



iutenligne

Le catalogue de ressources pédagogiques
de l'enseignement technologique universitaire.

I.U.T. de Mulhouse – G.E.I.I.

RES3 - Réseaux

CM 3 – TD 2 :
Codage des informations
Modes de commutation
Contrôle d'intégrité



- *CM 1 : Généralités Réseaux*
- *CM 2 : Topologie et supports de transmission*
 - *TD 1 : Débit et technologie ADSL*
- **CM 3 : Codage des informations et contrôle d'intégrité**
 - TD 2 : Codage des informations et contrôle d'intégrité CRC
- *CM 4 : Modèle OSI / Ethernet*
- *CM 5 : Couches transport et réseau (TCP/IP)*
 - TD 3 : Analyse de trames Ethernet / Adresse IP et masque de sous-réseaux
 - TD 4 : Adressage IP / Routage IP
- *CM 6 : Réseaux WLAN et sécurité*
 - TD 5 : Réseaux Wifi et sécurité
- *CM 7 : Réseaux et bus de terrain*
 - TD 6 : Réseaux et bus de terrain
 - TP 1 : Technologie ADSL
 - TP 2 : Analyse de trames et Encapsulation Ethernet
 - TP 3 : Configuration d'un réseau IP / Routage IP / Wifi
 - TP 4 : Réseaux et bus de terrain
 - TP 5 : TP Test
- *CM 8 : Contrôle de connaissances*

Jean-François ROTH

Enseignant Vacataire IUT de Mulhouse

Formateur/Consultant en réseaux et télécoms depuis 1999

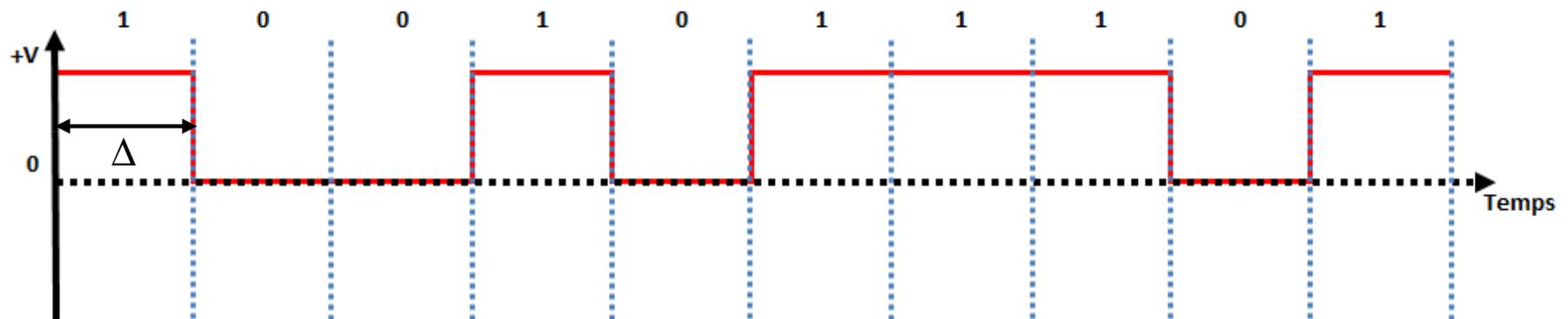
Jean-Francois.ROTH@UHA.fr

JeanFrancoisROTH@MSN.com

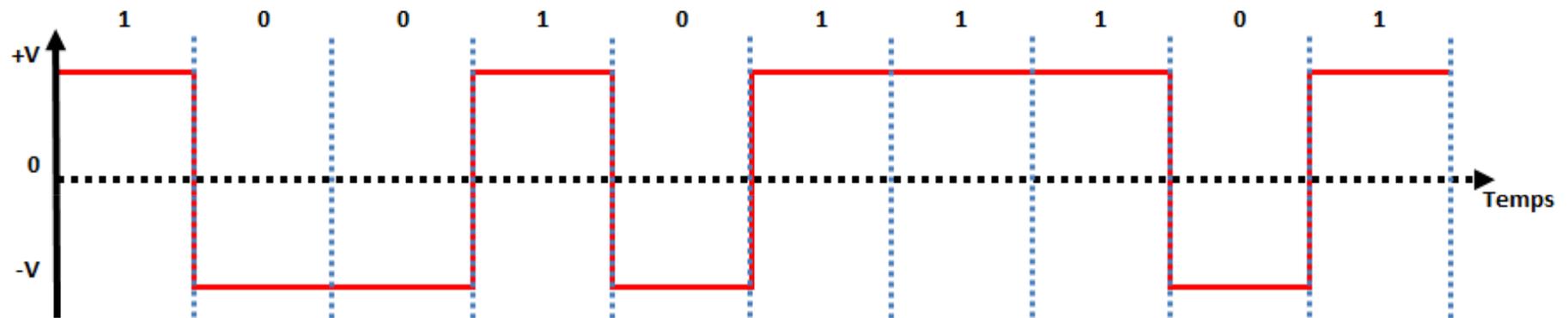
- Codage des informations
 - Codages en ligne des signaux
 - Multiplexage
- Modes de commutation
 - Commutation de circuits
 - Commutation de messages
 - Commutation de paquets
 - Mode non connecté
 - Mode orienté connexion
- Protocoles de liaison de données
 - Rôle et fonctions
 - Délimitation des données
 - Contrôle d'intégrité
 - Contrôle d'échange
 - Signalisation
 - Cas pratique : le protocole PPP

- Codage en ligne des signaux
 - Opération réalisée lors d'une transmission numérique (bande de base)
 - Permet d'adapter le signal au support de transmission
 - Transmettre les signaux numériques sous la forme 0V et +5V peut poser des problèmes :
 - ❖ Confusion entre l'état 0V et une rupture de transmission
 - ❖ Atténuation des amplitudes par des perturbations, bruits ou dégradations
 - ❖ Filtrage des basses fréquences (correspondant à une longue suite de 0)
 - ❖ Filtrage des hautes fréquences (débits élevés)
 - ❖ Synchronisation des horloges
 - ❖ ...
 - Consiste à représenter le signal à transporter à l'aide un signal faisant varier son amplitude au cours du temps
 - Les informations binaires sont transformées en signaux électriques
 - Systèmes de codage en ligne :
 - Le codage à deux niveaux :
 - Le signal peut prendre uniquement une valeur strictement négative ou strictement positive : $-V$ ou $+V$
 - ❖ V représentant une valeur de la grandeur physique permettant de transporter le signal
 - Le codage à trois niveaux :
 - Le signal peut prendre une valeur strictement négative, nulle ou strictement positive : $-V$, 0 ou $+V$
 - Le codage à plusieurs niveaux :
 - Le signal peut prendre une multitude de valeurs : $-V$, $-V/2$, $V/2$, V , ...

- Codage en ligne des signaux
 - Etude de codage en ligne de la suite de bits 1001011101
 - Représentation sous la forme d'un signal électrique de créneaux unipolaires :
 - Tension positive +V pour les niveaux logique "1"
 - Tension nulle 0V pour les niveaux logique "0"



- Codage en ligne des signaux
 - Le codage NRZ (No Return to Zero)
 - Un bit à "0" est codé par une tension $-V$
 - Un bit à "1" est codé par une tension $+V$

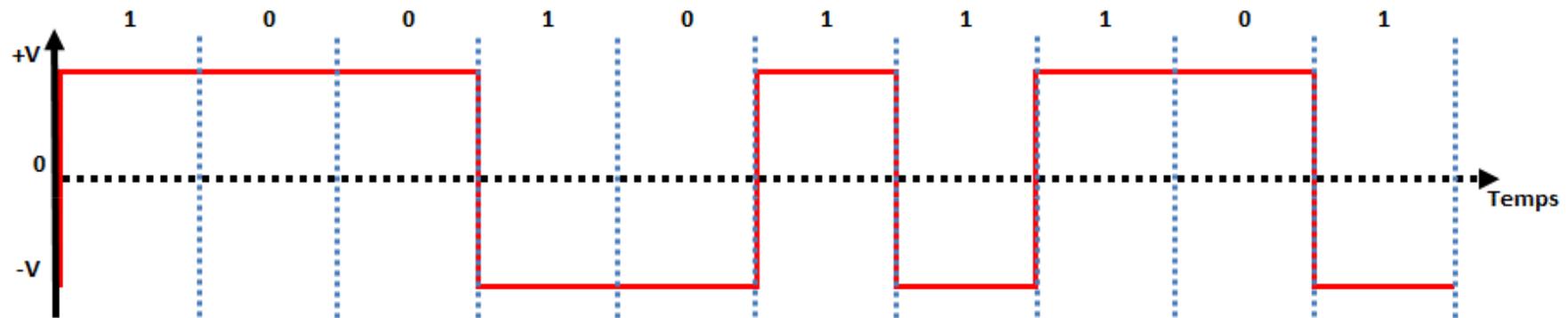


- Remarques :
 - Améliore le codage binaire en augmentant la différence entre les "1" et les "0"
 - De longues séries de bits identiques (à 0 ou 1), provoquant un signal sans transition, peuvent engendrer une perte de synchronisation
 - Densité spectrale (densité de puissance en fonction de la fréquence) concentré au voisinage de la fréquence nulle :
 - ❖ Signal mal transmis sur le support
 - Utilisé entre un ordinateur et ses périphériques, comme la liaison série RS-232 ou la liaison V24

