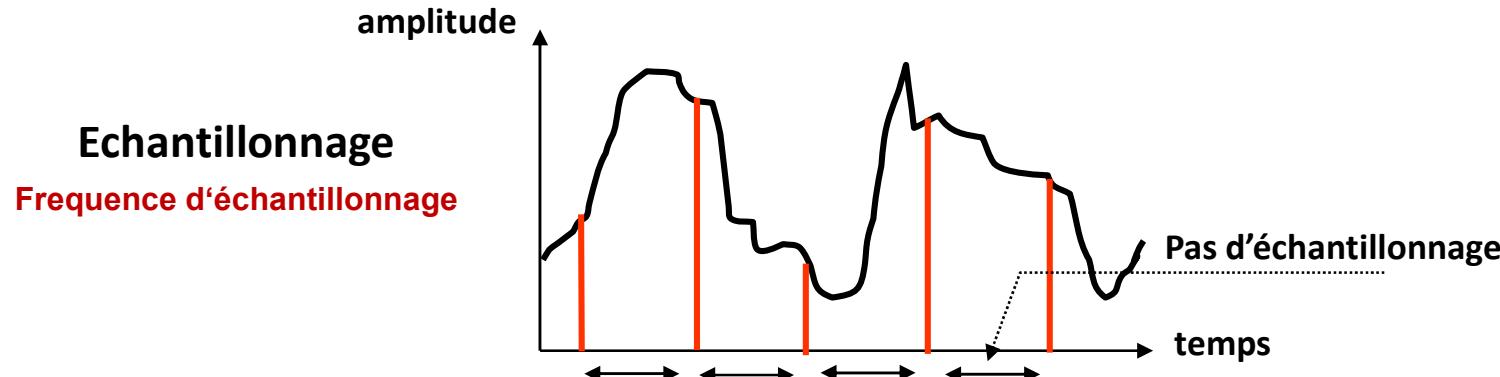


# LE CODAGE SOURCE LE CODAGE CANAL



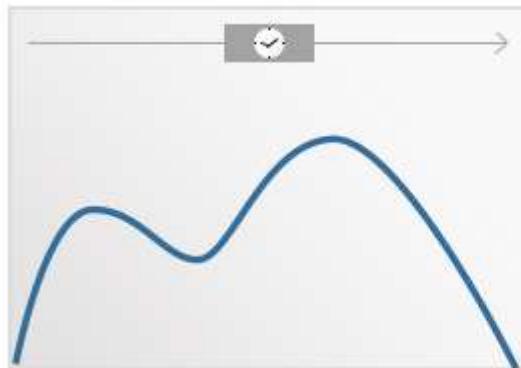
# Codage source : La numérisation

MIC: Modulation par Impulsion et Codage



# Codage source : La numérisation

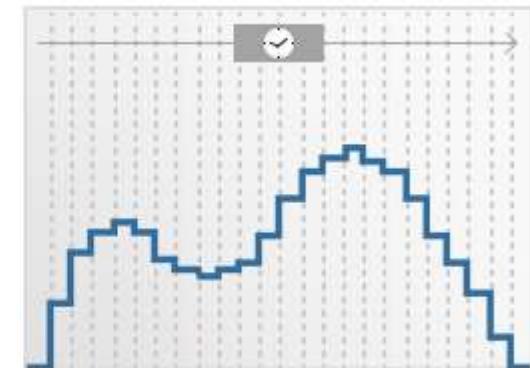
Fréquence d'échantillonage vs Echelle de quantification  
Audio Qualité CD vs Qualité Studio



Original analog recording



CD: 16bit/44.1kHz



High-Resolution Audio: 24bit/192kHz

# Codage source et Normes

Informations sous forme binaire **0 et 1** :

**Nombres** → Représentation sous forme binaire

**Texte** → Code ASCII, UTF-8

UNICODE

Code Vidéotex

...

**Image** → Noire et blanc (1 bit : 0 noir et 1 blanc)

Nuances de gris (8 bits par point)

Couleur (RVB, 8 bits par couleur → 24 bits par point)

Compression JPEG

...

**Parole, Son et Vidéo** → PCM (Pulse Modulation Code) pour un signal **analogique**

Compression DPCM (Son)

Compression MPEG (Vidéo)

...

# Codage source :

## code ASCII

**ASCII:** American Standard Code for Information Interchange

Exemples de code ASCII:

Caractère **0** → code ASCII: **30H**

Caractère **A** → code ASCII: **41H**

Caractère **SP** → code ASCII: **20H**

**SP:** Espace

**Bit de parité:** est un bit supplémentaire qu'on ajoute pour faire **8 bits**, de telle façon que la somme des éléments binaires modulo 2 soit égale à 0.

	poids forts							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	\	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	Y	f	y
0111	BEL	ETB	,	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	'	<	L	C	l	ü
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	/	>	N	↑	n	≈
1111	SI	US	?	0	<--	o	DEL	

Code ASCII 7 bits

A: 0 100 0001 → Somme des bits (mod 2)=0

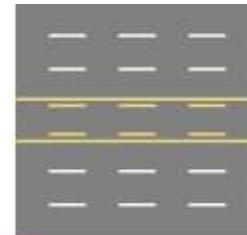
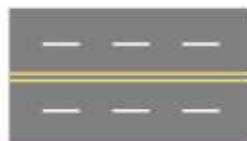
**Exemples:** B: 0 100 0010 → Somme des bits (mod 2)=0

C: 1 100 0011 → Somme des bits (mod 2)=0

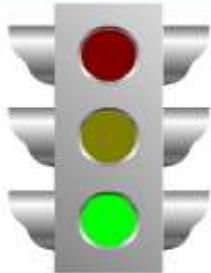
# Le canal de communication

## La bande passante

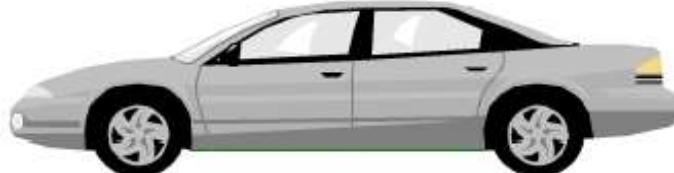
La bande passante peut être comparée au nombre de voies.



Les équipements réseau correspondent aux bretelles, aux feux de signalisation, aux panneaux et aux cartes.



Les paquets sont comparables aux véhicules.



