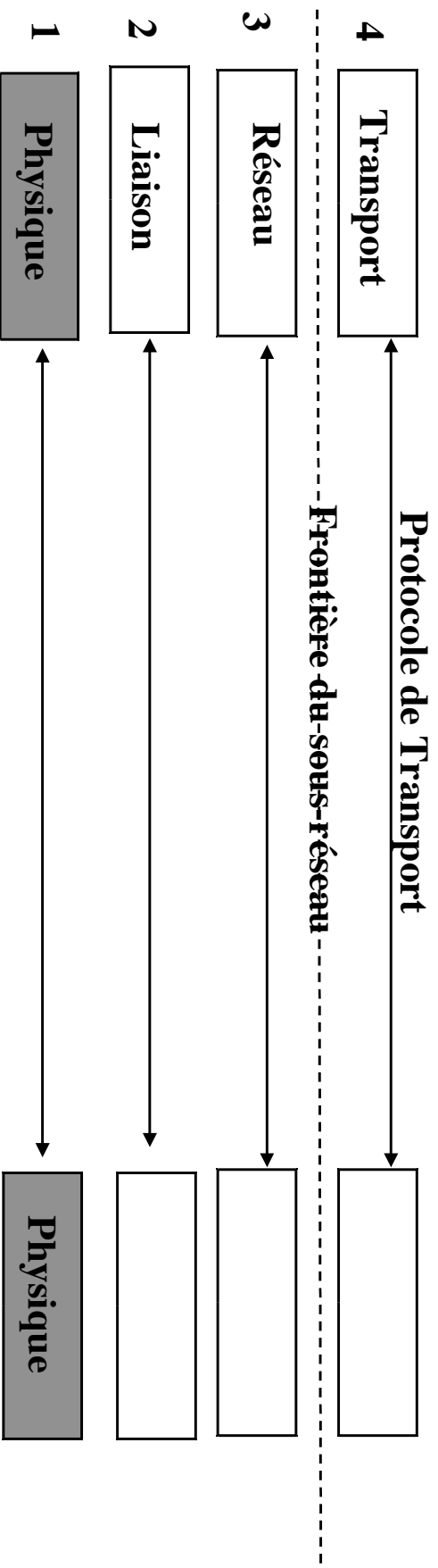


La couche physique



Plan du chapitre

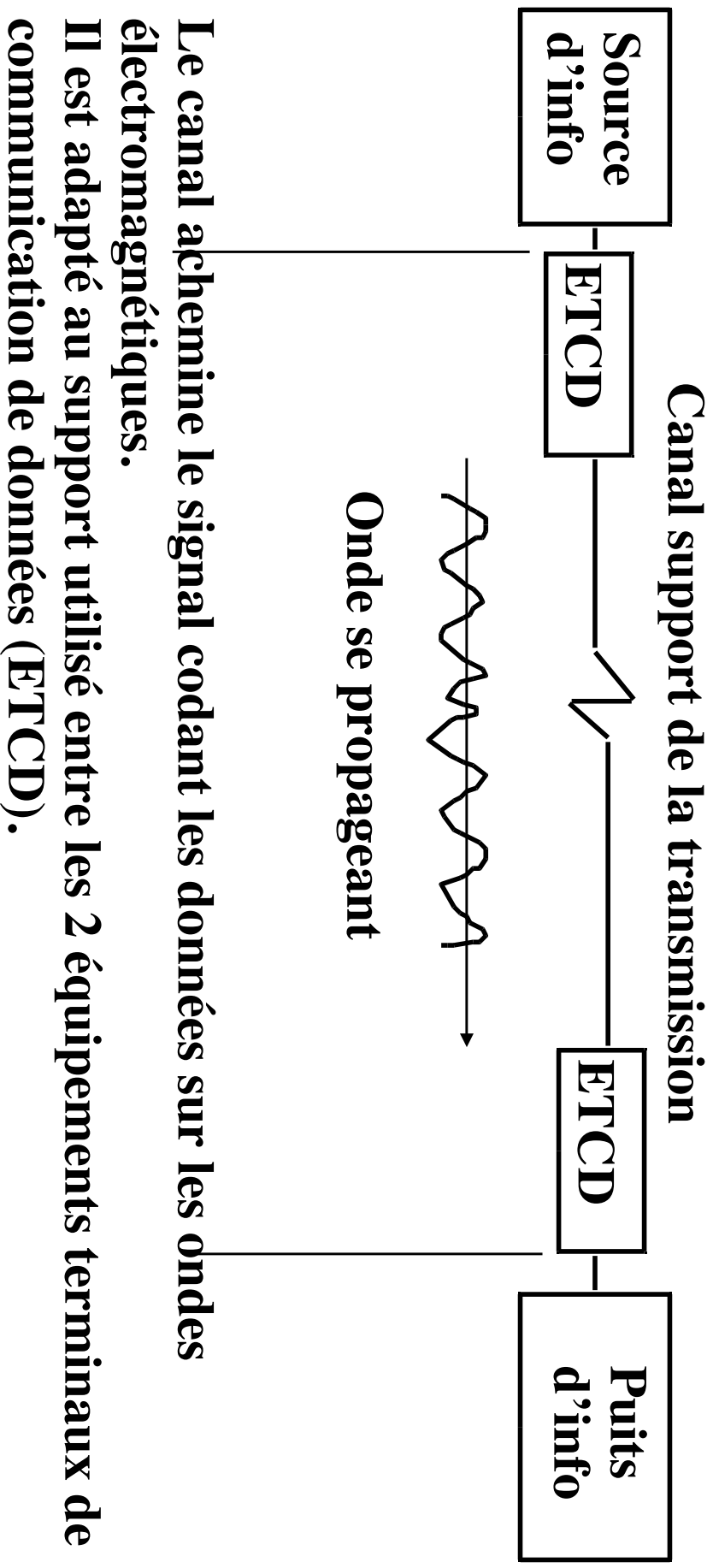
- Nature et représentation de l'information à transmettre
- Principes de la Transmission
- Mode de transmission
- Caractéristiques des voies de communications
- Les supports de communications

Fonctionnalités

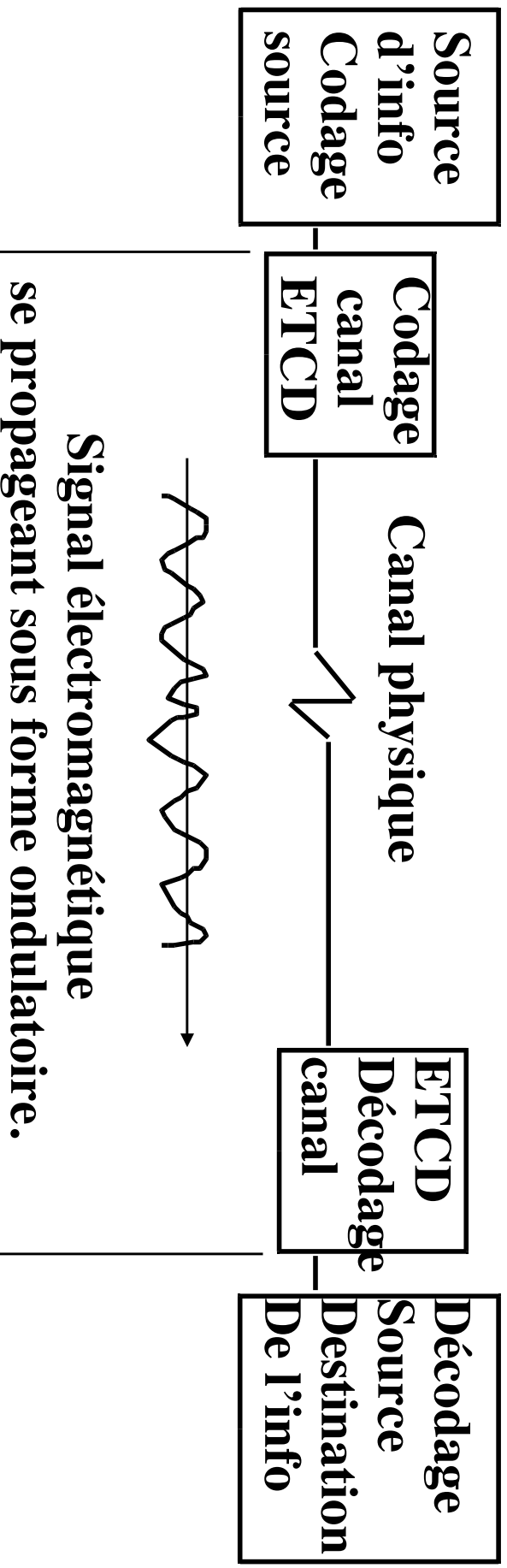
couche 1

- Codage de l'information en signaux électromagnétiques
- Description des supports physiques permettant l'émission des signaux (média)
- Paramètres globaux :
 - Sens de transmission
 - Typologie des communications

PRINCIPE DE LA TRANSMISSION



Modélisation du canal de transmission

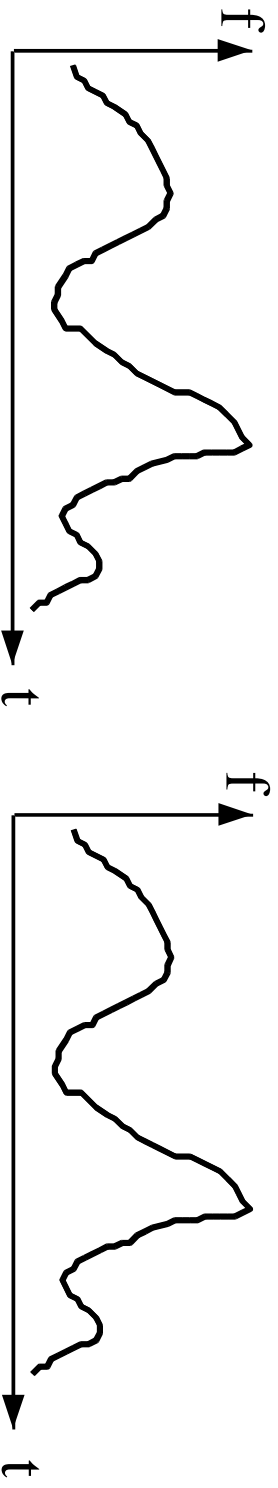


Le choix des codages utilise :

- Théorie de l'information (C. Shannon 1916-2001).
- Théorie du signal et du bruit.
- Traitement du signal (J. Fourier)
- Electromagnétisme

Modes de transmission

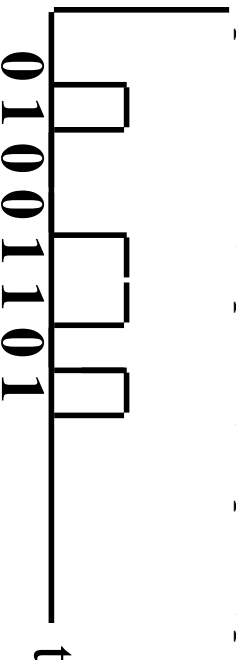
- Analogique
 - Le support propage directement l'onde de l'information analogique à transporter
- Exemple : la voix pour le téléphone à cadran (plages de fréquences entre 300 et 4000Hz)



- Numérique

- Bande de base : après discrétisation de la source, les valeurs numériques sont codées directement sur les symboles en valeurs d'amplitude de l'onde. Le décodage est réalisé à l'aide de seuils pour restituer des valeurs numériques. Par exemple 1 et 0 dans la figure ci-dessous.