- Codage en ligne des signaux

- Le codage NRZI (No Return to Zero Inverted)

- Un bit à "1" entraîne un changement d'état (+V ou -V) au début du moment élémentaire
 - Un bit à "0" n'entraîne aucun changement d'état et laisse le signal constant



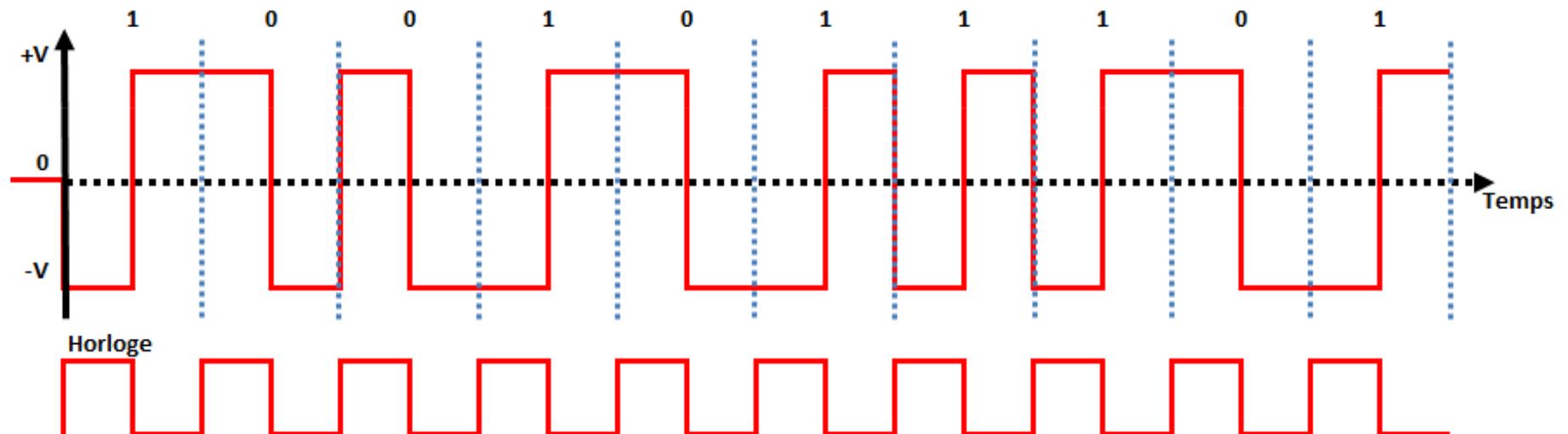
- Remarques :

- Améliore le codage binaire en augmentant la différence entre les "1" et les "0"
 - Ne nécessite pas le repérage des fils
 - Détection de la présence ou non du signal
 - Nécessité d'un faible courant de transmission du signal
 - De longues séries de bits identiques (à 0 ou 1), provoquant un signal sans transition, peuvent engendrer une perte de synchronisation
 - Utilisé par USB, FDDI, Fast Ethernet 100BASE-FX, ...

- Codage en ligne des signaux

- Le codage Manchester ou Manchester I (convention norme IEEE 802.3)

- Introduit une transition au milieu de chaque moment élémentaire
 - Résultat d'un OU exclusif (XOR) entre le signal à coder et le signal d'horloge se traduisant par :
 - Un front montant à la demi-période du moment élémentaire lorsque le bit est à "1"
 - Un front descendant à la demi-période du moment élémentaire lorsque le bit est à "0"



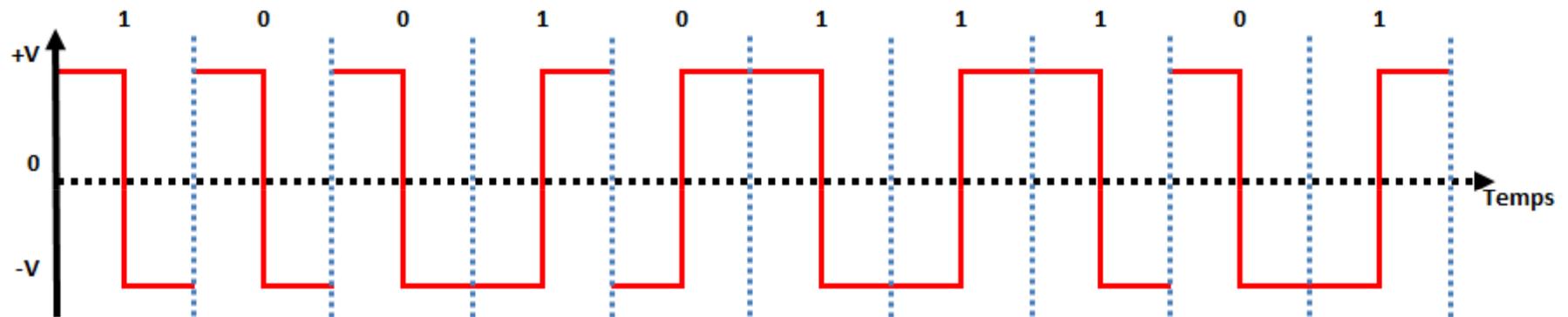
- Remarques :

- Consiste à coder l'information de manière à ce que l'horloge de l'émetteur puisse se déduire du signal
 - Adapté à un support à bande passante assez large du fait du non passage par zéro
 - Nécessite le repérage des fils (respect de la polarité du signal)
 - ❖ Si les fils sont inversés, le signal décodé n'est plus du tout le même qu'initialement
 - Utilisé pour les transmissions Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseFL, Profibus-PA
 - ❖ La convention G.E. Thomas fonctionne à l'inverse : front montant à "0" et front descendant à "1"

- Codage en ligne des signaux

- Le codage Manchester II (ou codage biphasé différentiel)

- Un bit à "0" au moment élémentaire Δ entraîne la copie du signal du moment élémentaire $\Delta-1$
 - Un bit à "1" au moment élémentaire Δ entraîne l'inversion du signal du moment élémentaire $\Delta-1$



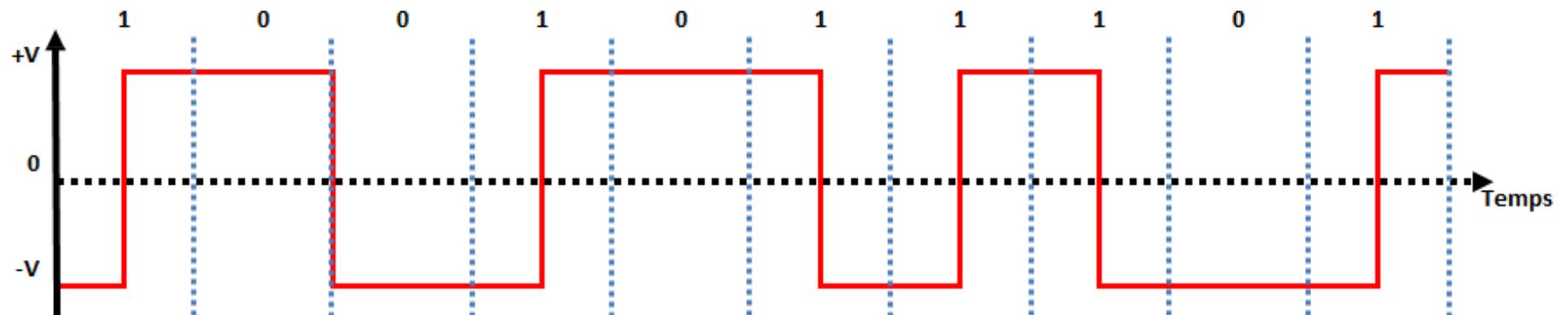
- Remarques :

- Ne nécessite pas le repérage des fils
 - Utilisé dans la norme 802.5 (réseau de type anneau à jeton)

- Codage en ligne des signaux

- Le codage Miller (ou Delay Code)

- Le niveau logique à coder pendant un moment élémentaire dépend de l'état précédent
 - Un bit à "1" provoque un changement d'état (+V ou -V) au milieu du moment élémentaire
 - Un bit à "0" laisse le signal constant si le bit précédent était à '1'
 - Un bit à "0" provoque un changement d'état (+V ou -V) au début du moment élémentaire si le bit précédent était à "0"



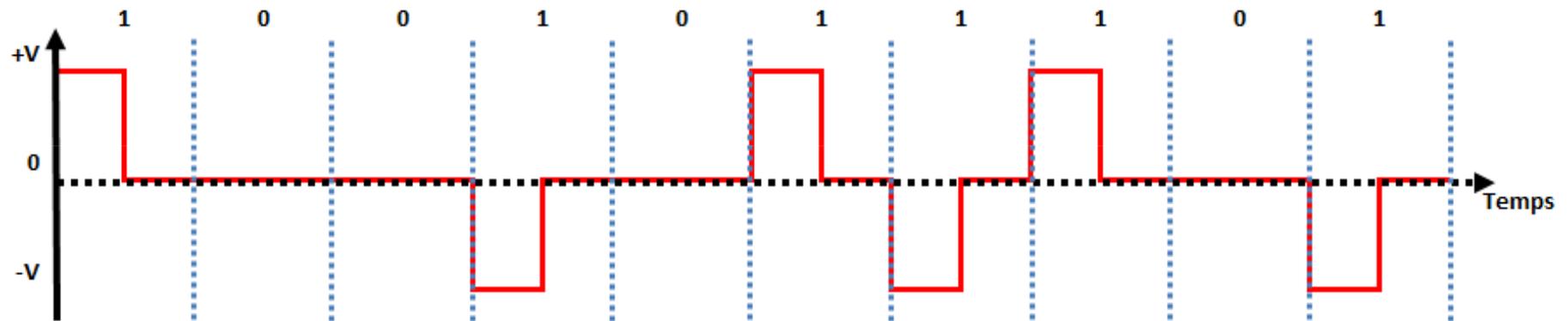
- Remarques :