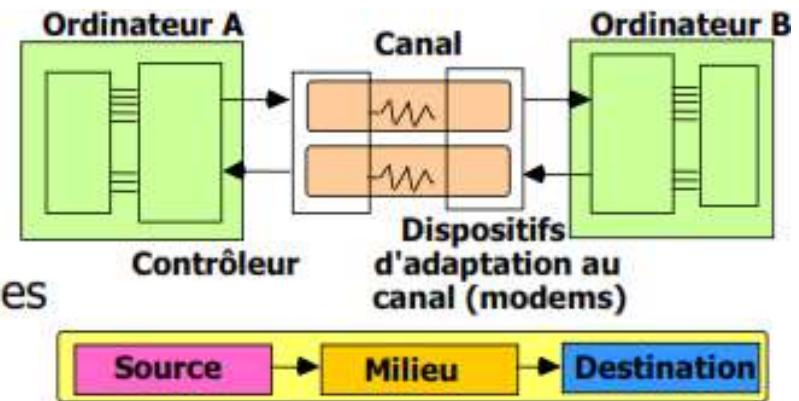
# Le canal de communication

## Le support physique

### ■ Disposer d'un support

**Physique** qui véhicule les signaux électromagnétiques:

- fils métalliques => signaux électriques
- Atmosphère => ondes radio
- fibre optique => lumière



# Définitions

- **Unités (Hz)**
  - La fréquence d'un signal (**Hertz**), est le nombre de périodes (oscillations) par seconde
  - kHz, MHz, GHz ...
- **Bandé Passante (Hz) :**
  - La bande passante d'un canal de communication ( $W$ ), est la bande de fréquences dans laquelle les signaux sont correctement reçus par la destination. Il est calculé
  - $W = F_{\max} - F_{\min}$   $F_{\max}$  : Fréquence maximale
- **Rapidité de modulation (signal numérique):**
  - $R$  (bauds) =  $1/\Delta$  ( $\Delta$ : durée d'un élément binaire)

# Débits et Capacité d'un canal

- Débit binaire:
  - $D \text{ (bits/s)} = n \cdot R$  ( $n$ : *nombre de bits/intervalle de modulation*)
- Valence:
  - $V=2^n$  est appelé **Valence** du signal.
- Capacité d'une voie de transmission (**bit/s ou bps**): est le débit binaire maximal. C'est une fonction directe de la bande passante (**W**) :
  - Selon Nyquist:  $C=D_{\max} = 2W * \log_2(V)$  (canal sans bruit) (**V** = Valence)
  - Selon Shannon  $C=D_{\max} = W \log_2(1+S/B)$  (canal bruité) (**S/B** = Signal/Bruit)
- Remarque: Lorsque  $V = 2$  (modulation simple), le débit binaire (bits/s) est égal à la rapidité de modulation (bauds). Par abus de langage on parle de débits en bauds ( $V \neq 2$ )

# Définitions

- **Décibel (dB) :**
  - En électronique, en télécommunication, en traitement du signal, le **décibel** est utilisé en plus des pourcentages **pour exprimer des rapports de puissance**.
  - Par exemple entre le **niveau du signal** et le **niveau du bruit** (SNR) dans un canal de communication, appelé rapport signal-sur-bruit (SNR).
  - Il permet de calculer le taux de transmission global du signal électrique à travers une série de composants ou de systèmes reliés les uns à la suite des autres en additionnant les valeurs en décibels calculées pour chacun d'eux au lieu de multiplier les rapports de transmission :
    - gain c'est-à-dire d'augmentation de l'amplitude par un amplificateur électronique (répéteur, switch, ...), donnant des **valeurs positives** en décibels,
    - atténuation, c'est-à-dire la diminution de l'amplitude dans un réseau de composants ou une ligne de transmission, donnant des **valeurs négatives** en décibels.

# Définitions

- **Décibel (dB) (suite) :**
  - Si on appelle  $X$  le rapport de deux puissances  $P_0$  et  $P_1$ , la valeur de  $X$  peut s'écrire en décibels comme suit :

$$X_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_0} \right)$$

*Exemples :* Si le rapport entre les deux puissances est de  $10^{0,3} = 2$  alors cela correspond à 3 dB ;

Ainsi, lorsque la puissance double, la valeur augmente de 3 dB.

Rapports de valeur de puissance et décibels

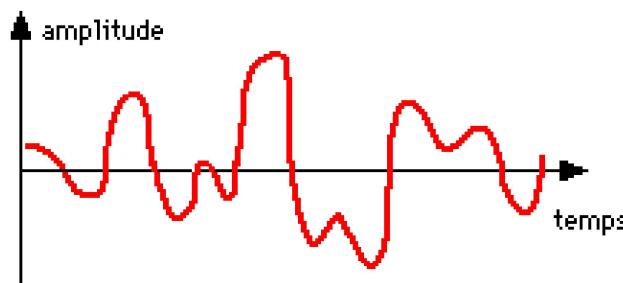
Rapport	1	1,26	1,6	2	2,5	~3,2	4	5	10
ou		$\approx \frac{5}{4}$	$\approx \frac{8}{5}$		$\approx \frac{5}{2}$	$\sqrt{10}$	$2^2$		
dB	0	1	2	3	4	5	6	7	10

- L'atténuation d'un signal:

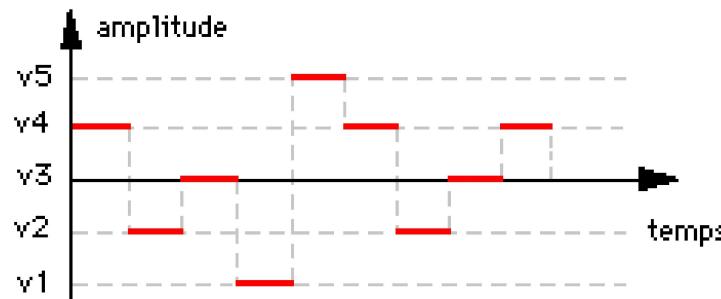
Atténuation ou affaiblissement est la diminution de l'amplitude ou de la puissance d'une onde ou d'un signal au cours de sa transmission. On la quantifie par le rapport entre leur grandeur à la sortie par celui à l'entrée de la section considérée. Ce rapport s'exprime en décibels.

# Transmission

- L'**information** (analogique ou numérique) est véhiculée grâce à un signal physique. Ce signal peut être de nature analogique soit de nature digital (numérique).
- **Transmission analogique:** Un signal analogique est un signal **continu** qui peut prendre une infinité de valeurs.