- Modulation : L'information source est utilisée pour déterminer un symbole qui modifie (module) un ou plusieurs des paramètres (amplitude, fréquence, phase) du signal sinusoïdal associé au canal, appelé onde porteuse. a



La communication analogique

- Exemple le téléphone fixe des années 1930 à 2010
- Voix directement transformée en signal analogique
- Support paire de fils cuivre de bout en bout et commutateur
- Inconvénients
 - Taux d'erreur important dans la réalité
 - Multiplexage de plusieurs voies sur même support très compliqué et coûteux
 - Coût des composants ...
- Avantages
 - Proche du signal physique (en théorie)
 - Sans perte ? Lorsque parfait !

La communication numérique

- Exemple la visioconférence whatsapp
- Voix échantillonnée et codée numériquement
- Signaux représentent des groupes de bits
- Support : modulation sur n'importe quel média
- **Avantage du numérique:**
 - Multiplexage facile
 - Régénération parfaite des signaux
 - Théorie du traitement du signal
 - Traitements des données numériques facilité par IT
 - Coût des composants numériques (processeur et mémoire) en baisse constante
- **Inconvénients**
 - Discrétisation obligatoire
 - Perte d'information ? Mais connue précisément dès la conception ...

Vocabulaire

- **Types de transmission :**
 - **Sens: Simplex :** 1 seul sens ; **Half duplex :** 2 sens en alternance ; **(Full) Duplex :** 2 sens en même temps
Exercice : FO, UTP6, Coaxial, Radio
 - **Série:** les signaux les uns après les autres sur 1 support, cf port série, USB
 - **Parallèle :** plusieurs signaux en même temps sur plusieurs supports (sous-)canaux série souvent identiques. **Exemple :** imprimante port parallèle, bus d'un ordinateur, NoC.
- **Relation en émetteur et récepteur :**
 - **Synchrone:** un symbole d'information / top d'horloge connu de l'émetteur et du récepteur
 - **Asynchrone:** l'émetteur émet quand il veut mais il faut en général délimiter l'unité d'information (bit octet, trame) par une marque de début (et de fin).
 - Souvent une communication est asynchrone au niveau de son déclenchement dans le système et synchrone au niveau des symboles ou bits transmis grâce à un préambule de synchronisation placé juste avant le début de la trame et qui « cale » le récepteur sur l'émetteur.
- **Affaiblissement du signal :**
 - dépend de la distance donc on n'a pas les mêmes caractéristiques suivant les distances de transmission
 - il faut des répéteurs pour ré-amplifier le signal.

Représentation de l'information

- Valence V d'une voie :
 - nombre d'états logiques distincts, non compris l'état au repos, utilisés pour représenter l'information dans les symboles transmis sur le média.

Exemple : $V = 2$, Voie bivalente $E \in \{e1, e2\}$

» $0 \rightarrow e1$; $1 \rightarrow e2$

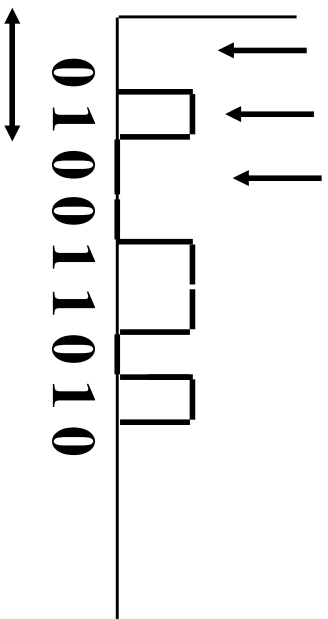
Exemple : $V = 4$, Voie quadrivalente $E \in \{e1, e2, e3, e4\}$

» $00 \rightarrow e1$, $01 \rightarrow e2$, $10 \rightarrow e3$, $11 \rightarrow e4$

Performance de transmission

- **Fréquence d'une ligne ou bande passante:**
 - En Baud: nombre d'échantillons distincts ou symboles émis par seconde et reconnus par le récepteur. La limite est la bande passante de la ligne.
- **Débit binaire d'une ligne:**
 - En bits par seconde
 - Dépend de la valence (nombre de bits par symboles) et de la fréquence de la ligne (nombre de symboles par seconde).
 - Exercice : Si $V=2$ alors ...

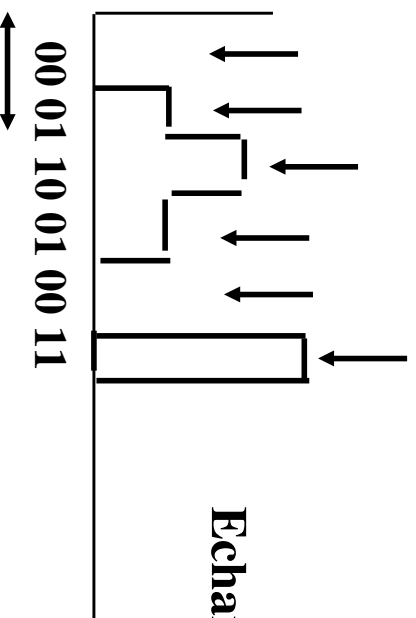
- **Ex: $V = 2$** **Echantillons en amplitude e_0, e_1**



Période = $1/F$

On sait reconnaître les 1 et 0 en échantillonnant toutes les demi périodes

- **Ex: $V = 4$**



Echantillons en amplitude e_0, e_1, e_2, e_3

Période = $1/F$

On sait reconnaître les valeurs en échantillonnant toutes les demi périodes

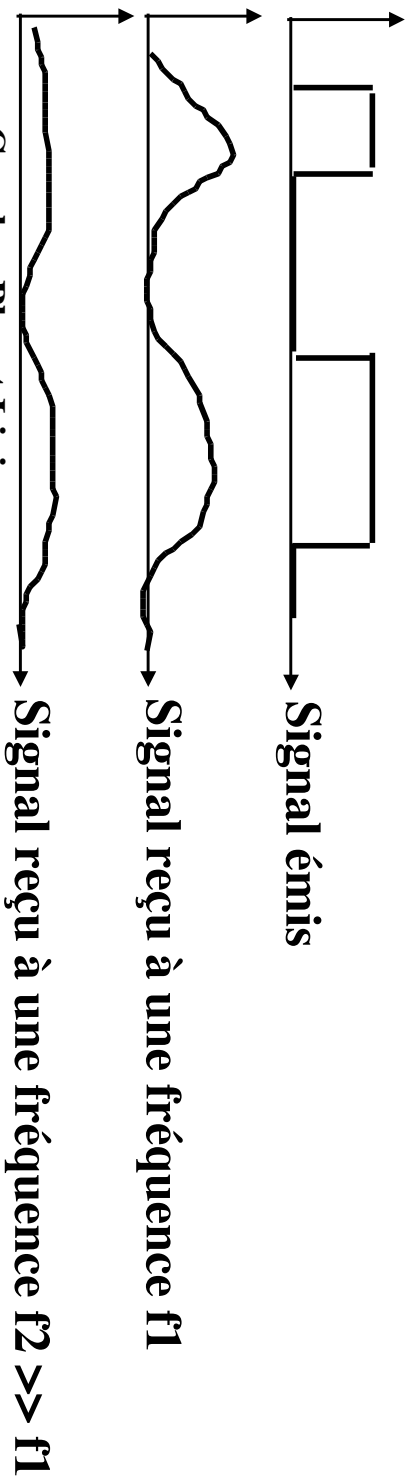
La transmission numérique en France

- Années 80 Réseau Numérique à Intégration de service RNIS (réseau numérique à intégration de service)
 - Premier réseau numérique en France
 - Réalisation France Télécom -> Numéris, basé sur le cablage téléphonique
 - Services offerts:
 - » Accès de base:
 - Deux canaux numériques à 64 kbit/s pour la voix numérisée ou les données (trame de 125 us),
 - Un canal 16 ou 64 kbit/s pour la signalisation
 - » Des canaux numériques modulés de débits 384, 1536, 1920 kbit/s
- Evolution rapide en 2000 vers la famille XDSL : ADSL1 – ADSL2 – SDSL (au départ destiné à remplacer les lignes « Transfix » de débit garanti dans les 2 sens de transmission)
 - Hautes fréquences sur le réseau téléphonique (1.1MHz)
 - mais atténuation= f (distance)
 - Débit max 8Mb/s à 19.4Mb/s
 - 255 sous canaux half duplex utilisés en simplex (cf. Assymétrique DSL) avec des modulations appropriées et dynamiquement adaptées lors de la synchronisation initiale.

Principes de transmission en bande de base

On transmet directement le signal sur le canal porteur.