- Ne nécessite pas le repérage des fils
 - La transition réalisée au début de chaque temps élémentaire permet d'éviter le problème de synchronisation lié aux séquences de "0" consécutifs
 - Bande passante réduite, pas de perte de synchronisation sur les suites de symboles identiques
 - Apparition d'une composante continue qui apporte de l'instabilité (taux d'erreurs plus élevé)
 - Utilisé dans certains magnétoscopes numériques

- Codage en ligne des signaux

- Le codage bipolaire RZ (ou Alternate Mark Inversion RZ ou AMI-NRZ)

- Un bit à "0" laisse le signal constant à 0V pendant le moment élémentaire
 - Un bit à "1" est codé alternativement par un niveau +V et -V pendant la moitié du moment élémentaire



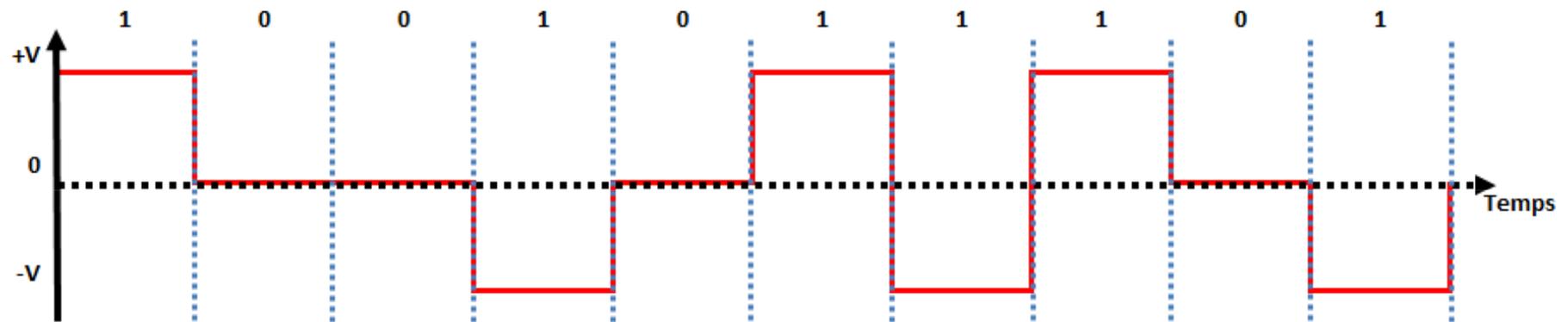
- Remarques :

- Utilisé par le système de téléphonie numérique PCM sur une ligne de transmission T1 (Etats-Unis)

- Codage en ligne des signaux

- Le codage bipolaire simple (ou code bipolaire d'ordre 1 ou Bipolar AMI)

- Un bit à "0" laisse le signal constant à 0V pendant le moment élémentaire
- Un bit à "1" est codé alternativement par un niveau +V et -V pendant le moment élémentaire



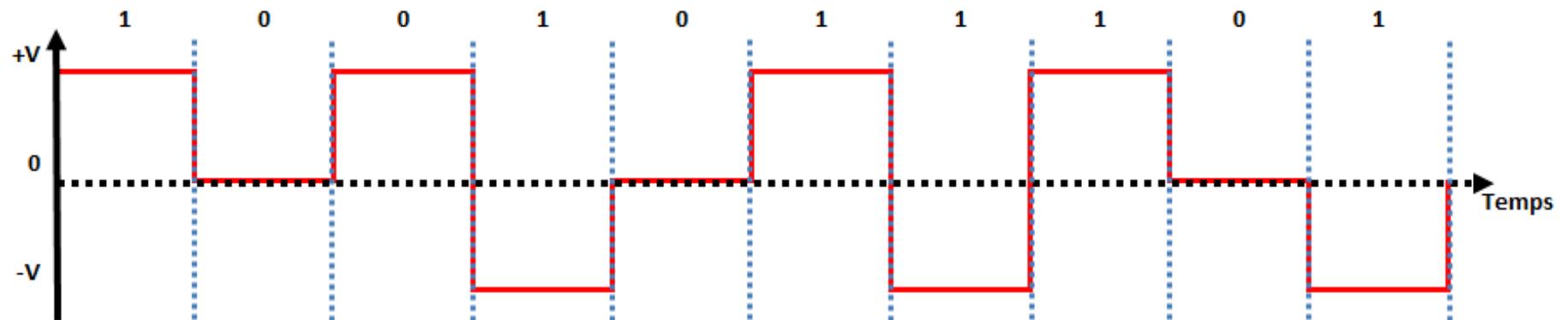
- Remarques :

- Codage à 3 niveaux plus sensible au bruit que les codages à 2 niveaux
- Pour le code bipolaire d'ordre 2 il y a alternance une fois sur deux au niveau "1"
 - ❖ Pour une suite de trois "1" consécutifs le signal passe de +V à -V, puis reste à -V
- Utilisé pour injecter les valeurs logiques correspondant au flux d'entrée sur le média physique (couche 1 du modèle OSI)

- Codage en ligne des signaux

- Le codage bipolaire haute densité BHDn (ou HDBn)

- Le niveau logique à coder pendant un moment élémentaire dépend des états précédents
 - Identique au bipolaire simple tant qu'il n'y a pas une succession de "0" consécutifs
 - Un bit à "1" est codé alternativement par un niveau +V et -V
 - Un bit à "0" laisse le signal constant à 0V pendant le moment élémentaire si le bit précédent était à "1"
 - Un bit à "0" entraîne la recopie du niveau précédent si les n bits précédents étaient à "1"



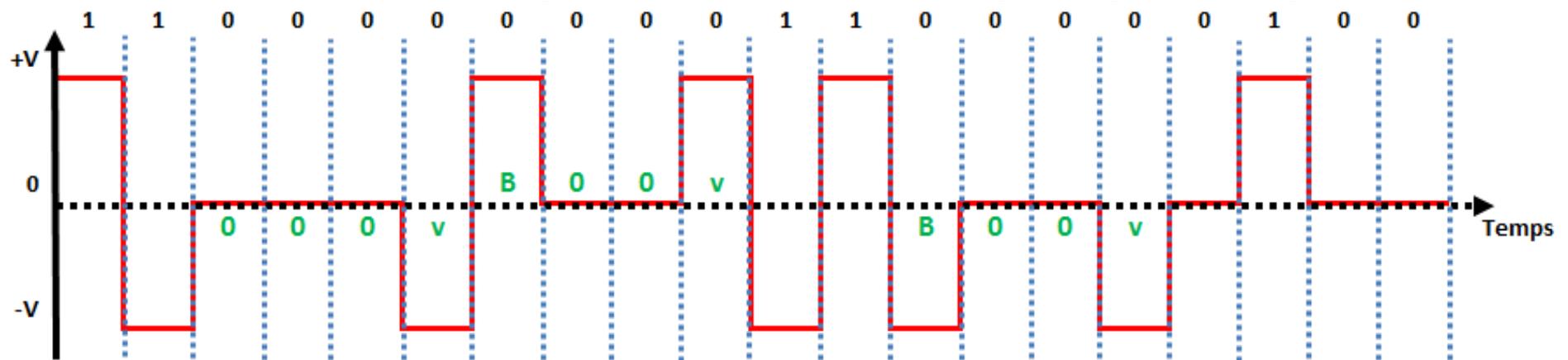
- Remarques :

- Le code BHD dit d'ordre "n" est noté BHDn
 - ❖ En codage BHD1 (exemple ci-dessus) le niveau précédent est recopié dès l'apparition de deux "0" consécutifs
 - Le code le plus utilisé est le BHD3 (ou HDB3)
 - Permet d'éviter les longues suites de "0" et la désynchronisation
 - Utilisé dans les télécoms

- Codage en ligne des signaux

- Le codage BHD3 (ou HDB3 ou Modified AMI code)

- Identique au bipolaire simple tant que le nombre de "0" consécutifs à coder est inférieur à 4
 - Génération d'une violation de codage (v) au niveau du 4^{ème} "0" consécutif :
 - Caractérisé par un front montant "+V" ou descendant "-V" du même signe que le front précédent
 - Génération d'un bit de balance (B) au niveau du premier "0" de la violation suivante :
 - Caractérisé par un front montant "+V" si le front précédent est un front descendant "-V"
 - Caractérisé par un front descendant "-V" si le front précédent est un front montant "+V"
 - Un groupe de quatre "0" consécutifs est codé **B00v** sauf le premier qui est codé **000v**
 - Pas d'introduction de bits supplémentaires
 - Les bits de violation (v) et les bits de balance (B) ne sont pas ajoutés :
 - ❖ Seule la valeur du signal (initialement 0V pour un bit à "0") change en un signal positif ou négatif suivant le cas