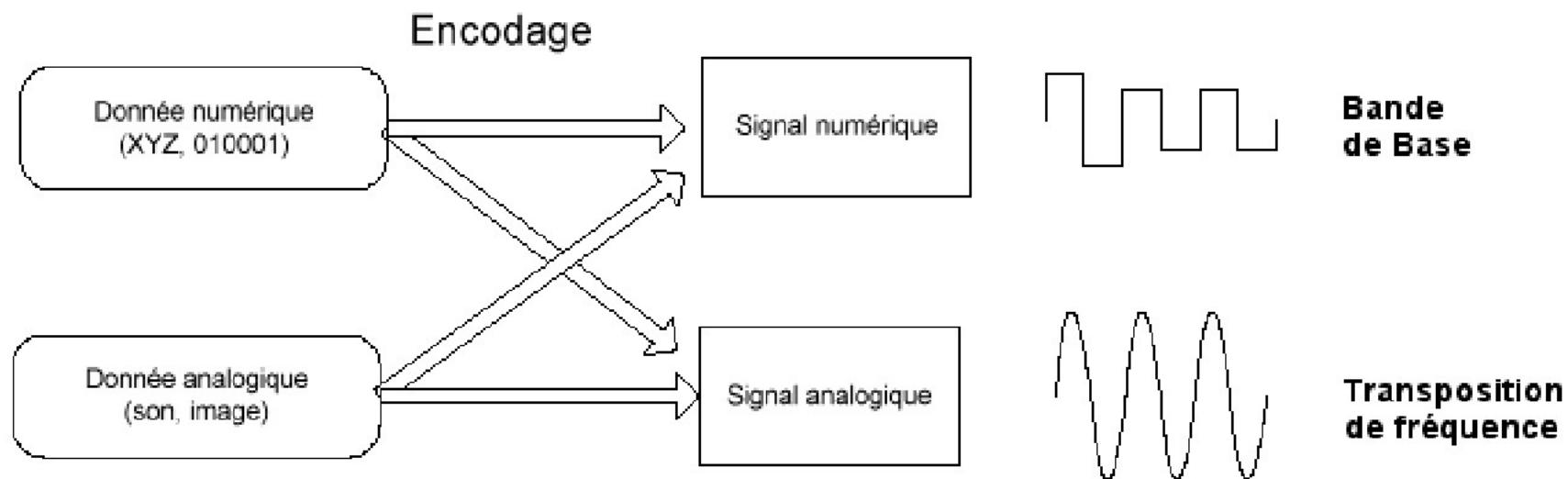
- **Transmission numérique:** un signal **numérique** varie à des instants déterminés (discontinue) dans le temps et ne peut prendre que des valeurs distinctes dans un ensemble fini.



- **Remarque:** 4 combinaisons possibles entre les différents types d'information et les modes de transmission.

# Transmission (suite)

- **4 combinaisons possibles entre les différents types d'information et les modes de transmission:**
- Information **Analogique** – Transmission **Analogique** (voix sur GSM ou Internet)
- Information **Analogique** – Transmission **Numérique** (données ordinateur sur LAN ou Internet)
- Information **Numérique** – Transmission **Analogique** (données ordinateur sur RTCP via modem)
- Information **Numérique** – Transmission **Numérique** (voix sur RTCP)



# Transmission numérique

- Codage unipolaire sans retour à zéro (NRZ)

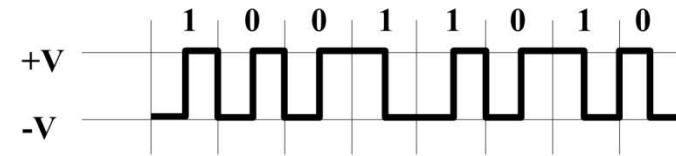
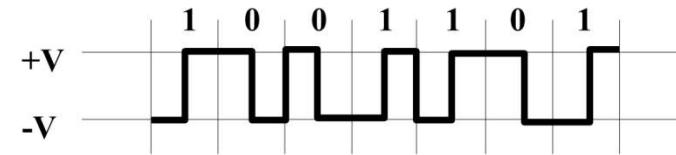
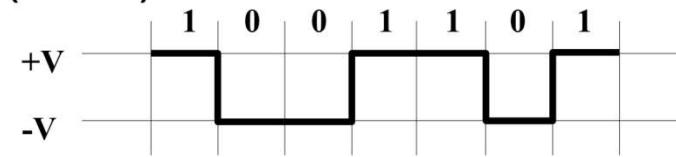
- Machine (horloge)

- Codage **Manchester** (simple)

- Inclus le signal d'horloge
    - $\frac{1}{2}$  temps bit à l'inverse de la valeur +  $\frac{1}{2}$  temps bit à la valeur.

- Codage **Manchester différentiel**

- Bit 0 = Changement de polarité
  - Bit 1 = Polarité du début temps bit identique à précédente

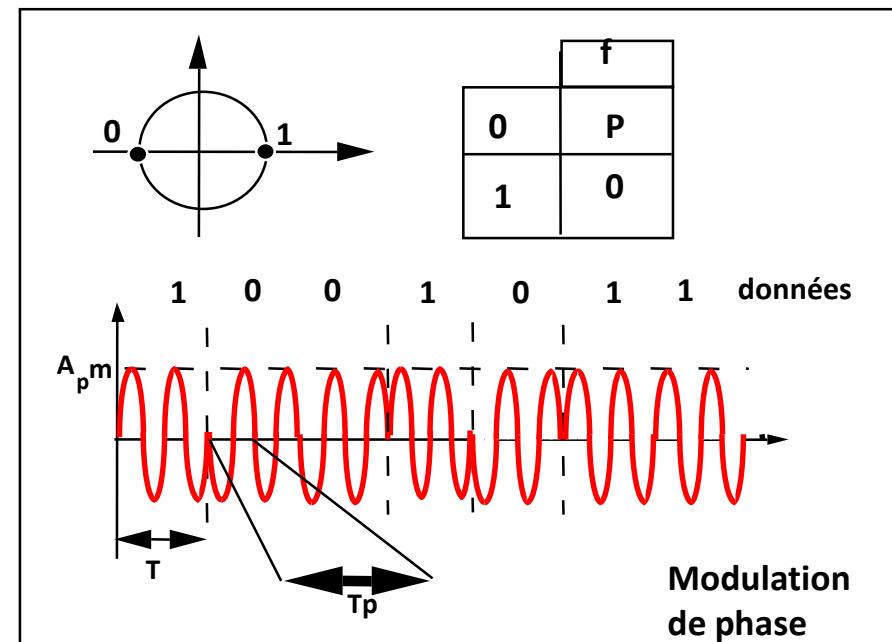
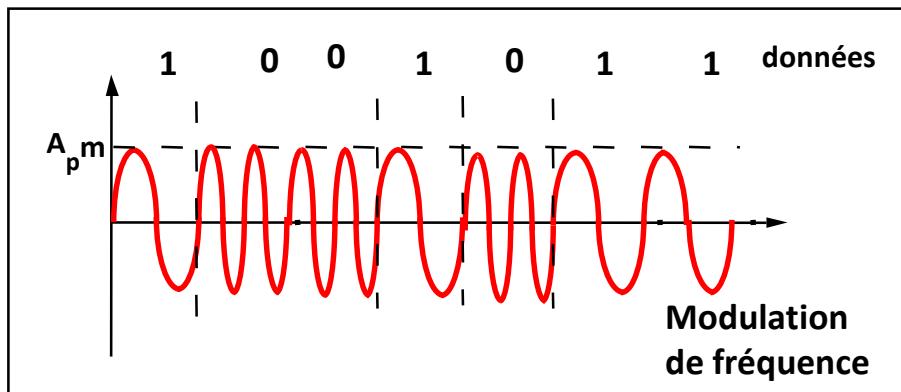
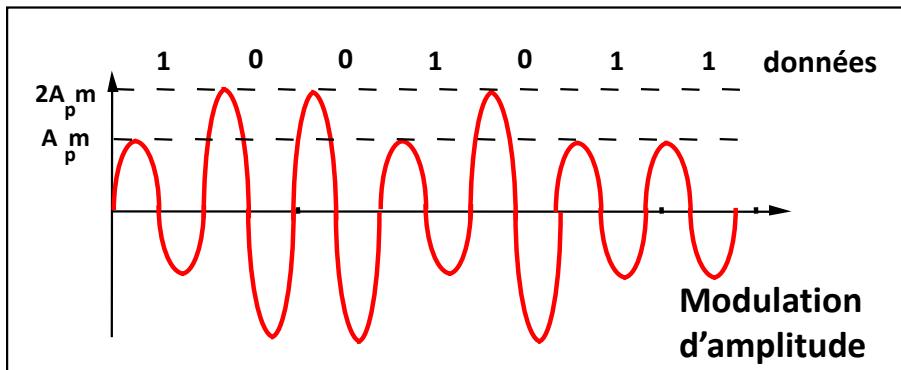