- Il y a un affaiblissement et une distorsion des signaux qui varient suivant le support, fréquence, la distance et l'environnement
- Au dessus d'une fréquence dite de coupure: on ne traite plus le signal (filtrage)
- Théorie du signal: courbe de variation de l'affaiblissement en fonction de la fréquence
- Bande passante: plage de fréquence sans trop d'affaiblissement où l'on sait reconnaître les signaux contenant l'information que l'on a émise
- Utilisé pour les réseaux locaux (LAN) de type Ethernet filaire



Codage de l'information numérique en bande de base

- Nature de l'information à transmettre
 - suite d'éléments binaires codant l'information
- Transmission des informations
 - en modifiant l'état logique E de la voie au cours du temps
- Correspondance état logique / état physique

À chaque état logique peut être associé

- une valeur, ou une plage de valeur de l'état physique
- une transition entre deux états physiques

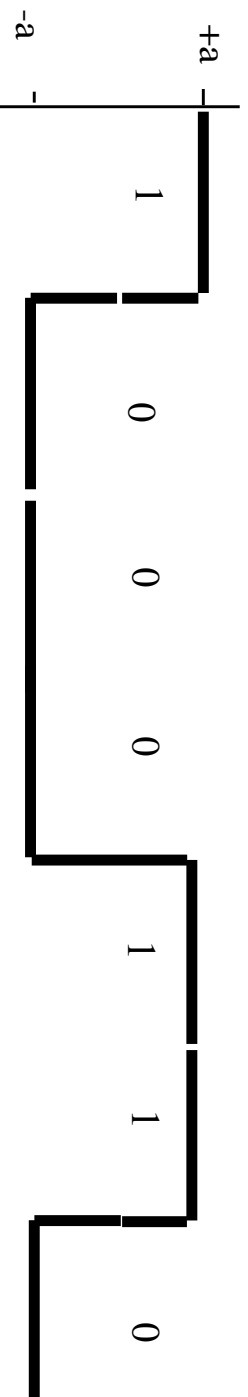
Exemple : E dans {e1, e2}

- » e1 = 3, 5 V \pm 0,5 V ; e2 = -3, 5 \pm 0, 5 V
- » e1 = 3,5 V \rightarrow - 3, 5 V ; e2 = -3, 5 V \rightarrow 3, 5 V

Exemples de codage

- Codage NRZ Non-Return to Zero : le plus simple

tension



Inconvénients : suite de 1 ou 0 avec la même tension !

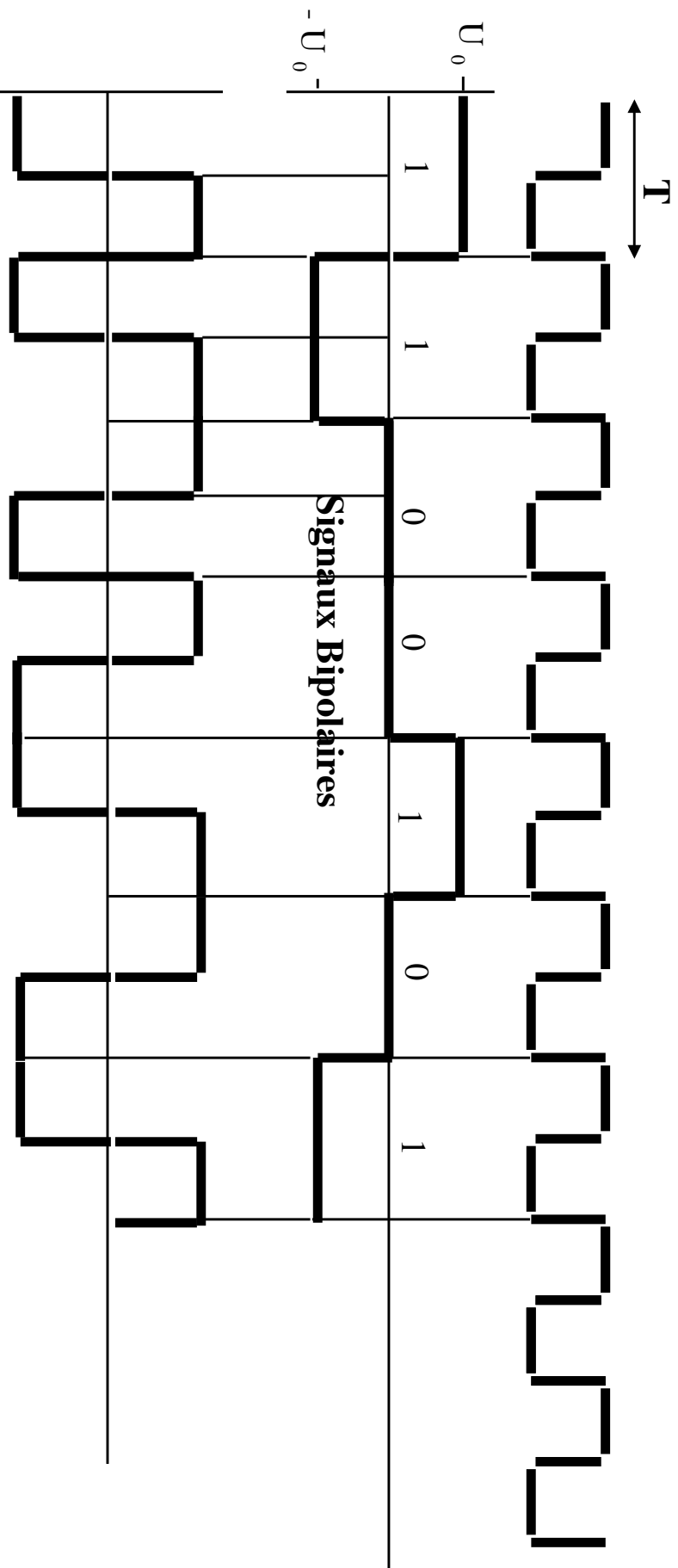
→ problème de synchronisation émetteur /récepteur

Surtout si valeur au repos = valeur du 0 par exemple

→ problème de séparation des valeurs

Surtout si plusieurs valeurs identiques consécutives

Exemples de codage



Codage Biphase ou Manchester

- codage avec le sens des fronts en milieu de periode
- très robuste, utilisé dans Ethernet

Synchronisation de la transmission

- **But**
 - Assurer que le récepteur prélève l'information aux instants où le signal est significatif. Il s'agit donc gérer la référence de temps.
- **Méthode synchrone**
 - Émetteur et récepteur disposent d'un même référentiel temporel qui détermine les instants de dépôt et de prélèvement des bits.
 - Le référentiel temporel appelé horloge est un signal de synchronisation le plus souvent fourni par l'émetteur grâce à la fréquence de la porteuse
 - Exemple : à l'intérieur des puces électroniques

Synchronisation de la transmission (2)

- **Méthode asynchrone**

- Pas de référentiel temporel commun à l'émetteur et au récepteur
- Les horloges de l'émetteur et du récepteur ont \sim la même fréquence
- L'horloge bit du récepteur est définie et calée à partir du signal de début de bloc
- Attention: dérive d'horloge ...

- **Comparaison**

- Le mode synchrone est utilisé pour des transmissions ultra rapides, à très courte distance et qui mettent en jeu de grandes quantités d'informations
- Le mode asynchrone est utilisé pour des liaisons à plus faible vitesse où la source de données produit des caractères à des instants aléatoires. Par exemple la liaison terminal ordinateur ou les LAN. On synchronise alors à chaque début de transmission d'une unité de données.

Exemple de transmission synchronisée au niveau bit mais asynchrone au niveau trame

Ethernet:

Asynchrone au niveau PDU (trame) et Synchronone au niveau bit

Préambule: 7 octets: 10101010

Codage Manchester : signal carré: synchronisation niveau bit

Fanion de début de trame: octet: 10101011

Séparation minimum des trames par des « silences » de 9,6 microseconde

Fin de trame : violation du codage Manchester (par un symbole inexistant)

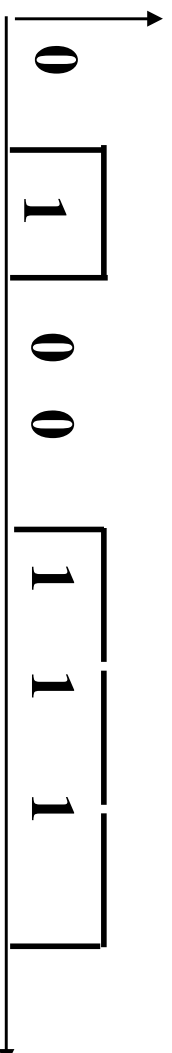
Principe de la transmission par modulation d'onde

- Modem: modulateur/démodulateur

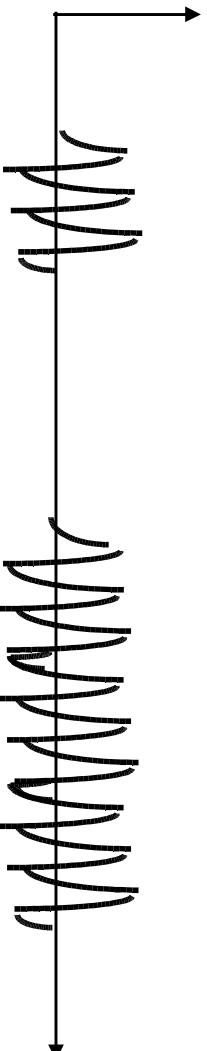
Principe : L'information codée numériquement sert à modifier un ou plusieurs les paramètres d'un signal sinusoïdal, appelé onde porteuse, choisi pour être la mieux adaptée au support.