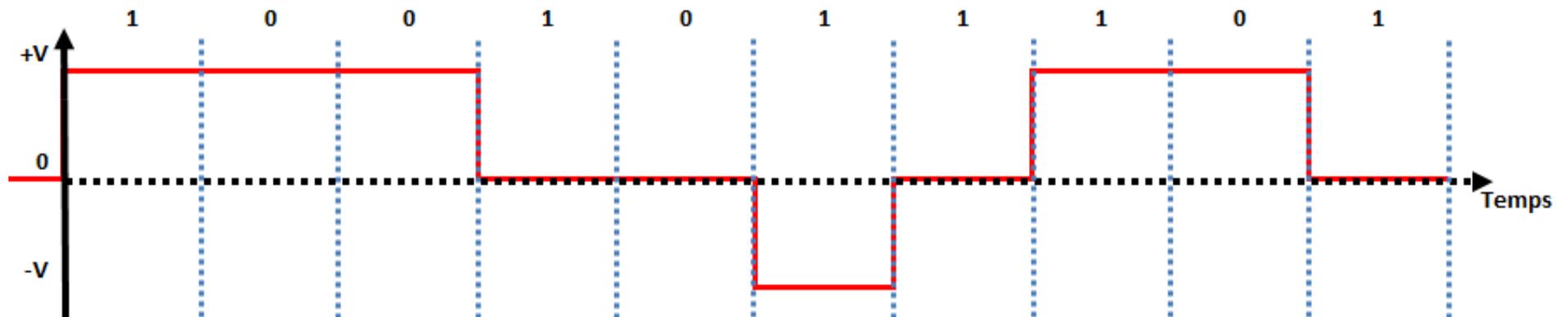
- Remarque :

- Utilisé par le système de téléphonie numérique PCM sur une ligne de transmission E1

- Codage en ligne des signaux

- Le codage Multi-Level Transmit MLT3

- Un bit à "0" n'entraîne aucun changement d'état et laisse le signal constant
 - Un bit à "1" entraîne un changement d'état selon la séquence : +V, 0, -V, 0, +V, 0, -V, ...
 - Les passages de +V à -V ou -V à +V sont interdits
 - Permet la détection des erreurs de transmission



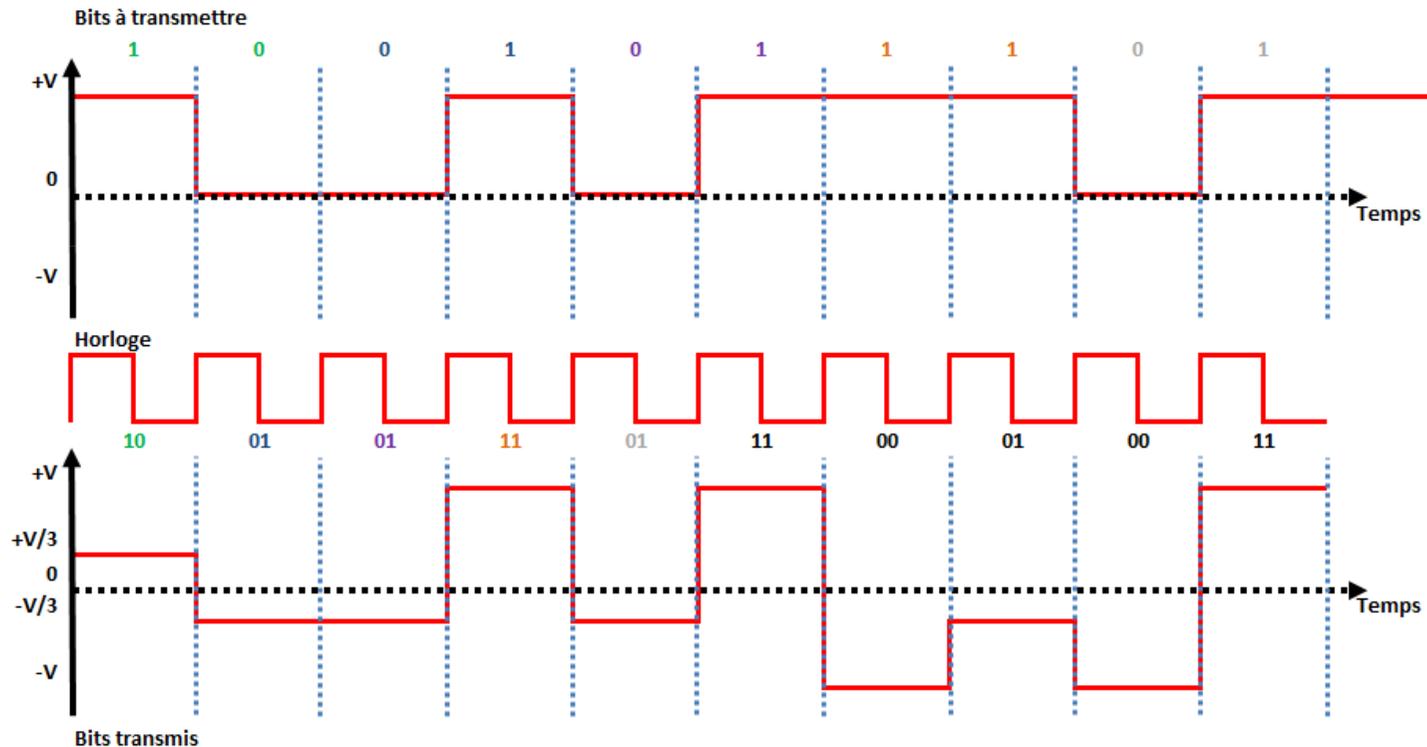
- Remarque :

- Réduit le spectre du signal à 25MHz pour 100Mbps
 - Risque de désynchronisation après une longue suite de "0"
 - Utilisé en Fast Ethernet et ATM (Asynchronous Transfer Mode)

• Codage en ligne des signaux

– Le codage 2B1Q (ou codage à quatre niveaux)

➤ Faire correspondre à un groupe de deux bits un créneau de tension pouvant prendre quatre valeurs différentes



➤ Remarques :

- Nombre de bauds identique pour les deux signaux : $RM(\text{bauds}) = 1 / \Delta(\text{secondes})$
- Nombre de bits/s différent car les données sont transmises à deux fois la fréquence du signal :
 - ❖ $D(\text{bits/s}) = RM$ pour le signal bivalent (1 ou 0) et $D(\text{bits/s}) = 2 \times RM$ pour le signal quadrivalent (00,01,10,11)
- Utilisé en HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Line)

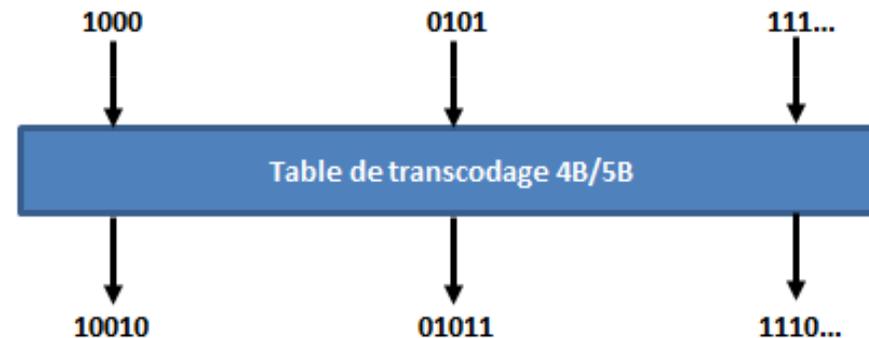
- Codage en ligne des signaux
 - Codage nB/mB
 - Codage d'optimisation ne définissant pas la mise en ligne des bits
 - Mise en ligne généralement réalisée par un codage de type NRZI, MLT3 ou NRZ
 - Codage par bloc s'ajoutant au codage en ligne
 - Utilisation d'une table de transcodage pour coder un groupe de n bits en m bits avec $m > n$
 - Apporte la garantie de ne jamais transmettre plus de deux "0" successifs
 - Avantages
 - Détection d'erreurs en cas de réception d'un bloc inexistant dans la table de codage.
 - Elimine les groupes pouvant poser des problèmes de transmission comme 0000
 - Inconvénients
 - Réduit le débit utile
 - ❖ Transmission de m bits pour n bits d'information (avec bits transmis > bits d'information)
 - Risque d'erreur de transmission subsistant sur certaines parties (début de paquet, fin de paquet, ...)