# Transmission analogique

- Un signal est caractérisé par :
  - son amplitude  $A$ , sa fréquence  $f$  et sa phase  $\Phi$ , tel que:
  - $y(t) = A \sin (2\pi ft + \Phi)$       avec       $f_{(\text{Hz})} = 1/T$  ( $T$ = période)
- Le signal est transporté sous la forme d'une onde adaptée aux caractéristiques physiques du support:
  - ddp électrique, onde radio-électrique, intensité lumineuse (fibre optique)
- Le signal se présente sous la forme d'une onde de base régulière appelée **porteuse**.
  - On fait subir des déformations (ou **modulations**) à cette porteuse pour distinguer les éléments du message (0, 1, 00, 01, 10, ....).
  - 4 types de modulations :
    - modulation d'**amplitude**
    - modulation de **fréquence**
    - modulation de **phase** (synchronisation)
    - modulation **combinée** (par exemple de phase et d'amplitude)

# Transmission analogique

## la Modulation



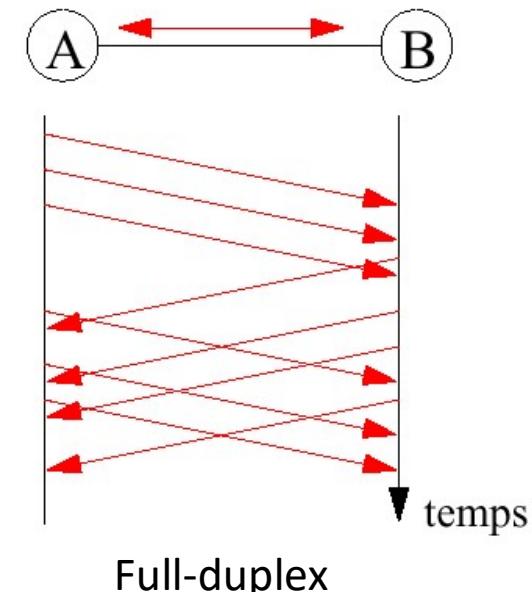
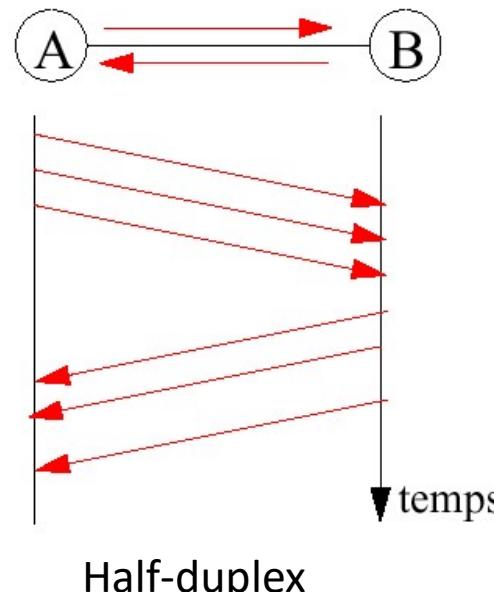
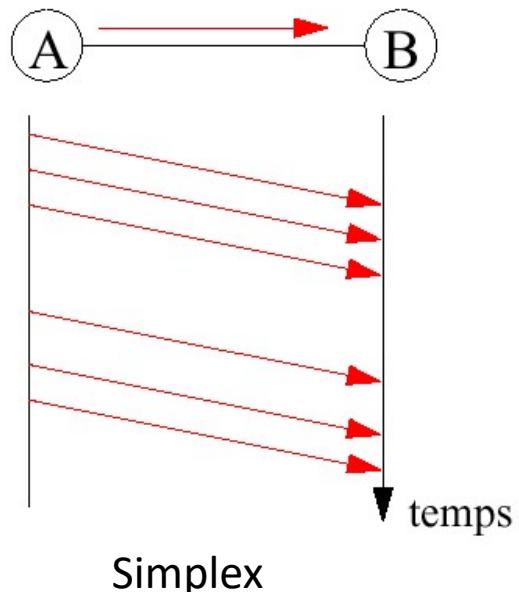
**Modem** (modulateur-démodulateur) entre l'ordinateur  
(numérique) et le système téléphonique (analogique)

# Transmission de données

## mode d'échange

### Unidirectionnel (simplex)

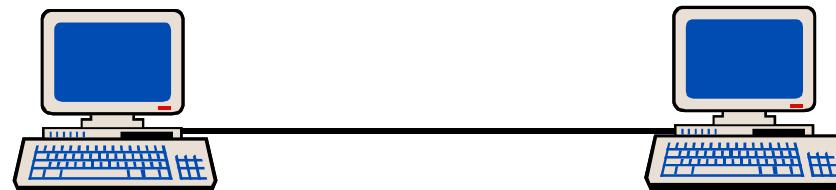
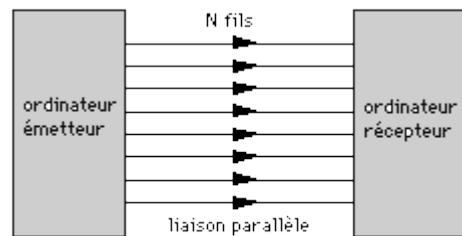
- Bidirectionnel à l'alternat (half-duplex)
- Bi-directionnel (full-duplex)