- Paramètres de modulation :
 - fréquence
 - amplitude
 - phase
- (Presque) Toutes les combinaisons sont possibles
- Exemple: combinaison de 4 phases et deux amplitudes
 - $V=8$ valeurs donc 3 bits codés par symbole
- Exemple: modem V34 : 12 bits par symbole à 2400 bauds
 - $V=?$; débit binaire maximum = ? bit/s

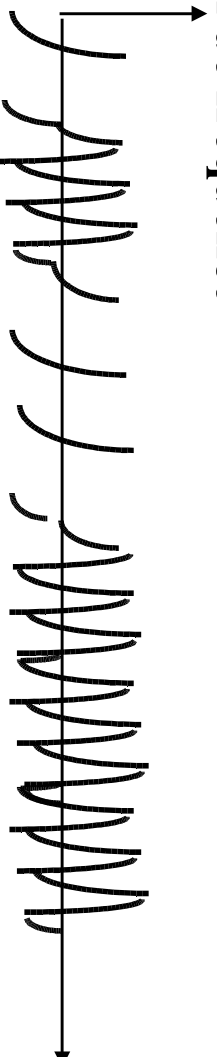
- Information binaire à émettre :



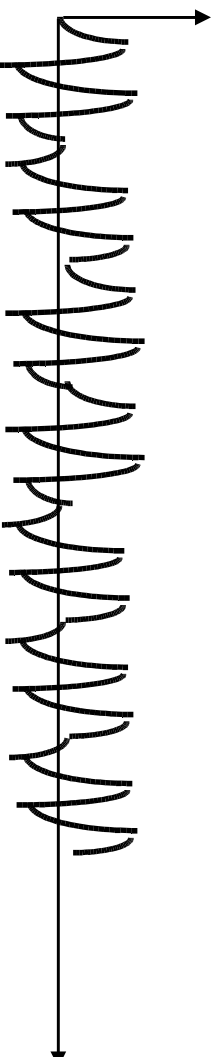
- Modulation d'amplitude



- Modulation de fréquence



- Modulation de phase



Exemples de transmissions par modulation d'onde

- **4G**
- **WiFi**
- **Radio FM**
 - la plupart des transmissions sans fils ...
- **ADSL**

Caractéristiques Physiques des canaux

- Taux d'erreur
 - Nb bits erronés / nb bits corrects
 - Probabilité de perte ou d'erreur d'une information élémentaire (BER)
 - WAN par ligne télécoms BER $\sim 10^{-3}$;
 - WAN en FO BER $< 10^{-13}$
 - LAN: BER $< 10^{-9}$
 - Bus machine : BER $< 10^{-12}$
- Longueur élémentaire
 - longueur maximale possible d'une ligne sans avoir de dispositif de ré-amplification ou de répétition ou à cause d'une hypothèse du protocole MAC
 - Exemple LAN Ethernet 100m
 - Exemple FO jusqu'à 100km

Caractéristiques Physiques des canaux

Support métallique classique

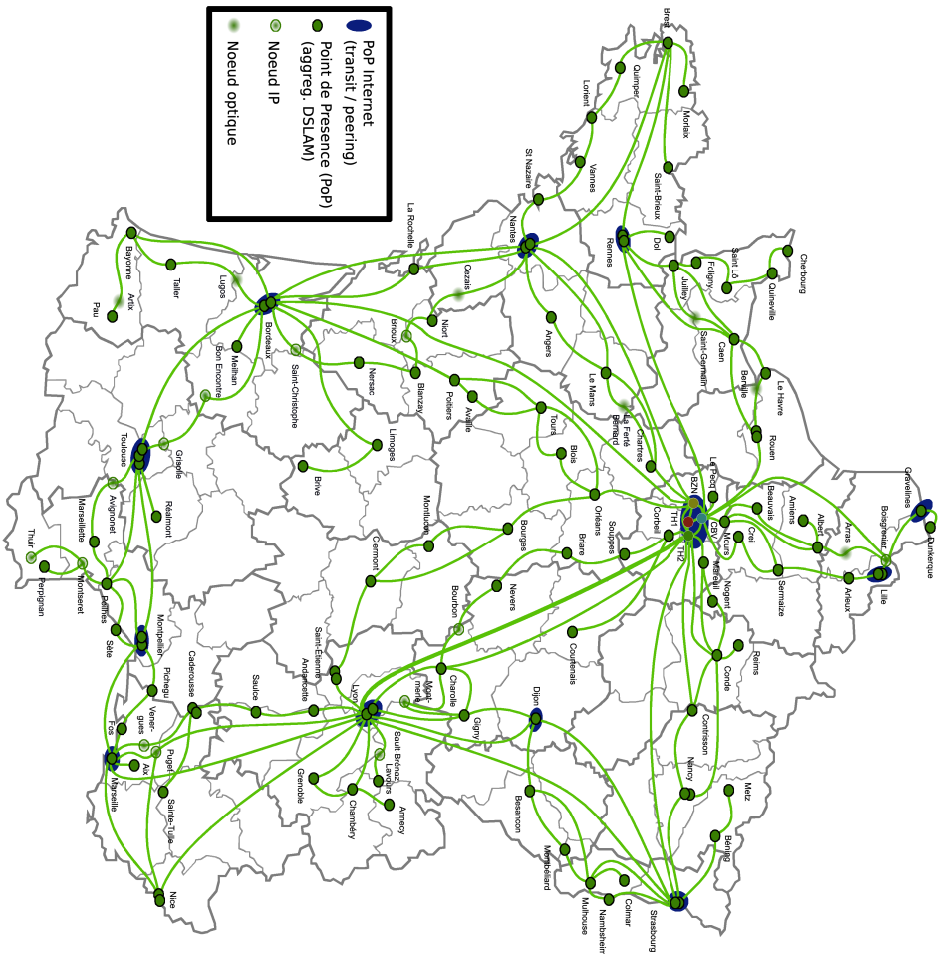
- Paire de fils torsadés: (2* 1 mm de cuivre isolé)
 - Torsadé: Résiste mieux à l'atténuation électromagnétique
- Utilisé en analogique (téléphone) et très répandu pour les LAN
- Unshielded Twisted Pair : UTP3 puis UTP5 puis UTP6 ...
 - Paire non blindée
 - en général 4 paires dans le même câble
 - UTP5, câblage le plus répandu pour Ethernet à 100 Mégabit/s
 - Aujourd'hui UTP6-7, STP
- Actuellement le plus utilisé pour les réseaux locaux :
 - Limites : 100 m → 100 Mégabit/s
- Exemple architecture Ethernet:
 - » (Hubs/concentrateurs)) + Switchs/commutateurs
 - » Segment: 100m max
 - » Prises: RJ45,
 - » UTP avec 4 paires torsadées soit 8 fils (cable droit ou croisé)
 - » Armoire/baie de brassage: simplifie la gestion du réseau

Fibres optiques

- Fil en verre très fin (capillaire de taille < cheveu) recouvert d'une gaine réfléchissante et d'un isolant (verre plus plastique)
- Fonctionnement en mode simplex (2 fibres pour assurer le full-duplex)
- Une longueur d'onde = un canal cf. Lasers / diode
- Pas de lumière : 0 logique, Impulsion lumineuse : 1 logique
- Utilisées en LAN (historiquement FDDI) et WAN, maintenant Ethernet Gbit/s et 10Gb/s
- Longueur élémentaire < 100km → 40 Gigabit/s
- Limitation due au passage de l'optique à l'électrique
- Optique pure limite ~50 000 Gigabit/s par fibre
- Fort développement:
 - Câbles sous-marins
 - Liaisons MAN et WAN
 - Autoroute de l'info en France, objectif de cablage de toutes les agglomérations avant 2015
- France Télécom: 1,3 million de km de fibres dès 1996
- État actuel des opérateurs : augmentation permanente
- difficile à « écouter » (piratage)
- 1Mkm de câbles sous marins ...

Exemple de réseau FO (ILLAD ProXad)

64000km
Fibres noires
propriétaires
ou louées.



Les supports sans fil

- **Ondes lumineuses:**

- Rayons infra rouges
 - » Faible portée: télécommande TV, hifi, ...
 - » Facile à mettre en oeuvre
 - » Très peu pénétrant
 - » Omnidirectionnelles
 - » Peu utilisés pour la connexion d'ordinateurs (4 Mb/s max)
- Rayons lasers
 - » Peu coûteux (économie et puissance)
 - » Large bande passante
 - » Très directif → pas d'interception, pointage
 - » Sensible aux intempéries (chaleur, gouttes)
- Lumière visible directe → labo

Les supports sans fil

- **Ondes radio (ou faisceaux hertziens)**

- Grandes distances (>100 km)
- Débit dépend de la plage de fréquence utilisée
- Fréquence >100 Mhz jusqu'au GigaHertz
- Problème de l'allocation des plages de fréquences (normes, ARCEP)
- Très utilisé pour la radio (ex TV), des artères du téléphone, des réseaux privés
- Support à Diffusion → avantage de couverture mais problème de confidentialité (cryptage)
- Notion de cellule ou de faisceau
- Mise en place moins coûteuse que n'importe quel support matériel, dont fibre optique
- Tours Hertziennes: moins onéreux que de creuser une tranchée pour mettre une fibre optique
- Télécommunication locale et mobile, 2G, 3G, 4G, 5G
- Réseau locaux sans fil :
 - » WI-FI (Wireless Fidelity) norme IEEE 802.11x: au départ 4 Méga bit/s puis 11 Mégabit/s (802.11b) et jusqu'à 54Mégabit/s (802.11a), 100m
 - » Bluetooth (1Mégabit/s), 10m
 - » Wimax : réseau dense de bornes réceptrices à haut débit
 - » ZigBee norme 802.15.4, 250kb/s, 50m
 - » LPWAN dans les bandes ISM : SigFox, ultra narrow band (100Hz), LoRa, modulation à étalement de spectre (sur 125kHz), cellule de rayon 10km
 - » LPWAN dans l'infrastructure télécom mobile : NB-IoT

Les supports sans fil

Réseau de Satellites géostationnaires (36 000 km)

- » 50 Mbit/s
 - » Vitesse : 3.10^8 m/s , Temps de propagation de 300 ns à 0,27s (aller-retour)
 - » Utilisé pour les lignes du téléphone en mer
 - » Problème du délai de transfert AR pour les applications interactives
- Intérêt
- » pour la diffusion
 - » pour point isolé, applications mobiles (îles, bateaux, ...)
 - » pour accéder facilement (directement) à du haut débit descendant

Ethernet norme IEEE 802.3: Evolution Niveau physique

- câble 10base5 (coaxial épais) : 10 Mégabit/s 500m max
- Connexion prise vampire (problèmes de faux contacts)
- Vitesse de propagation : 230×10^6 m/s
- Câble fin 10base 2 : 10 Mégabit/s 200m max
- T et bouchon.
- Problème de la coupure du réseau
- Vitesse propagation : 230×10^6 m/s
- Transceiver + câble de connexion
- 1 seule carte pour différents cablages: coaxial, paire torsadée, fibre optique
- Aujourd'hui carte pour paires torsadées : prise RJ45 pour UTP5-6-7
- chipset dans carte mère : prise RJ45 pour UTP5-6-7
- Matériels FO pour Gb Ethernet.