- Codage en ligne des signaux

- Codage 4B/5B

- Suite binaire "10000101111" découpée en groupes de 4 bits
 - Table de transcodage transformant chaque groupe de 4 bits en groupe de 5 bits

GRUPE DE 4 bits	SYMBOLE 4B5B
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101



- Utilisation :

- 4B/5B associé au codage en ligne NRZI : Fast Ethernet 100Base FX
 - 4B/5B associé au codage en ligne MLT3 : Fast Ethernet 100Base TX
 - 8B/10B associé au codage en ligne NRZ : Gigabit Ethernet 1000Base SX et 1000Base LX

- Multiplexage
 - Consiste à faire passer plusieurs informations sur un seul support de transmission
 - Permet de partager un même support de transmission entre plusieurs utilisateurs
 - Multiplexage temporel ou Time Division Multiplexing (TDM)
 - Partage du temps disponible entre les différentes connexions ou utilisateurs
 - Attribution cyclique d'un intervalle de temps (Time Slot) à chacune des communications
 - Une même fréquence peut être utilisée par plusieurs utilisateurs simultanément
 - Transmission d'une synchronisation (horloge) pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données
 - Exemple :
 - ❖ En téléphonie mobile (GSM), chaque porteuse (canal physique) supporte huit intervalles de temps attribués à huit communications simultanées
 - Multiplexage fréquentiel ou Frequency Division Multiplexing (FDM)
 - Partage de la bande de fréquence en une série de plusieurs canaux moins larges
 - Transmission des informations en parallèle sur le spectre de fréquence du support
 - Une ou deux bandes de fréquences distinctes sont attribuées à chaque utilisateur
 - ❖ Une pour l'émission et une pour la réception en mode full duplex
 - Exemple :
 - ❖ Sur une liaison internet ADSL, la séparation entre l'émission (Upload) et la réception (Download)

- Interconnexion réseau

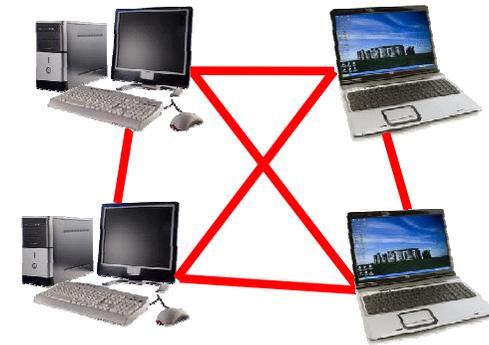
- Nécessité de mettre en relation un équipement ou utilisateur avec n'importe quel autre
 - Relation 1 parmi N
 - Impossibilité de créer autant de liaison point à point qu'il y a de communicants
 - Pour N équipements le nombre de lien(s) nécessaire(s) est : $[N \times (N-1)] / 2$
 - ❖ Exemple : Pour 10 millions d'abonnés Internet, il faudrait 5×10^{13} lignes



2 équipements = 1 liaison



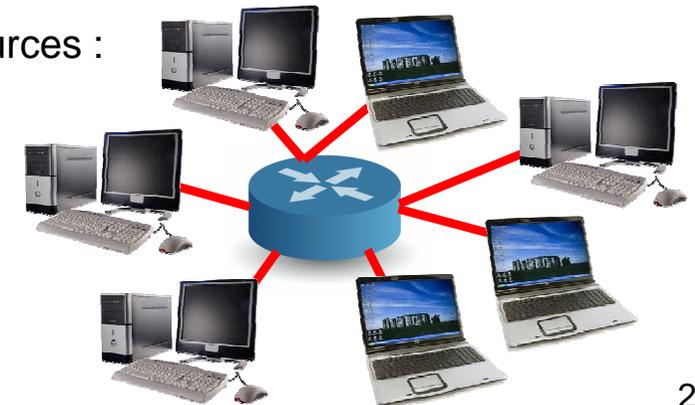
3 équipements = 3 liaisons



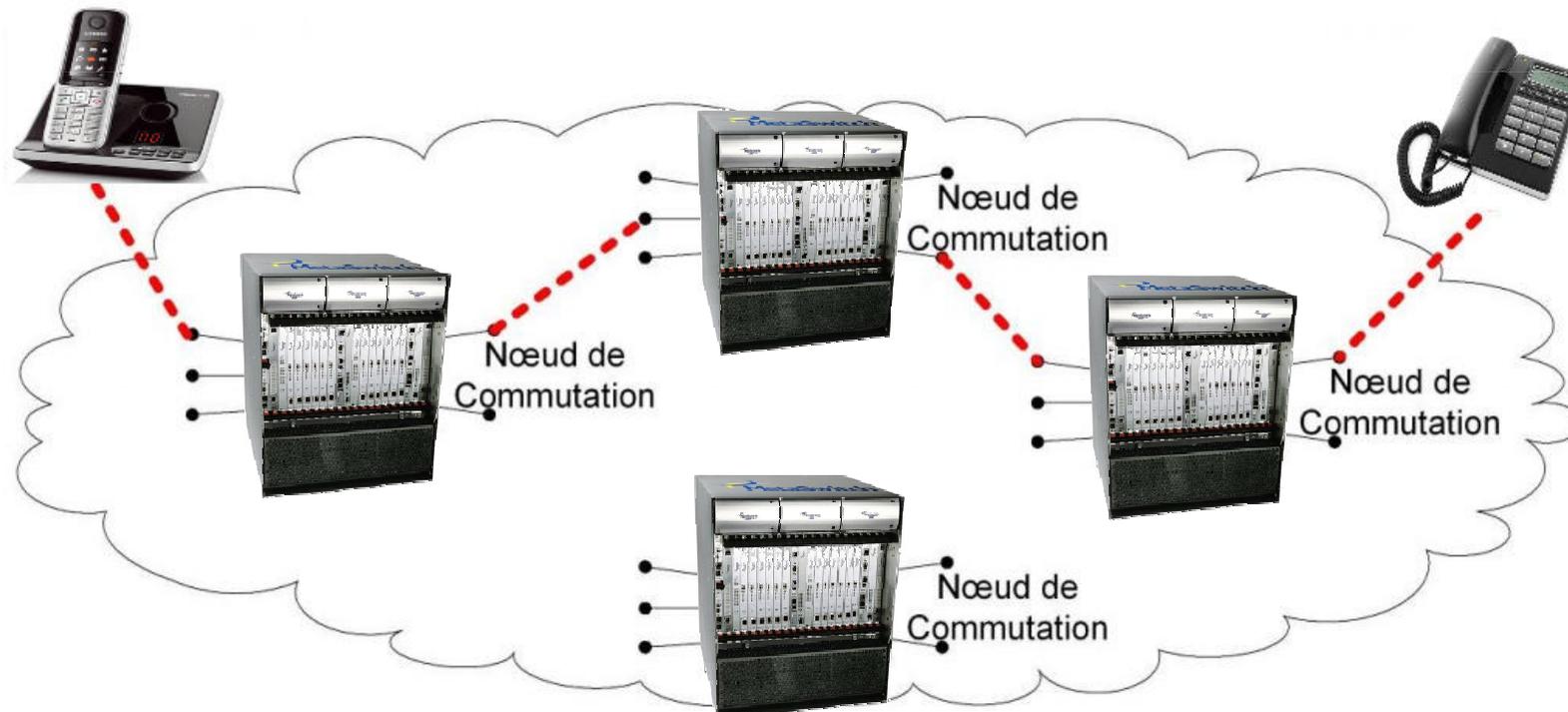
4 équipements = 6 liaisons

- Alternatives

- Techniques permettant l'optimisation du partage des ressources :
 - Commutation de circuit
 - Commutation de messages
 - Commutation de paquets

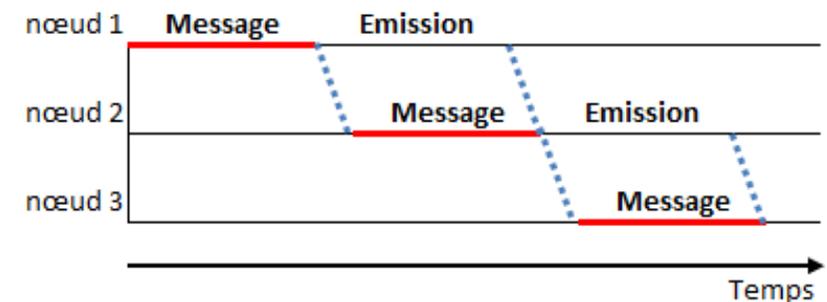
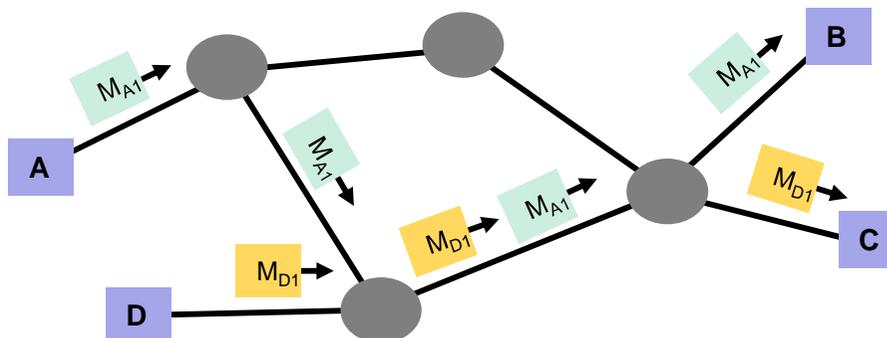


- Commutation de circuit
 - Etablissement d'une liaison physique par une continuité provisoire entre deux stations
 - Le circuit doit être établi avant que les informations puissent transiter
 - Taux de connexion important alors que le taux d'activité est faible
 - Les abonnés monopolisent toute la ressource durant la connexion
 - Principe de fonctionnement du Réseau Téléphonique Commuté (RTC)