# Transmission de données

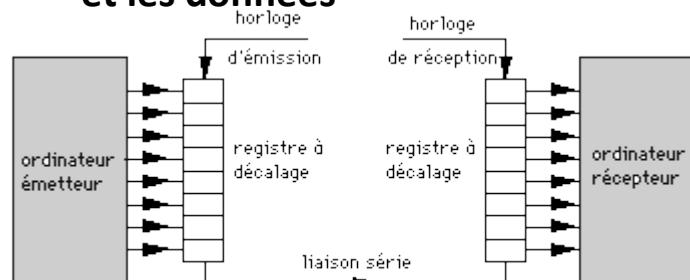
## Transmission parallèle

- ✓ *Plusieurs bits en même temps*
- ✓ *16, 32 ou 64 bits*



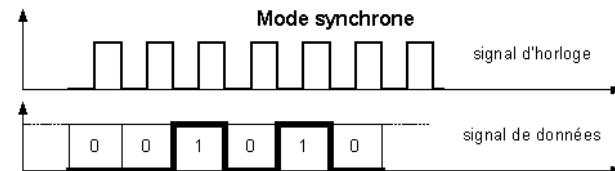
## Transmission série

- ✓ *1 bit à la fois*
- ✓ *Pour les informations de contrôle et les données*



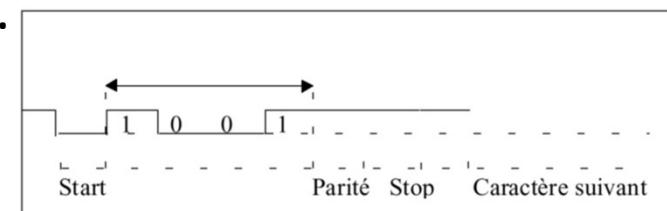
## Transmission synchrone

L'information est transmise sous la forme d'un flot continu de bits à une cadence définie par l'horloge d'émission.



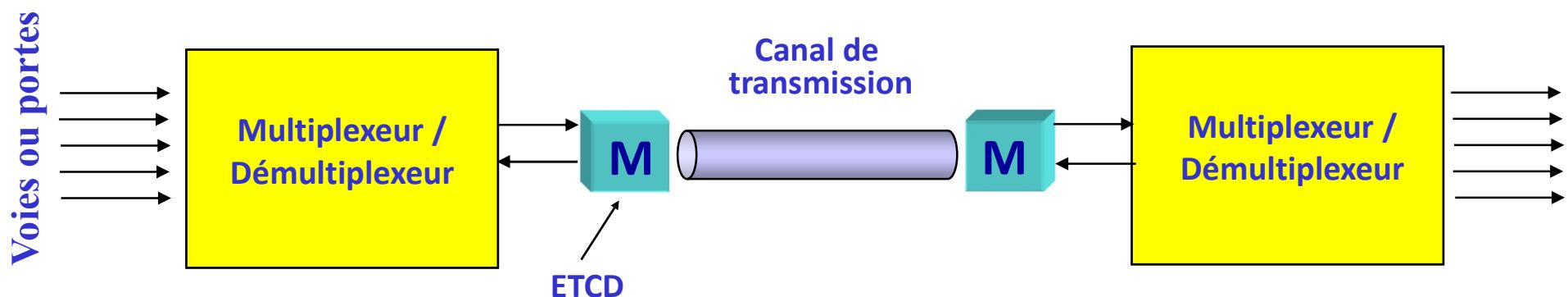
## Transmission asynchrone

Chaque caractère est émis de façon irrégulière dans le temps.



# Multiplexage

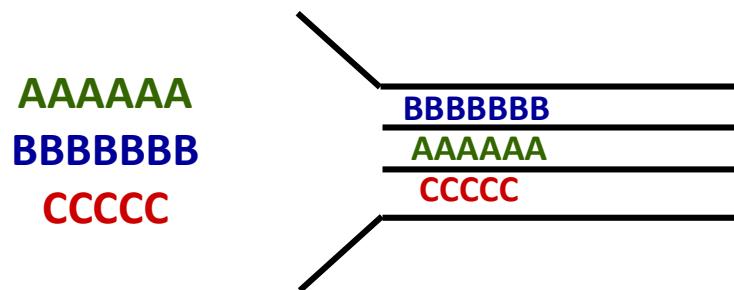
- Objectif :
  - Optimiser l'usage des canaux de transmission  
➔ transit simultané d'un maximum d'informations
- Principe :
  - Traiter le signal pour concentrer des flux d'origines diverses sous forme d'un signal composite unique  
➔ signal multiplex
- 3 techniques :
  - Multiplexage fréquentiel
  - Multiplexage temporel
  - Multiplexage temporel statistique
- Equipement:



# Multiplexage: fréquentiel, temporel

- Multiplexage fréquentiel

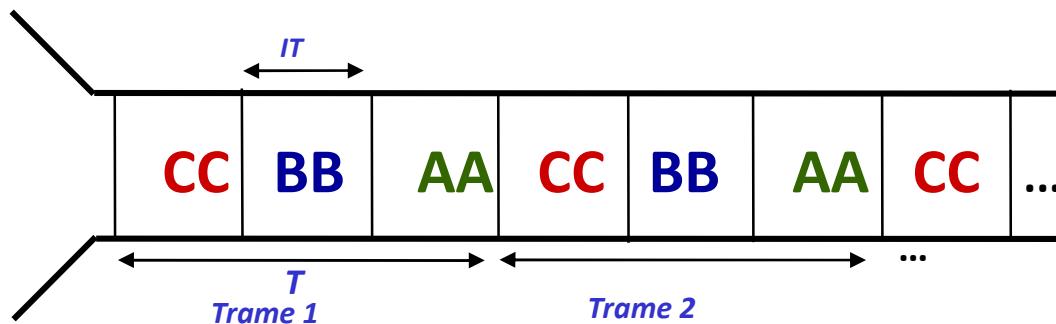
- Découper la bande passante d'un canal en plusieurs sous-bandes, chaque sous-bande est affectée à une voie de transmission



- Multiplexage temporel

- Appelé aussi TDM (Time Division Multiplexing)
- Prélèvement successif de bits ou (d'octets) sur les différentes voies reliées au multiplexeur pour construire un train de bits (ou d'octets) qui constituera le **signal composite**