Ethernet norme IEEE 802.3:

Paramètres Niveau physique

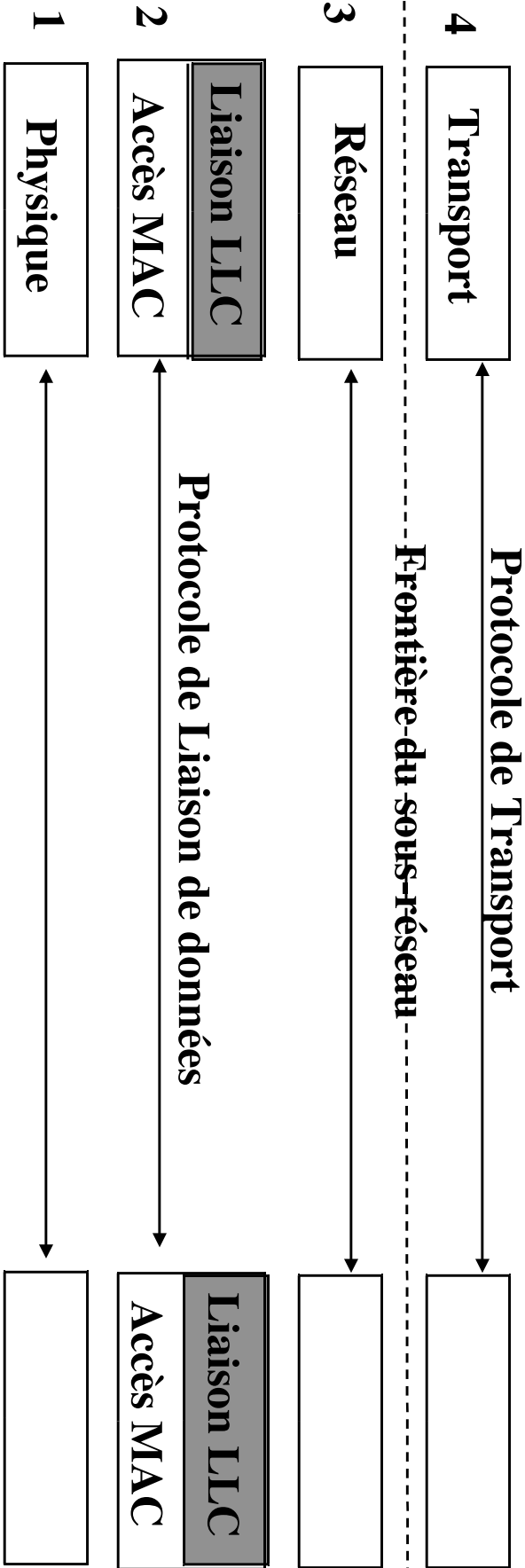
- Débit nominal : 1 Mbits/s à 10Gbits/s
- Transmission en bande de base, codage Manchester différentiel (1 transition inverse ; 0 transition idem)
- Niveau électrique haut 0, 85 volts, niveau bas - 0, 85 volts, 0 volt au repos
- **Support câble :**
 - Câble coaxial Ethernet épais 10Base5 - prise vampire - 500m - 100 stations – pour mémoire car obsolète
 - Câble coaxial Ethernet fin 10Base2 - prise en T- 200 m - 30 stations- problème de panne → pour mémoire car obsolète
 - Paires torsadées 10BaseT, 100 BaseT, 1000 BaseT- concentrateur ou commutateur en plus - 100m - 1024 stations
 - Fibre optique 100 BaseFX- 1000 BaseFX- 10000 BaseFX- Hub - 2000m - 102 stations - entre immeubles – pas de sensibilité électromagnétique

Ethernet norme IEEE 802.3:

Performance Niveau physique

- **Ethernet 100 Mégabit/s**
 - On garde taille minimale des trames 64 octets
 - Tranche canal 5,12 microsecondes
 - Réduction de la longueur du support (250 m ou 100m sans répéteur)
- **Plusieurs Normes:**
 - 100 base TX : 2 paires utilisées dans câble UTP5
 - 100 base T4: 4 paires torsadées utilisées dans câble UTP5
 - 100 base FX : 2 fibres optiques
 - » Codage 4B5B et NRZI
- **Ethernet 1 gigabit/s**
 - Réduction à 2m50 si on veut garder la longueur minimale des trames à 64 octets
 - On garde 250 m mais taille minimal des trames à 640 octets
 - Utilisation de 10% pour des paquets de 64 octets de données
- **Ethernet 10 gigabit/s sur Fibre optique et sur support cuivre spécifique**

La couche liaison de données



Plan du chapitre

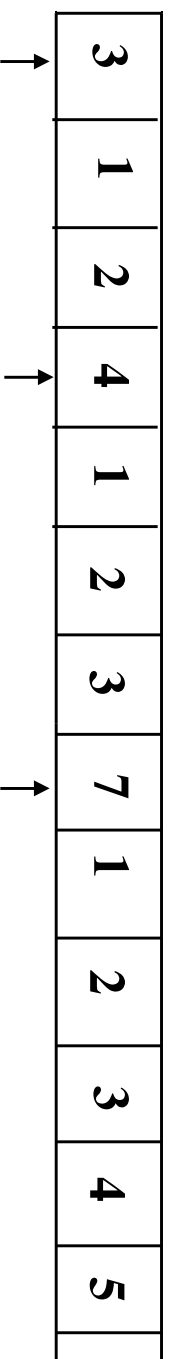
- **Introduction**
- **Détermination de trame et transparence**
- **Contrôle d'erreur**
 - Les codes correcteurs
 - type d'erreur corrigées
 - Les codes détecteurs
 - pas de faux positif, demande de réémission possible

INTRODUCTION

- **Sous-Niveau LLC Logical Link Control (exemple SNA d'IBM, Netbeui de Microsoft)**
 - Service fournis à la couche réseau
 - » Délimitation en trame
 - » Transfert de trame avec détection(/correction) d'erreurs bit
 - » Cadencement des symboles binaires
- **Sous-Niveau accès multiples à un support (appelé sous couche MAC pour Medium Access Control) :**
 - partage du média
 - » Exemple : stratégie d'écoute active et de détection des collisions du protocole Ethernet
- **Dans Ethernet, la couche liaison comprend**
 - la couche MAC avec accès au canal de type CSMA/CD,
 - la délimitation des trames et
 - la détection des erreurs bit avec un CRC.
 - c'est un service sans connexion ni acquittement.

Notion de trame

- But
 - fixer une unité de contrôle d'erreur. Un train de bits émis par la couche physique peut être déformé de trois façons : bits perdus, bits erronés, bits créés accidentellement.
- Techniques de découpage en trame
 - Compter les caractères : exemple 3 trames



- Utiliser des caractères de début et de fin de trame, pas valides pour les données,
- Utiliser des fanions délimiteurs de marquage de début et de fin de trame, séquence particulière,
- Violier le codage utilisé dans la couche physique, hors fonctionnement,
 - » Exemple Ethernet (trame IEEE 802) utilise un fanion en début de trame et le viol du codage Manchester différentiel pour marquer la fin de trame.

Transparence

- **Problème de confusion des délimiteurs de trame et des données**
 - si la trame est délimitée par des caractères ou des fanions de début (et de fin),
 - il faut permettre aux données transportées dans la trame de contenir soit les caractères de début (et fin de trame), soit la configuration des fanions sans que cela puisse prêter à confusion.

Transparence : problème de confusion des délimiteurs de trame et des données

- **Exemple HDLC : différentiation fanion/données**
 - HDLC est un protocole de liaison de données orientée bit et qui utilise comme délimiteur de début et fin de trame la séquence de bits : « 01111110 »
 - pour assurer la transparence la source ajoute systématiquement un bit 0 après toute séquence de 5 bits à 1 rencontrée dans les données de la trame.
 - la destination effectue l'opération inverse, c'est à dire retirer le bit 0 qui suit chaque séquence de 5 bits à 1.
- **Exemple Ethernet :**
 - utilise un fanion de début de trame et
 - effectue une violation du codage de Manchester pour détecter la fin de trame.
- **Exemple hybride : longueur et fanion**
 - Certains protocoles utilisent la longueur plus l'une des autres méthodes. On utilise la longueur pour retrouver la fin de trame si celle ci contient le fanion de fin de trame ; on en déduit que la trame n'est pas erronée et elle est acceptée.

Le contrôle d'erreur

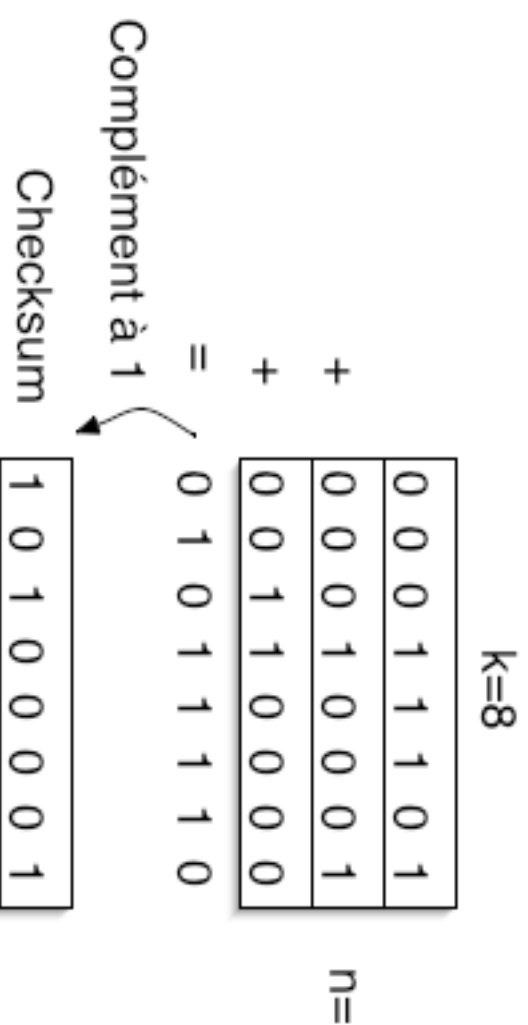
Les données peuvent être modifiées (ou perdues) pendant la communication du signal (exemple le transfert d'un long fichier),

→ cf. le taux d'erreur au niveau physique.