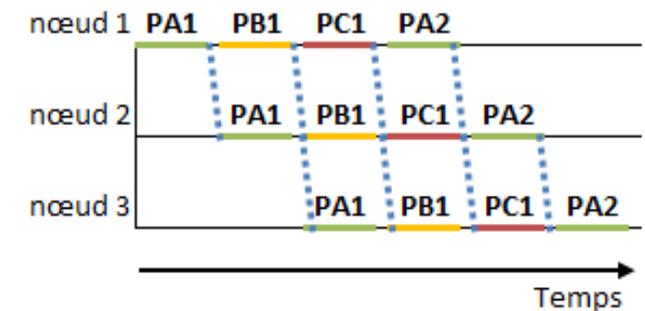
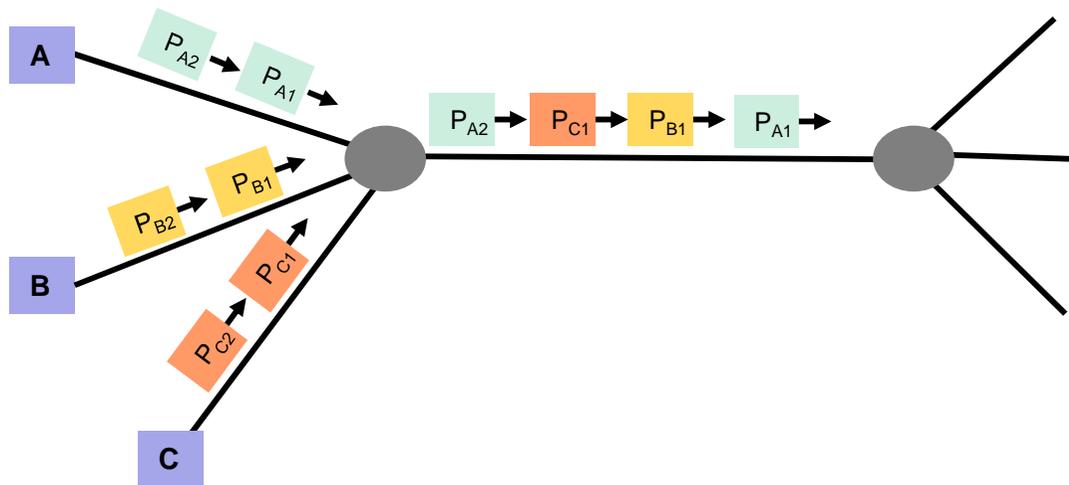
- Commutation de messages

- Acheminement de messages complets
- Pas d'établissement préalable d'un circuit de bout en bout
- Mémorisation et retransmission des messages de proche en proche vers la destination
 - Message mémorisé à chaque nœud puis retransmis au nœud suivant dès qu'un lien est libre
- Avantages
 - Pas de blocage mais ralentissement en cas de trafic important
 - Transfert même si le correspondant est occupé ou non connecté
 - Diffusion d'un message à plusieurs correspondants (multicast/broadcast)
 - Adaptation des débits et éventuellement des protocoles
- Inconvénients
 - Echange simplex et asynchrone
 - Mémoire de stockage
 - Probabilité importante d'erreur



- Commutation de paquets

- Message découpé en paquets (segmentation)
- Chaque paquet est acheminé dans le réseau indépendamment du précédent
- Un paquet peut être multiplexé avec des paquets provenant de sources différentes
 - Nécessité d'être identifié par une étiquette
- Pas de stockage au niveau de chaque noeud
 - Un réémet immédiatement un paquet sur une voie optimale
- Nécessité d'attendre la réception de tous les paquets pour reconstituer et traiter le message au niveau du destinataire

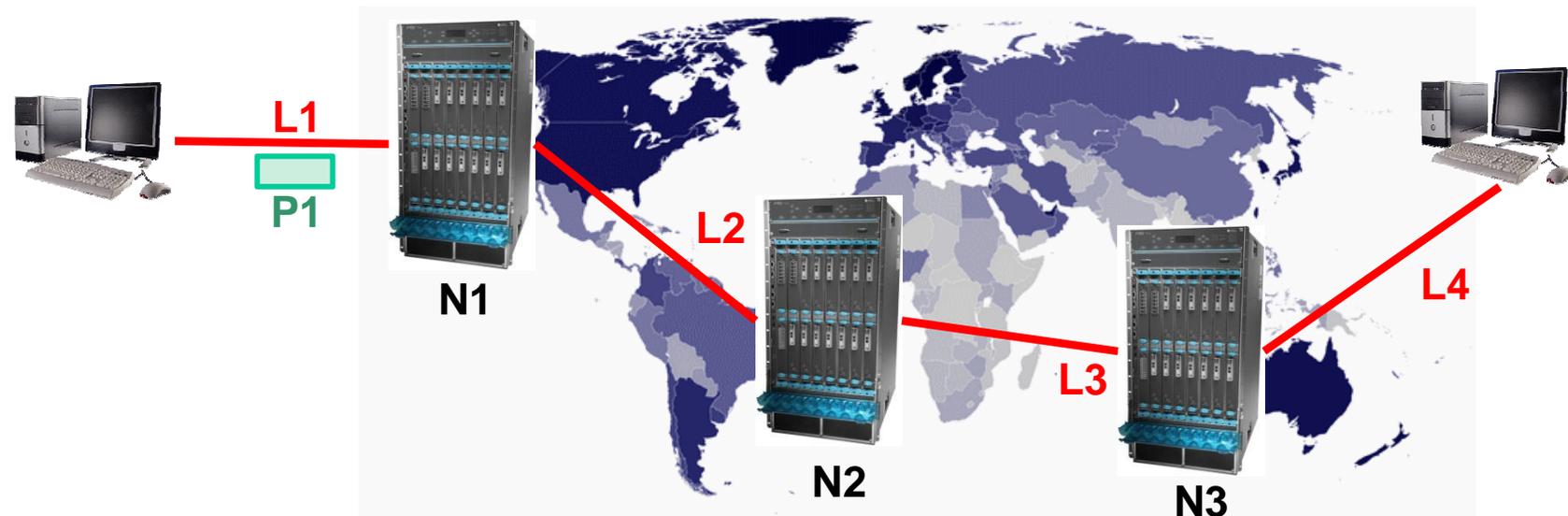


- Performance en commutation de paquets

- Un message de "L" bits est découpé en "p" paquets émis sur les différents supports à un même débit "D" bit/s

- t_p est le temps de transmission d'un paquet
- N est le nombre de nœud traversé
 - Le paquet arrive à destination à : $(N+1) \times t_p$
 - Le dernier paquet est émis à : $(p-1) \times t_p$
 - La fin du transfert arrive à : $(N+1) \times t_p + (p-1) \times t_p = t_p \times (p + N)$
 - Le temps de transmission d'un paquet est : $t_p = L \times (p \times D)$
 - Le temps de traversé du réseau est :

$$T_p = \frac{L \times (p + N)}{p \times D} = \frac{L}{D} \times \frac{1 + N}{p}$$



- Performance en commutation de paquets

- Pour arriver à destination, une information doit être précédée par une en-tête (header)

- En ajoutant la taille de l'en-tête "H" à chaque paquet on obtient :

$$T_p = \frac{(L + H) \times p}{D} \times \frac{1 + N}{p}$$

- Pour un seul message (soit $p = 1$) on obtient : $T_{pm} = \frac{(L + H)}{D} \times (1 + N)$

- Le temps de traversée relatif est exprimé par le rapport T_p/T_{pm} soit :

$$\frac{T_p}{T_{pm}} = \frac{(L + H) \times p}{(L + H) \times (1 + N)} \times \frac{(1 + N)/p}{(L + H) \times (1 + N)}$$

- Conclusion

- Le temps de traversée du réseau est d'autant plus réduit que la valeur de "N" est faible

- Nécessité de minimiser le nombre de nœud par routage (algorithme de routage)
 - Nécessité d'augmenter le maillage du réseau

- L'influence de la taille de l'en-tête (H) est non négligeable

- L'en-tête est constitué de champs permettant l'acheminement des paquets à destination
 - Nécessité de définir le rapport optimal entre la charge utile de données et les données de service