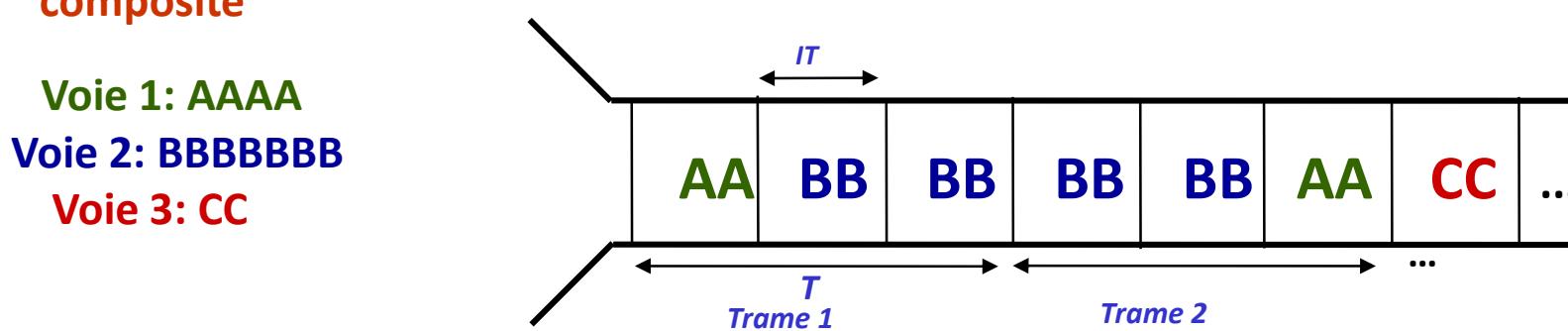
Voie 1: AAAAAA  
Voie 2: BBBBBBB  
Voie 3: CCCCC



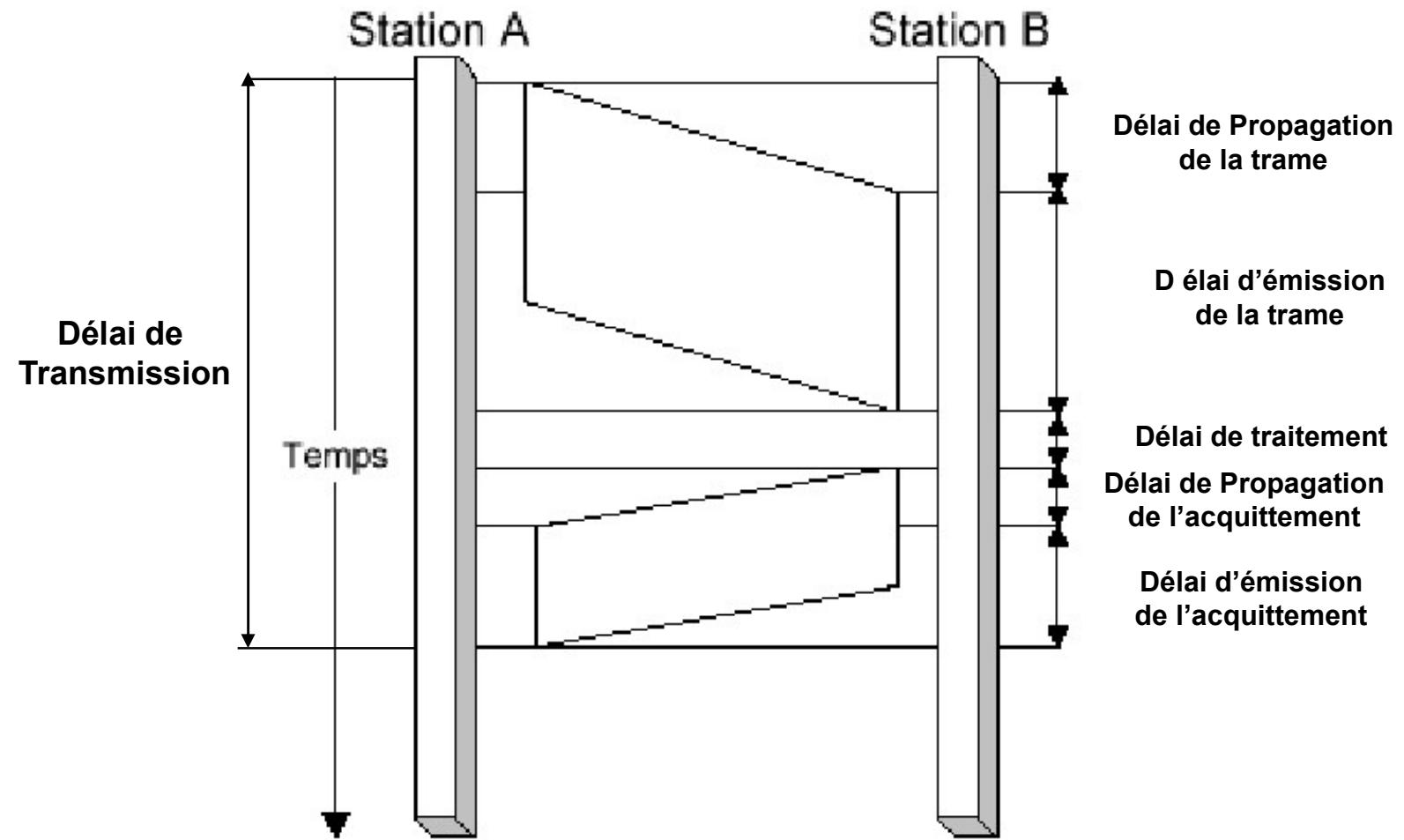
# Multiplexage: Temporel statistique

- Multiplexage temporel statistique

- Appelé aussi STM (statistical Time Division Multiplexing)
- Prélèvement successif de bits ou (d'octets) sur les différentes voies reliées au multiplexeur pour construire un train de bits (ou d'octets) qui constituera le **signal composite**



# DELAI DE TRANSMISSION



# DELAIS

Soit :

- |   |  |
|---|--|
| • C: Capacité/Débit de la ligne (bit/s) | d: distance de propagation (m)         |
| • L: Longueur de la trame (bits)        | L' : Longueur de l'acquittement (bits) |
| • V : vitesse du support (m/s)          |  |

Te: délai d'émission de la trame	= $L / C$
Tp: délai de propagation de la trame	= $d / V$
T'e : délai d'émission de l'acquittement	= $L' / C$
T'p: délai de propagation de l'ACK	= $Tp = d / V$
Texec : délai de traitement de la trame/ACK	= négligeable
T: délai de transmission (total)	= $Te + 2Tp + T'e = ((L+L')/C) + 2d/V$
délai de blocage de l'émetteur	= $2Tp + L'/C$

Efficacité d'un protocole	= Taux d'occupation du canal
	= délai d'émission des données/Délai de transmission
	= Débit utile / Débit de la ligne

# CONTRÔLE DES ERREURS

Assurer la bonne réception de toutes les données émises

- Téléphonie : 10-3 bits
- vidéo compressée : 10-6
- données informatiques : 10-9

3 opérations à effectuer :

1. détecter une erreur
2. localiser l'erreur dans les données
3. corriger l'erreur

La protection peut s'appliquer à différents niveaux :

1. Au niveau bit ou caractère (bit de parité)
2. Au niveau d'une suite de bits : trame ou paquet, ... (CRC)

Contrôle multiple :

1. codes de contrôle des erreurs (parité, CRC)
2. numérotation de trames
3. vérification de la longueur des trames

# Codage canal

## Les CODES DETECTEURS

- Si l'on veut pouvoir détecter des erreurs, le codage de canal induit toujours un ajout d'information
- Il existe deux principales manières de rajouter cette information :
  - On rajoute à la fin du message un ensemble de bits dédiés au contrôle d'erreur
    - CheckSum (somme de contrôle), **CRC** (Code de Redondance Cyclique), ...
  - On découpe le message en blocs et on calcule un ensemble de bits de contrôle pour chacun des blocs
    - On parle de **codages par blocs**
    - Parité, ...