- la détection d'erreurs est indispensable pour se rendre compte de la modification/perde de données à l'arrivée des trames.
 - la correction d'erreurs peut-être envisagée, on distingue deux techniques :
 - La première consiste à introduire suffisamment de redondance dans les données pour que le récepteur puisse à la fois détecter et corriger les erreurs. Cette technique repose sur les codes correcteurs d'erreur.
 - La seconde consiste à mettre dans les données juste ce qui est nécessaire pour que le récepteur puisse avec une forte probabilité détecter les erreurs. La récupération se fait alors par ré-émission des données erronées par les couches logicielles supérieures.
- Exemple : Ethernet détection CRC et TCP ré-émet les données non reçues

Détection d'erreur par checksum (historiquement dans certains en-têtes)

- Données considérées rangées comme n mots de k bits
- Bits de contrôles = complément à 1 de la somme des n mots
- A la réception la somme des n mots de données plus le checksum ne doit pas contenir de 0
- Hamming-distance (HD): nombre minimal de bits différents entre chaque élément d'un code.
 - HD=2 permet la détection des erreurs de 1 bit mais ici détection aussi des rafales d'erreurs de longueur $\leq k$ grâce au rangement en 2D.
- Utilisé dans les entêtes UDP, TCP
- Un peu lent car retenue à propager
- Beaucoup d'autres techniques:
 - Parité
 - Cyclic Redundancy Check (CRC)

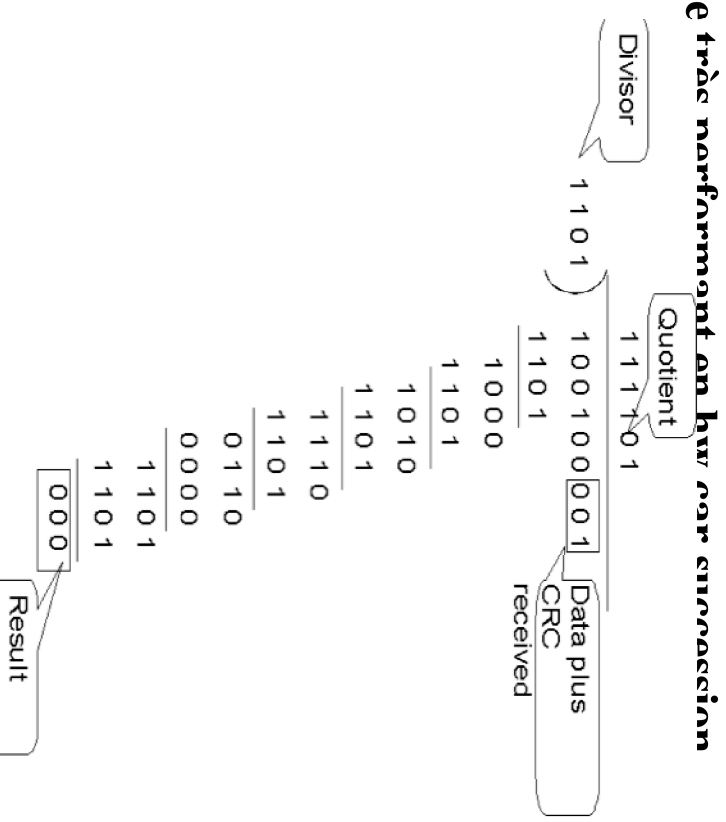
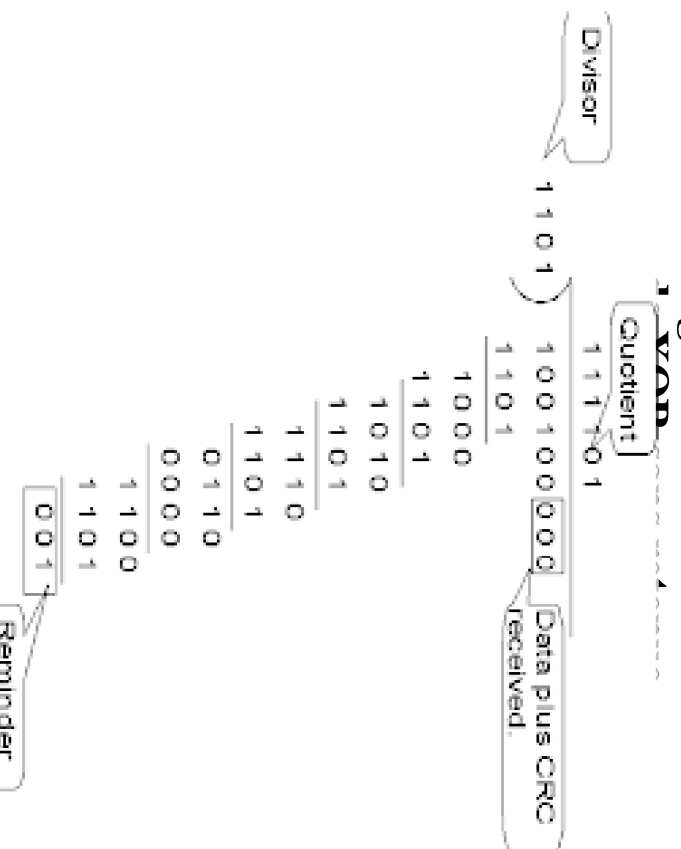


Le cas de la trame Ethernet

- Trame de 64 à 1500 octets
- Délimiteurs de début de trame 01010111
- Préambule de synchronisation 01010101
- Cyclic Redundancy Check (CRC) sur 4 octets
- Fin de trame = non respect du codage Manchester

Le cas de la trame Ethernet détection d'erreur du niveau liaison

- Cyclic Redundancy Check (CRC) sur 4 octets
 - Diviseur le polynome CCITT 32 (standard télécom)
$$x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$$
 - Très bonnes propriétés de détection d'erreurs, preuves mathématiques
 - Division polynomiale des données et soustraction du reste par décalage
 - Algorithme de division Euclidienne binaire *très performant en hw par succession*



Le cas de la trame Ethernet

Format Niveau liaison

- Fonctions du sous-niveau MAC :
 - Mise en trame
 - Détection des erreurs
 - Adressage sur le réseau MAC local
 - Electronique réagit aux signaux de détection d'occupation du canal et de détection de collision qui sont envoyés par le transmetteur.

- Format de la trame en octets

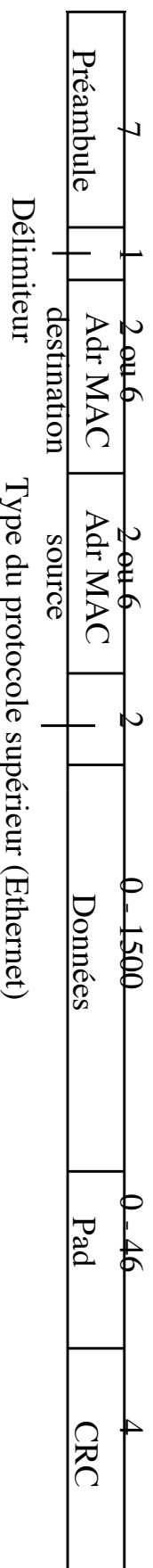
7	1	2 ou 6	2 ou 6	2	0 - 1500	0 - 46	4
Préambule		Adr MAC destination	Adr MAC source		Données	Pad	CRC
Délimiteur de trame		Type du protocole supérieur (Ethernet) ou Longueur du champ données(802.3)			Remplissage		

Le cas de la trame Ethernet

Description des différents champs

- Préambule : 7 octets 10101010, but synchronisation bit du récepteur
 - Marqueur de début : 1 octet 10101011, but synchronisation et début trame
 - Adresse destination : (2 ou) 6 octets, 6 octets pour l’Ethernet 10 et 100 Mbit/s.
- Le bit de plus fort poids indique s’il est à 1 une adresse de groupe, et une adresse individuelle s’il est à 0.

- Si tous les bits de l’adresse sont à 1 il s’agit d’une adresse de diffusion. Le bit qui suit le bit de plus fort poids indique s’il s’agit d’une adresse locale ou universelle.
- Champ longueur : 2 octets, il indique le type du protocole ou la longueur du champ contenant les données transmises. La longueur d’une trame doit être au minimum de 64 octets de l’adresse destination au champ contrôle.
 - Pad : si la longueur des données à transmettre est insuffisante ce champ contient des octets de remplissage.
 - Contrôle : 4 octets servant au contrôle d’erreur (CRC)



L'adressage en LAN Ethernet : @MAC

- 6 octets
- 2^{48} possibilités
- Codé dans le HW
 - Attribution de plages par vendeurs, payant
 - Tirage aléatoire
 - Supposé unique dans le sous réseau LAN
- Représentation
 - Hexadécimale séparée par « : »
 - 88 :0A:C1:AF:21:7C

La correspondance @MAC -@réseauIP

- Lors de la première ou de la dernière étape de la transmission
- Protocole ARP (adresse resolution protocol)
 - Requête « quelle est l'**@MAC** de l'interface de cette **@IP** ? »
 - diffusion sur le LAN
 - Réponse « pour cette **@IP** voici l'**@MAC** »
 - point à point entre serveur ARP ou machine destinataire et le demandeur
 - en général les logiciels d'application manipulent uniquement les **@IP** et la correspondance intervient dans la pile logicielle système – réseaux.
- Optimisation
 - Pour éviter les requêtes inutiles on stocke les correspondances dans un cache avec péremption (timers), la mise à jour est donc dynamique avec l'utilisation ...
 - Table ARP
- Commandes Unix
 - Voir la table Arp -a ; ajout correspondance statique arp -s **@IP** **@MAC**