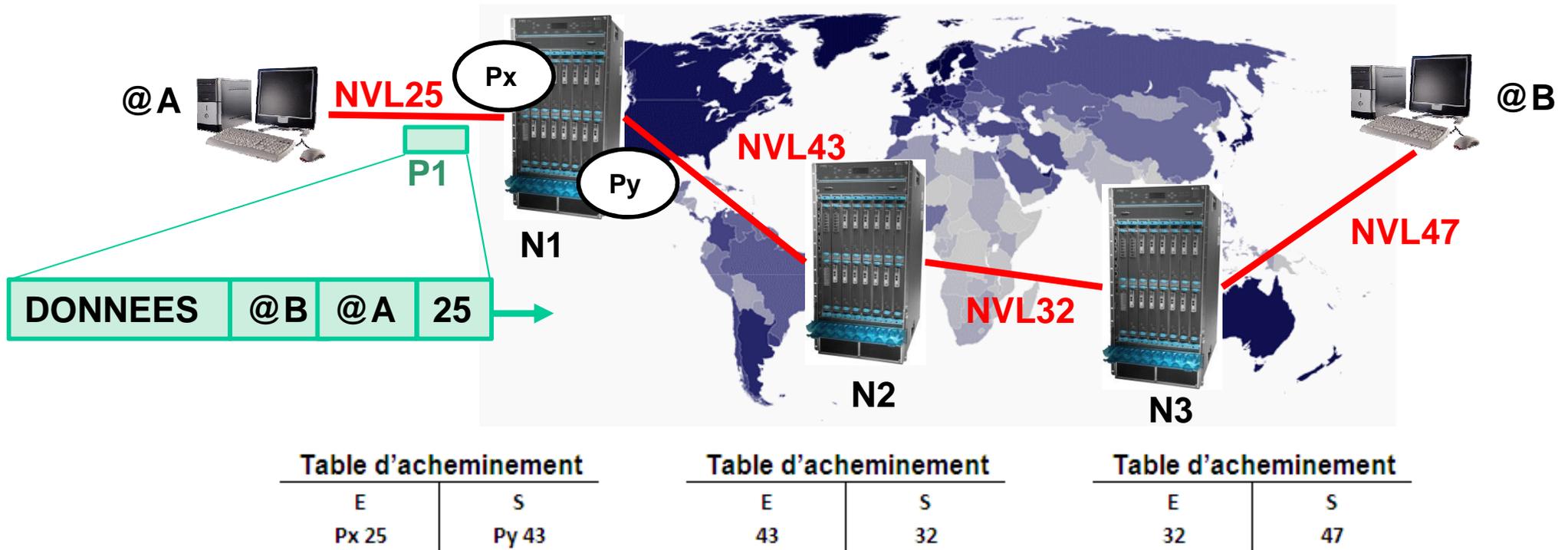
- En cas d'erreur de transmission :

- En commutation de message l'intégralité du message est retransmis
 - En commutation de paquets seul le paquet est retransmis

- Mode non connecté
 - Les équipements ne gèrent pas directement la connexion
 - Chaque paquet comporte toutes les informations nécessaires à son acheminement
 - Un paquet transmis en mode non-connecté est appelé datagramme
 - L'envoi de données ne garantit pas la réception effective
 - Avantages
 - Répartition de la charge sur le réseau
 - Mécanismes réseau allégés entraînant une meilleure rapidité
 - Inconvénients
 - Chaque bloc doit contenir au minimum l'adresse du destinataire
 - Si le destinataire n'est pas à l'écoute les données sont perdues
 - Séquencement non garanti
 - Complexité pour le récepteur de vérifier l'ordonnancement des paquets
 - Réseaux à datagrammes
 - Exemple : Protocole UDP (User Datagram Protocol)

- Mode orienté connexion
 - Le réseau détermine le chemin emprunté par tous les paquets à l'ouverture de la connexion
 - Création d'un circuit virtuel
 - Un équipement peut gérer plusieurs connexions simultanément
 - Connexions distinguées par un identifiant appelé Numéro de Voie Logique (NVL)
 - Avantages
 - Les paquets suivant le même circuit virtuel arrivent dans l'ordre
 - Entraîne une meilleure qualité de service
 - Inconvénient
 - Réalisation et gestion du réseau plus complexe
 - Réseaux à protocoles de communication orientés connexion
 - Exemple : Protocole TCP (Transmission Control Protocol)

- Mode orienté connexion



- Comparatif commutation de circuits/commutation de paquets

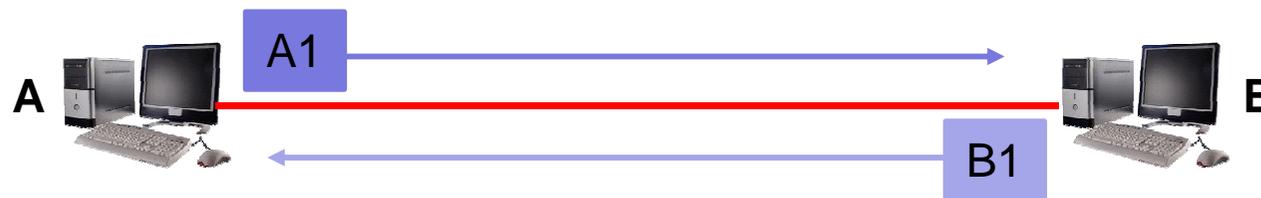
	COMMUTATION DE CIRCUITS	COMMUTATION DE PAQUETS
ETABLISSEMENT D'UN CIRCUIT	PRÉALABLE À L'ÉCHANGE DE DONNÉES	PAS DE CIRCUIT PRÉÉTABLI
GARANTIE DE SÉQUENCEMENT	OUI	NON
OPTIMISATION DES RESSOURCES	NON (CIRCUIT DÉDIÉ)	OUI (CIRCUIT PARTAGÉ)
INDÉPENDANCE DES DÉBITS	NON	OUI

– Optimisation

- Réaliser un mode de commutation de paquets orienté connexion
 - Permet d'associer les avantages de chaque type de commutation
 - Tous les paquets suivront le même chemin émulant un circuit

- Protocole

- Description des formats de messages et règles préétablies selon lesquelles des équipements échangent des données sur le ou les réseaux
- Protocole de liaison de données
 - Définit et supervise un ensemble de règles assurant la fiabilité des échanges sur un circuit de données
 - Lors de transmission de données, quel que soit le support de transmission utilisé, des erreurs peuvent se produire



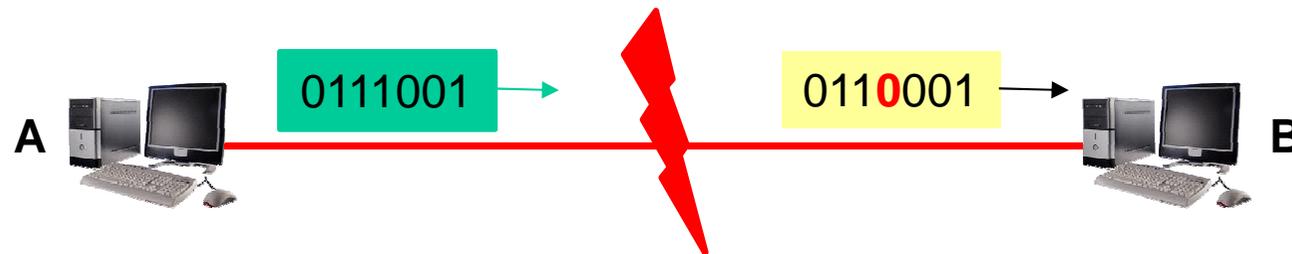
- Rôle du protocole de liaison de données lors de l'échange d'informations :
 - Délimitation des différentes trames de données échangées
 - Organisation et contrôle de l'échange
 - Contrôle de la validité des trames
 - Procédure de reprise sur erreur
 - Contrôle de flux des données entre les équipements
 - Gestion des acquittements des trames
 - Contrôle de la liaison (facultatif)

- Contrôle d'intégrité

- La détection d'erreurs

- Mécanisme permettant au destinataire de vérifier la validité des données reçues

- Des phénomènes physiques (rayonnement électromagnétique, bruit,...) peuvent perturber la transmission et modifier les informations transmises



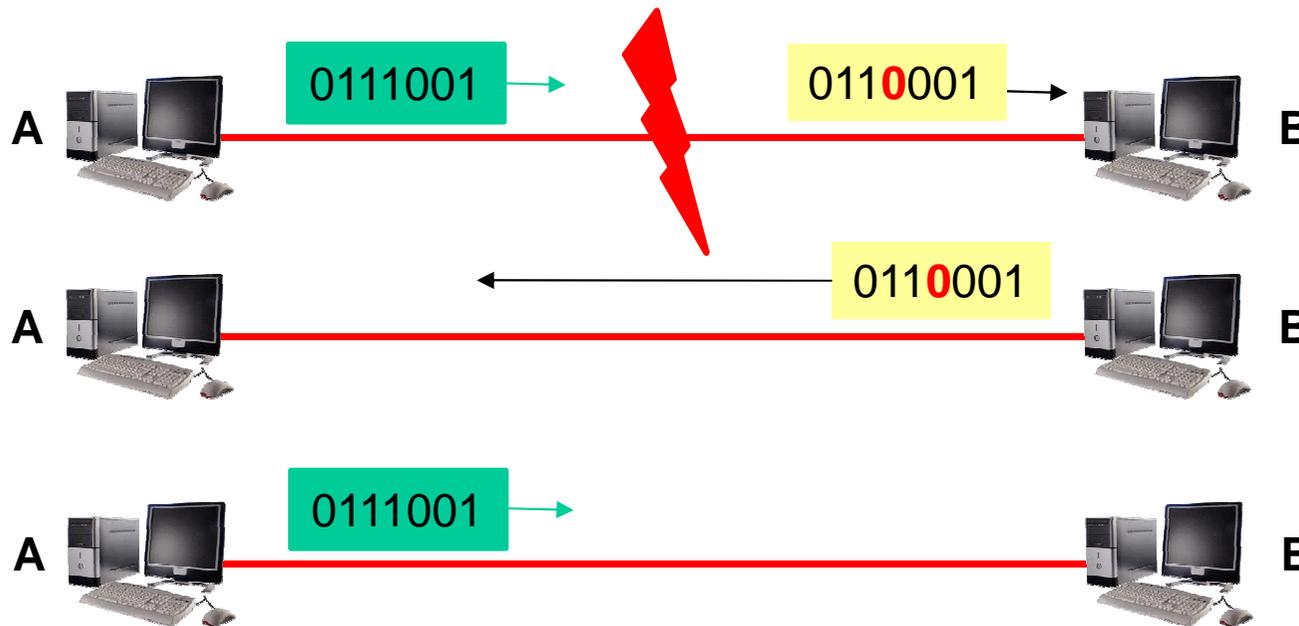
- Techniques permettant de détecter et éventuellement corriger les erreurs :