# CODES DETECTEURS

## - bits de parité -

- Principe :

- On choisit une convention : parité paire ou impaire
- A chaque bloc de  $k$  bits on ajoute un bit tel que le nombre de 1 dans le bloc de  $k+1$  bits respecte la convention de parité.

- Exemple :

- Soit le message 01011110. On choisit  $k = 4$  et une *parité paire*
- Les deux blocs de 4 bits à coder sont donc 0101 et 1110
- Les deux blocs de 5 bits à transmettre sont donc 01010 et 11101
- Le message transmis est alors 0101011101

- Propriétés :

- Le codage de parité permet de **déetecter un nombre impair d'erreurs**
- Le codage de parité **ne permet pas de corriger les erreurs détectées**

# **CODES DETECTEURS**

## **- bits de parité -**

**Parité longitudinale LRC** (longitudinal Redundancy check) :

Pour chaque caractère, on fait la somme des bits à “1” et on ajoute un bit de redondance de parité qui peut prendre la valeur “0” ou “1” selon le type de parité utilisé.

On peut ajouter une **Parité Verticale VRC** (Vertical Redundancy check)

Exemple : donnée initiale codée sur 7 bits (ASCII) : “0011010”  
parité paire : “00110101”  
parité impaire : “00110100”

1 0 0 1 1 0 0	<b>1</b>
0 1 1 0 0 1 0	<b>1</b>
1 0 0 1 1 0 1	<b>0</b>
<hr/>	
<b>0 1 1 0 0 1 1 0</b>	

parité LRC et VRC paire

Suite d'éléments binaires émis :  
01100110 10011010 01100101 10011001

# CODES DETECTEURS

## - CHECKSUM -

- Somme de contrôle de  $s$  bits (en général 8) calculée en additionnant les valeurs de blocs de  $b$  bits (en général 8) modulo  $2^s$

- Exemple : Checksum sur 1 octet     $\rightarrow s = 8 \rightarrow 2^8 = 256$

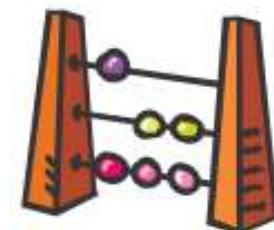
– Message à transmettre :              011010100101010101010010

$$01101010 \ 01010101 \ 01010010 = 106 + 85 + 82 = 273$$

$$273 \text{ modulo } 256 = 17$$

– Message transmis : 01101010 01010101 01010010 00010001

Checksum (représentant 17 en binaire)



# **CODES DETECTEURS**

## **- CRC ou Codes polynomiaux -**

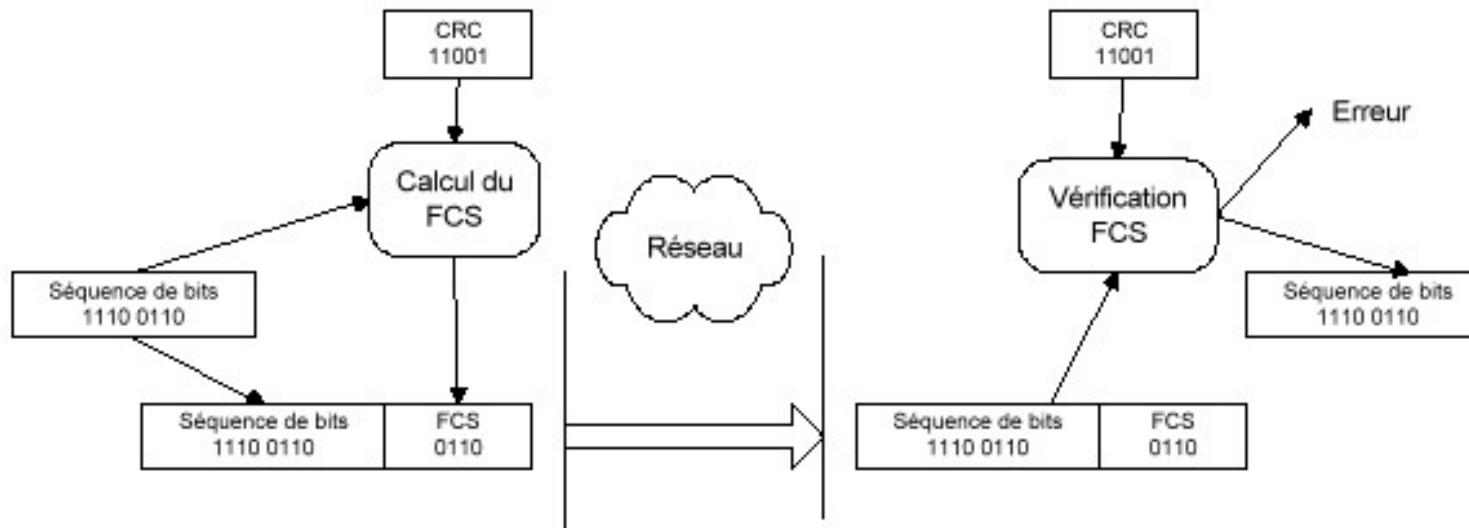
- s'applique sur une suite quelconques de bits
- détection des erreurs plus fiable,
- moins gourmand en ressources

Exemples: codes polynomiaux :

$$\text{CRC-12} = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + x^0$$

$$\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + x^0$$

$$\text{CRC-CCITT} = x^{16} + x^{12} + x^5 + x^0$$



# CODES DETECTEURS

## - CRC ou Codes polynomiaux -

- On considère une suite de  $n+1$  bits comme un **polynome de degré  $n$**  où les coefficients ne peuvent prendre que les valeurs 0 ou 1.
  - Exemple :  $1001011 = x^6 + x^3 + x + 1 \longrightarrow \text{degré} = 6$
- L'addition et la soustraction de tels polynomes sont de simples Ou-Exclusifs

$$\begin{array}{r} 101101 = x^5 + x^3 + x^2 + x^0 \\ + 1011 = \hline 100110 = x^5 + x^2 + x \end{array}$$
$$\begin{array}{r} x^3 + \\ x^3 + \end{array}$$
$$\begin{array}{r} x + \\ x \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 101101 = x^5 + x^3 + x^2 + x^0 \\ - 1011 = \hline 100110 = x^5 + x^2 + x \end{array}$$
$$\begin{array}{r} - x^3 \\ - x \end{array}$$
$$\begin{array}{r} - x \\ - x^0 \end{array}$$