La correspondance @MAC -@réseauIP

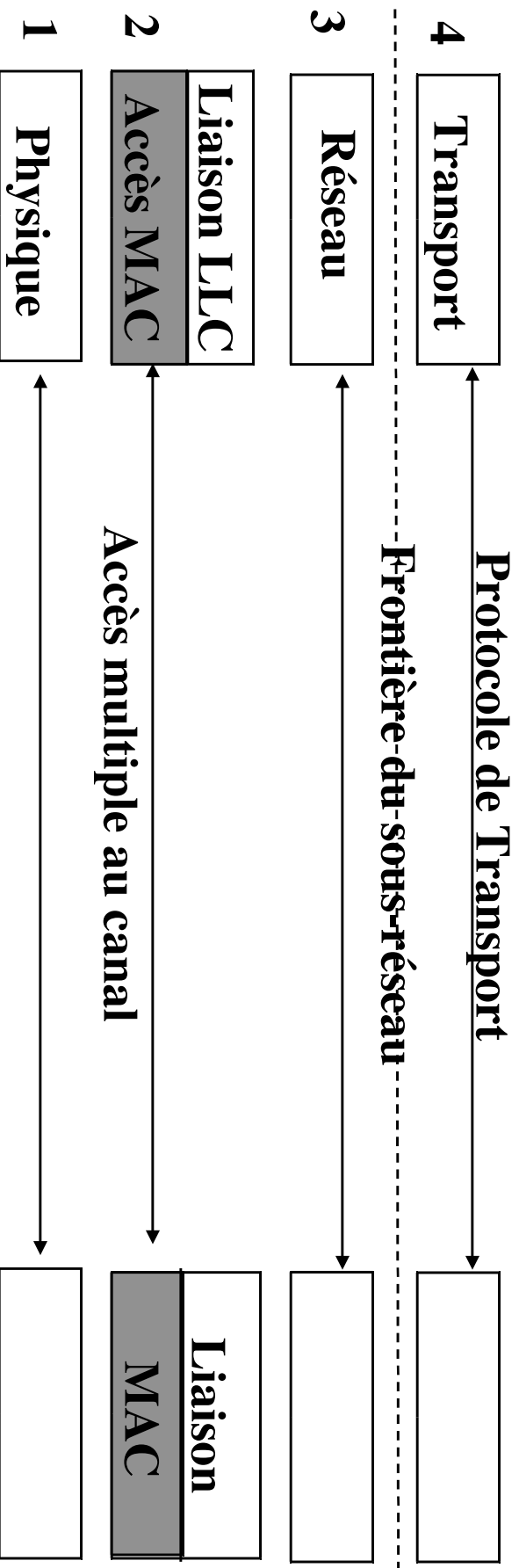
- Vérifier la bonne allocation des @IP : ARP gratuit
- Sécurité : ARP filtering, ARP poisoning, ARP spoofing,...
- Serveur ARP
- Format des trames à voir en TP.

La correspondance @réseauIP - @MAC

- Pour l'attribution des @IP par un seueur
- RARP (Reverse ARP)
- Requête – réponse
- Vision statique de la correspondance
- On lui préfère souvent DHCP pour l'initialisation des @IP avec une politique de contrat et durée plus dynamique

2
.
2
.
.

Le partage des voies Sous-niveau *Multiple Access Channel*



Introduction

- Le coût de mise en place des supports physiques de transmission est très supérieur au coût des supports eux-mêmes.
 - » Une prise Ethernet murale ~ 100€
- => Placement de supports à très haut débit et partage du débit offert entre plusieurs voies.
- Le partage repose sur deux techniques :
 - » Le multiplexage en fréquence
 - » Le multiplexage temporel
- Le contrôle de l'accès temporel est nécessaire sur
 - » Support partagé
 - » Support à diffusion (notamment tous les réseaux sans fils)
- Les supports « à diffusion » permettent à tous les usagers d'émettre et de recevoir sur le même support physique,
 - » il faut donc définir une stratégie d'allocation de la voie de communication aux usagers
 - » très utilisé dans les réseaux locaux
 - » par exemple le wifi, mais aussi les câbles Ethernet

Plan du chapitre

- **Techniques de partage des voies bipoint**
 - Le multiplexage en fréquence
 - Le multiplexage temporel
 - Commutation de circuits, de messages et de paquets
- **Techniques de partage des voies à diffusion**
 - Allocation par compétition
 - » ALOHA pur et ALOHA discrétisé
 - » Avec détection des transmissions en cours
- **Les réseaux locaux et le modèle OSI**
- **Ethernet IEEE 802.3**

Multiplexage en fréquence

- Définition

La bande passante de la ligne physique est divisée en un certain nombre de sous-canaux plus étroits en BP et affectés aux utilisateurs.

Exemple : la radio FM, la téléphonie mobile, ...

=> problème de l'allocation des plages de fréquences et des sous-canaux

- Exemple : Multiplexage des voies téléphoniques historiques
 - Une voie téléphonique = un sous-canal de largeur 4 kHz
 - Groupe primaire : regroupe 12 voies téléphoniques dans un sous-canal de largeur 48 kHz
 - Plusieurs groupes primaires multiplexés sur le même support 240kHz, 5 groupes primaires forment un groupe secondaire (60 voies), etc.
 - Certains supports peuvent supporter jusqu'à 230 000 voies téléphoniques simultanées.

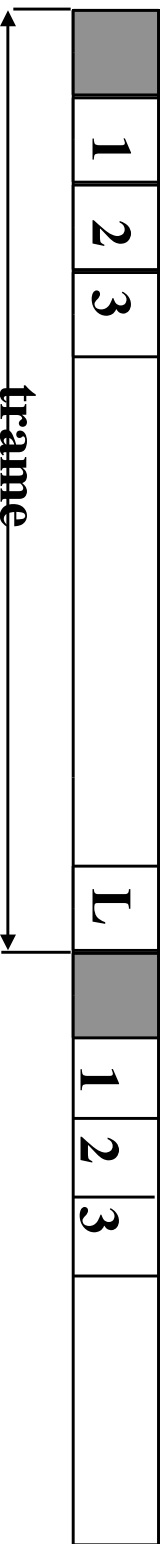
Multiplexage temporel

- Définition

On affecte à chaque utilisateur à tour de rôle la totalité du débit binaire de la voie pendant une fraction de temps.

- Mise en œuvre :

- Le train de bits de débit D sur la voie haute vitesse est divisé en L intervalles de temps. Chaque intervalle de temps contient un caractère ou un bit ou une trame en provenance des voies sources à plus basse vitesse. Le premier intervalle de temps est souvent réservé pour le contrôle. Exemple : les FO



Allocation des voies à diffusion : Aloha (bonjour en hawaïen)

- Réseau radio entre îles hawaïennes : cf. Ethernet en 73 et normalisation en 80.
- Aloha pur :
 - Une station voulant émettre un paquet d'information sur la voie, commence immédiatement à le transmettre. Si deux émetteurs ou plus émettent en même temps, il y a collision et chacun des émetteurs devra re-émettre son paquet ultérieurement.
 - On peut montrer, avec des hypothèses probabilistes (taux d'arrivée Poisson), que l'on arrive à une efficacité de 18,6% du débit maximum dans le meilleur des cas lorsqu'il y a du trafic.
- Aloha discrétisé :
 - le temps est discrétisé en intervalles et les horloges sont synchronisées
 - les messages ne sont transmis qu'en début d'intervalle de temps
 - l'efficacité est doublée et 37,2% du débit total maximum peut être atteint.

Allocation des voies à diffusion : CSMA

- CSMA (Carrier Sense Multiple Acces) : Accès multiple avec détection de porteuse :
 - augmente les performances
 - il faut pouvoir détecter si le canal est libre

Schémas des stratégies CSMA :

- Une station voulant transmettre ne le fera que si la voie est libre.
- Les stations écoutent donc la voie et ne peuvent émettre que lorsqu'elle est libre.
- Plusieurs stratégies peuvent être proposées pour savoir à quel moment une station peut commencer à émettre quand la voie est libre ...
- Vérifier que la transmission c'est bien passée ?

Allocation des voies à diffusion : CSMA

- **Stratégie persistante :**
 - Lorsque l'on veut émettre, si le canal est libre, on émet.
 - si le canal est occupé, on attend qu'il soit libre
 - Pb: quand le canal se libère toutes les machines en attente émettent en même temps.
- **Stratégie non persistante**
 - idem que persistant mais quand le câble est occupé, on attend une durée aléatoire avant de re-essayer d'émettre.
 - on attend plus longtemps au niveau d'une station mais moins de collisions
 - efficacité augmente (55 % dans le meilleur des cas)

=> exemple : protocole Ethernet avec attente aléatoire pour ne pas rentrer dans un régime de collision

Observation du canal CSMA Ethernet : la détection de collision (CD)

- On ajoute un mécanisme supplémentaire permettant de détecter s'il y a une collision pendant que l'on émet.
 - Chaque machine écoute le câble pendant qu'elle émet, s'il y a une différence par rapport à ce qu'elle a émis, c'est qu'il y a eu collision.

- **Détection des collisions**

- une station qui veut détecter les collisions doit observer le câble pendant une durée égale au pire cas : 2 fois le temps de propagation du signal d'un bout à l'autre du câble
- Gestion Ethernet : « exponential backoff » une station ayant détecté une collision se met en attente pendant une durée aléatoire X dont l'intervalle de définition double à chaque nouvelle collision jusqu'à une valeur maximum au-delà de laquelle la station déclare à la couche supérieure qu'elle ne peut pas émettre. Cette erreur devra être rattrapée par les couches supérieures.