# CODES DETECTEURS

## - CRC ou Codes polynomiaux -

- On choisit un **polynôme générateur** noté  $G(x)$  de degré  $d$ 
  - CRC-12       $= x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + 1$
  - CRC-16       $= x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
  - CRC-CCITT     $= x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
  - CRC Eth.      $= x^{32} + x^{26} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + + x^2 + x$
- On ajoute au message  $M$  à transmettre un bloc **B0** de  $d$  bits à 0
- On effectue la **division de  $M.B0$  par  $G(x)$** , On obtient un reste  $R$  de  $d$  bits
  - L'opération de division est la division classique avec l'addition et la soustraction précédentes
- On transmet  **$M' = M.R$**
- Si à l'arrivée on vérifie  **$M'(x)/G(x) = 0$** , alors on considère qu'il n'y pas eu d'erreur.
- Un CRC de  $d$  bits permet de détecter :
  - Avec une probabilité de 1 la présence de paquets d'erreurs de longueur  $< d$
  - Avec une probabilité de  $(1 - 1/2^{d-1})$  la présence de paquets d'erreurs de longueur  $d$
  - Avec une probabilité de  $(1 - 1/2^d)$  la présence de paquets d'erreurs de longueur  $> d$

# CODES DETECTEURS

## - exemple CRC -

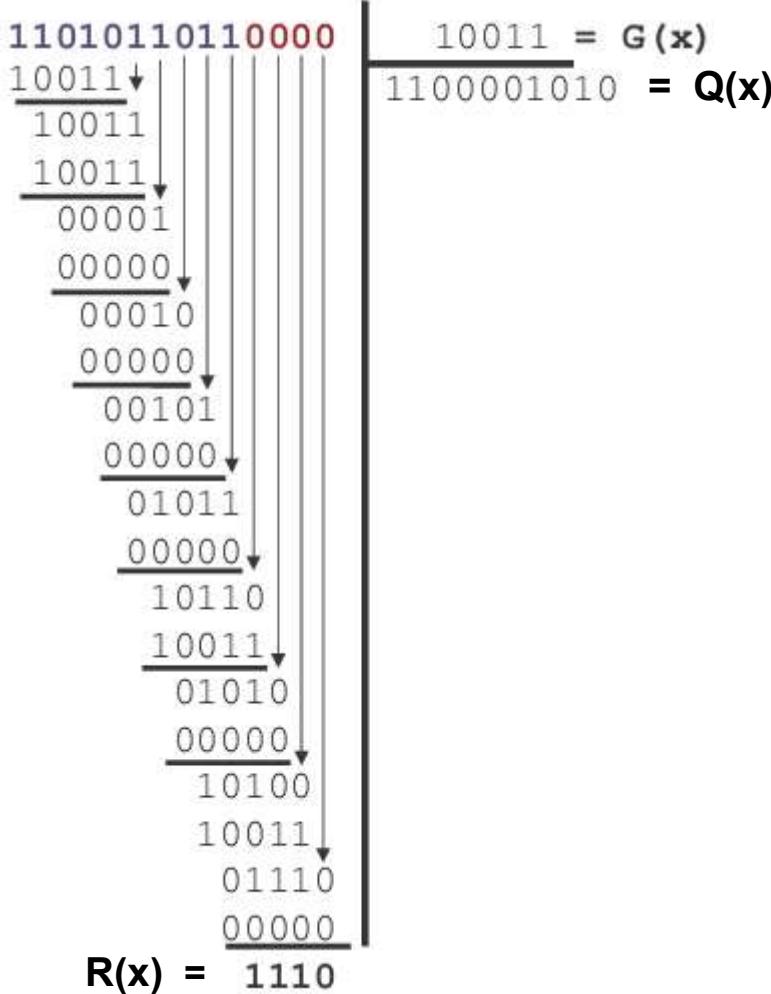
Exemple : CRC sur 4 bits

- $M = 1101011011$
- $P(x) = 110110110000$
- $G(x) = x^4 + x + 1$
- $d$  (degré) = 4
- CRC = **1110**

– Message transmis :

$$M'(x) = P(x) \cdot R(x)$$

$$\boxed{M'(x) = 1101011011 \ 1110}$$



# **CODES DETECTEURS**

## **- checksum et CRC -**

### **Problèmes :**

Ces codes détectent les erreurs mais :

- ne les localisent pas
- ne les corrigeant pas !!

### **Solutions :**

1. L'émetteur numérote les blocs de données à transmettre
2. Le destinataire acquitte les blocs reçus
3. L'émetteur retransmait les blocs erronées

Rôle du protocole de communication entre l'émetteur et le destinataire

# Distance de Hamming

- Distance de Hamming entre deux mots: XOR
  - nombre de bits différents entre 2 mots du code  
= nombre de bits à 1 dans le résultat du XOR
- Ex:  $10001001 \wedge 10110001$  i.e. 3

$$\begin{array}{r} 10001001 \\ 10110001 \\ \hline 00\textcolor{red}{111}000 \end{array}$$

## Détecter

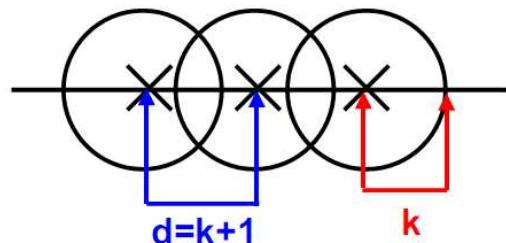
Trame: longueur  $n$  bits =  $m$  données +  $r$  contrôle

- L'ensemble des  $n$  bits est un **mot du code**

Distance de Hamming **d'un code** est  $d$

=>  $d$  erreurs suffisent pour passer d'un mot à un autre

Déetecter  $k$  erreurs nécessite une distance de Hamming de  $d=k+1$



## Corriger

Pour corriger  $k$  erreurs,  
il faut que la distance de  
Hamming soit d'au moins  $d=2k+1$

Le nombre minimal de bits de contrôle  $r$   
permettant de corriger **une** erreur (où qu'elle soit)  
doit vérifier:  $(m+r+1) \leq 2^r$

Comme on connaît  $m$ , on peut trouver  $r$ .