Algorithme CSMA/CD pour Ethernet

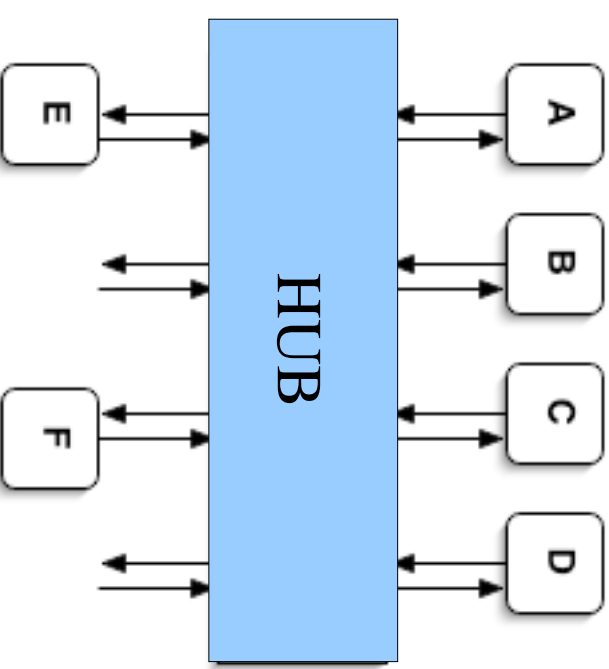
- Construire trame à émettre; NbTentative=0 ; T=0 ;
- Répéter:
 - Tant que câble occupé faire attendre
 - Attente aléatoire T
 - Tant que pas de collision faire transmettre
 - Si collision détectée et NbTentative < 16 faire
 - » Arrêter transmission
 - » Tirage aléatoire d'un temps d'attente T dans un intervalle augmentant en fonction du nombre de tentative $I=[0..C_X 2^{NbTentative}]$
 - » NbTentative= NbTentative+1

Jusqu'à transmission complète ou NbTentative =16

Le HUB Ethernet (fossile utile ;-))

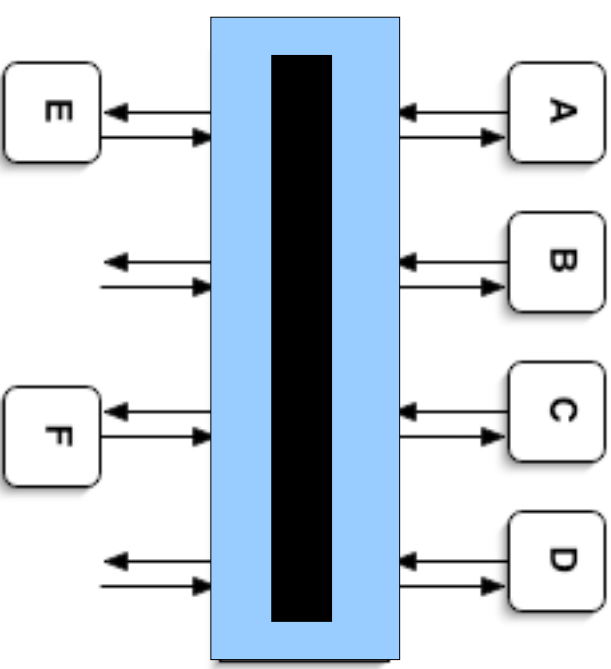
média partagé

- (multi) Pont : nb ports > 2, le plus souvent mono technologie de niveau physique.
- Prolonge le réseau Ethernet en établissant une zone de collision et de diffusion entre tous les ports source et destination pas de décodage de l'adresse de destination
- Fonctionnement en full-duplex
- Existe avec différents débits sur les ports, par exemple:
 - 1 port 10base2 et 10 ports 10baseT
 - 1 port 100baseT à 100 Mb/s et 24 ports à 10baseT à 10 Mb/s



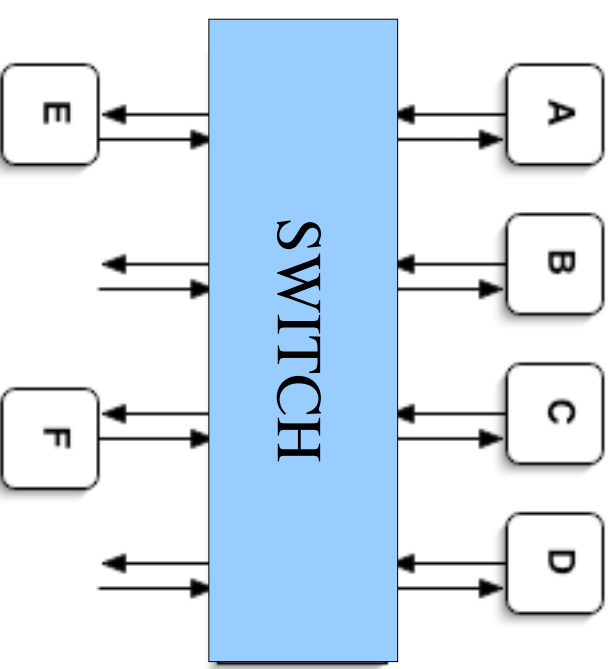
Le HUB Ethernet (fossile utile ;-)) média partagé

- (multi) Pont : nb ports > 2, le plus souvent mono technologie de niveau physique.
- Prolonge le réseau Ethernet en établissant une zone de collision et de diffusion entre tous les ports source et destination pas de décodage de l'adresse de destination
- Fonctionnement en full-duplex
- Existe avec différents débits sur les ports, par exemple:
 - 1 port 10base2 et 10 ports 10baseT
 - 1 port 100baseT à 100 Mb/s et 24 ports à 10baseT à 10 Mb/s



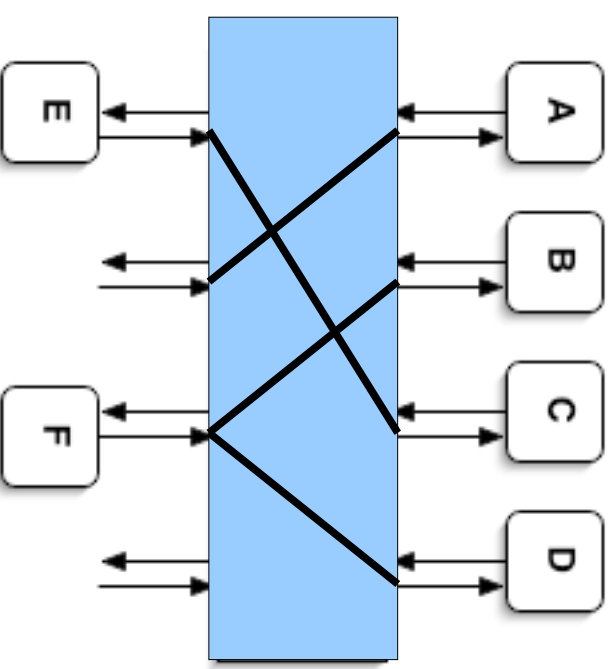
Le commutateur (ou switch) Ethernet

- (multi) Pont haute performance: nb ports ≥ 2 , filtrage, souvent mono technologie de niveau physique
- Utilisé à la place des hubs pour augmenter les performances en établissant des circuits commutés entre source et destination sans diffuser les paquets aux autres ports: le commutateur peut commencer à réémettre le paquet dès qu'il a reçu l'adresse de destination
- Fonctionnement en full-bandwidth et en full-duplex si la technologie le permet
- Restriction des domaines de collision au port de sortie concerné
- Existe avec différents débits sur les ports, par exemple:
 - 1 port 10base2 et 10 ports 10baseT
 - 1 port 100baseT à 100 Mb/s et 24 ports à 10baseT à 10 Mb/s
 - 1 port 1000baseFX Gigabit/s et 24 ports 10/100 Mb/s



Le commutateur (ou switch) Ethernet

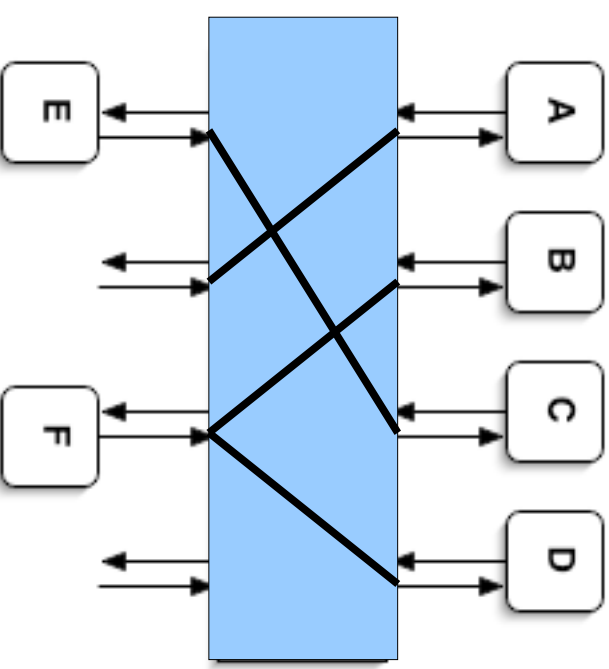
- (multi) Pont haute performance: nb ports > 2 , filtrage mais souvent mono technologie de niveau physique
- Utilisé à la place des hubs pour augmenter les performances en établissant des circuits commutés entre source et destination sans diffuser les paquets aux autres ports: le commutateur commence à réémettre le paquet dès qu'il a reçu l'adresse de destination
- Fonctionnement en full-bandwidth et en full-duplex si la technologie le permet
- Restriction des domaines de collision au port de sortie concerné
- Existe avec différents débits sur les ports, par exemple:
 - 1 port 10base2 et 10 ports 10baseT
 - 1 port 100baseT à 100 Mb/s et 24 ports à 10baseT à 10 Mb/s
 - 1 port 1000baseFX Gigabit/s et 24 ports 10/100 Mb/s



Le commutateur (ou switch) Ethernet

- (multi) Pont haute performance: nb ports > 2, filtrage mais souvent mono technologie de niveau physique
- Utilisé à la place des hubs pour augmenter les performances en établissant des circuits commutés entre source et destination sans diffuser les paquets aux autres ports: le commutateur commence à réémettre le paquet dès qu'il a reçu l'adresse de destination
- Fonctionnement en full-bandwidth et en full-duplex si la technologie le permet
- Restriction des domaines de collision au port de sortie concerné
- Existe avec différents débits sur les ports, par exemple:
 - 1 port 10base2 et 10 ports 10baseT
 - 1 port 100baseT à 100 Mb/s et 24 ports à 10baseT à 10 Mb/s
 - 1 port 1000baseFX Gigabit/s et 24 ports 10/100 Mb/s

La technologie a réduit le domaine de collision aux ports de sorties !



Exemple: le réseau local de l'UFR IMA

- Un anneau FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
 - 100 Mégabit/s
 - à base de fibre optique
 - Double anneau avec principes du jeton
 - Taux erreur : $0.4 \cdot 10^{-10}$
- LAN Ethernet commutés
 - Regroupés sur les switches
 - Armoire de brassage contenant les switches
 - Fédérés par FDDI
 - Routeur vers UGA et l'extérieur RENATER et les Serveurs