- Détection par écho
 - Détection par répétition
 - Détection d'erreurs par clé calculée
 - Détection et correction d'erreurs par code

- Contrôle d'intégrité

- Détection par écho

- Le récepteur renvoie en écho le message reçu par l'émetteur
 - Si le message reçu par l'émetteur est différent de celui émis, celui-ci retransmet le message



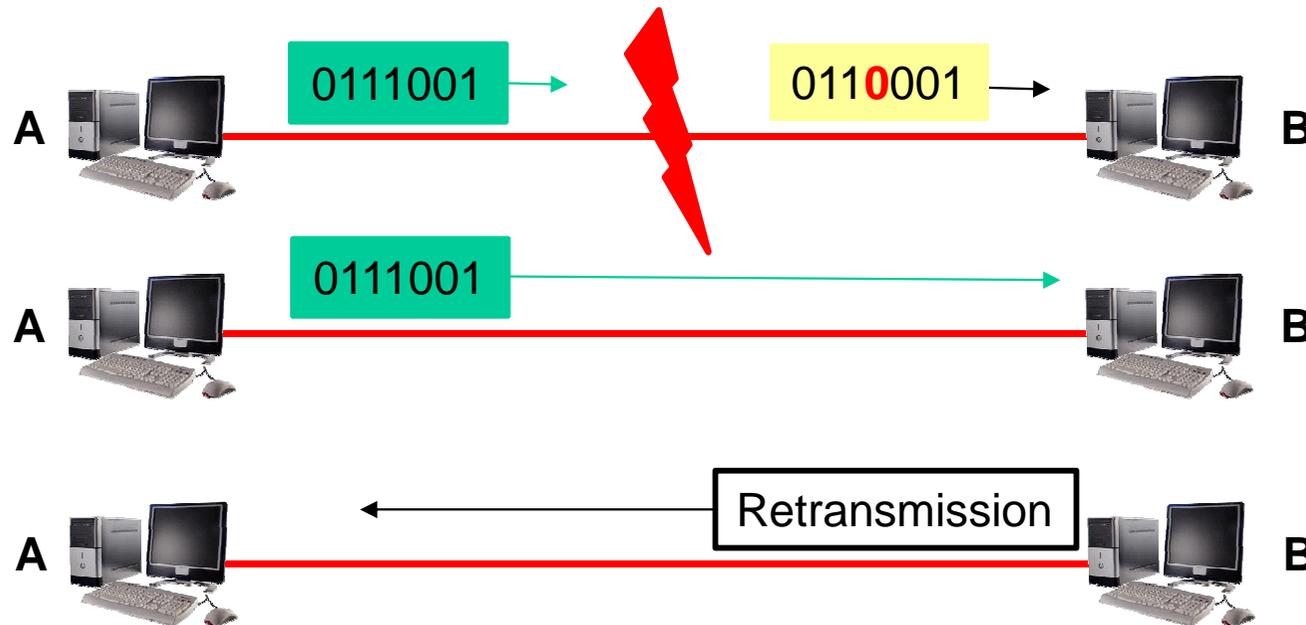
- Applications pratiques

- Technique utilisée dans les terminaux asynchrones (exemple : Minitel, ...) ou certaines commandes MS-DOS (ping, ...)

- Contrôle d'intégrité

- Détection par répétition

- Chaque message est envoyé deux fois par l'émetteur
 - Si les deux messages sont différents, le récepteur demande sa retransmission



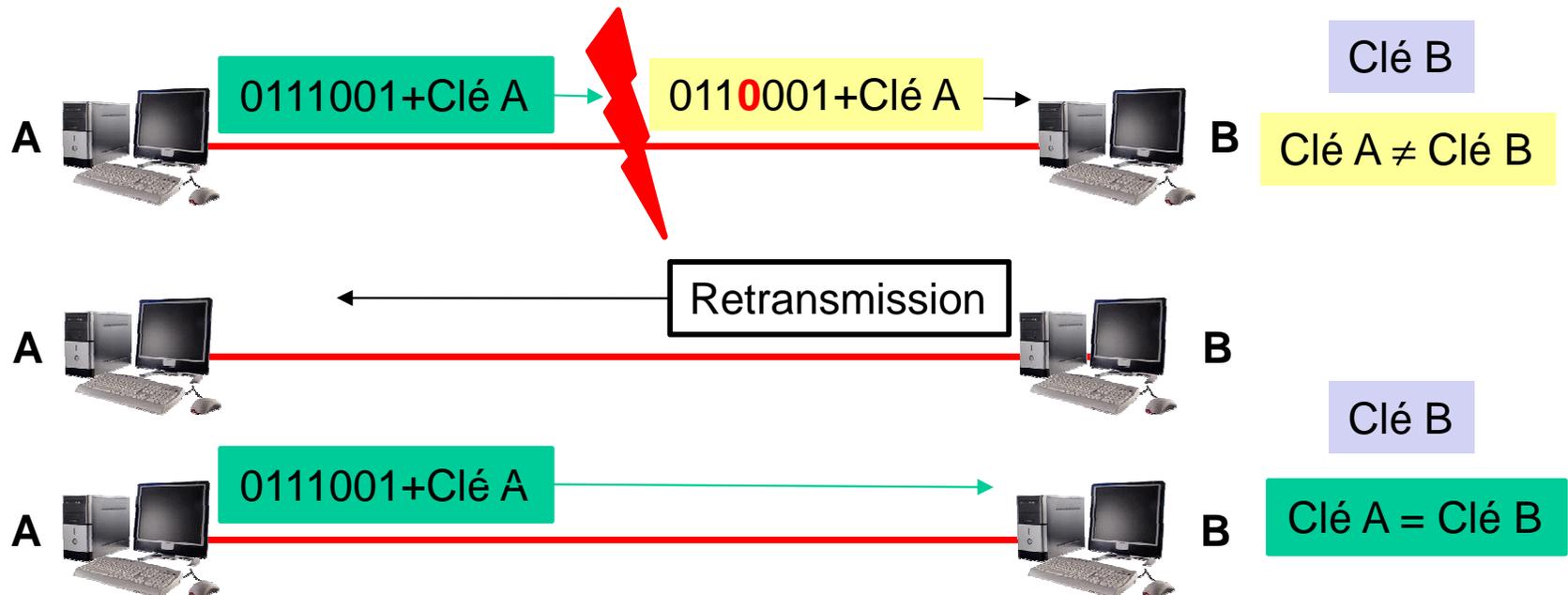
- Applications pratiques

- Technique utilisée dans les milieux sécurisés très perturbés

- Contrôle d'intégrité

- Détection par clé calculée

- Une séquence de contrôle (clé) déduite d'une opération mathématique est appliquée au message à émettre et est transmise avec le message
 - Le récepteur effectue la même opération mathématique et compare sa clé avec la clé reçue
 - Si les deux clés sont identiques, les données sont considérées exactes
 - Dans le cas contraire, le récepteur ignore les données reçues et demande la retransmission
 - Mécanisme de reprise sur erreur



- Contrôle d'intégrité
 - Technique du bit de parité
 - Un bit dépendant de la somme de bits à 1 transmis est ajouté à la séquence binaire à protéger
 - Somme de bits à 1 transmis pair : bit de parité à 0
 - Somme de bits à 1 transmis impair : bit de parité à 1 (ou bit d'imparité)
 - Technique appelée Vertical Redundancy Check (VRC) dans le cas d'une transmission asynchrone (émission par caractère)

Caractère	O	S
Bit 0	1	1
Bit 1	0	0
Bit 2	0	0
Bit 3	1	1
Bit 4	1	0
Bit 5	1	1
Bit 6	1	1
Bit de parité	1	0

5 bits à 1 4 bits à 1

ALPHABET ASCII					
A	1000001	J	1001010	S	1010011
B	1000010	K	1001011	T	1010100
C	1000011	L	1001100	U	1010101
D	1000100	M	1001101	V	1010110
E	1000101	N	1001110	W	1010111
F	1000110	O	1001111	X	1011000
G	1000111	P	1010000	Y	1011001
H	1001000	Q	1010001	Z	1011010
I	1001001	R	1010010		

- Informations transmises : 1001 111**1** 1001 011**0**

- Contrôle d'intégrité
 - Technique du bit de parité
 - Le Longitudinal Redundancy Check (LRC) complète le Vertical Redundancy Check (VRC) dans le cas d'une transmission synchrone (émission par bloc)

	H	E	L	L	0	LRC	
Bit 0	1	1	1	1	1	1	5 bits à 1
Bit 1	0	0	0	0	0	0	0 bits à 1
Bit 2	0	0	0	0	0	0	0 bits à 1
Bit 3	1	0	1	1	1	0	4 bits à 1
Bit 4	0	1	1	1	1	0	4 bits à 1
Bit 5	0	0	0	0	1	1	1 bits à 1
Bit 6	0	1	0	0	1	0	2 bits à 1
Bit de parité	0	1	1	1	1	0	

2 bits à 1 3 bits à 1 3 bits à 1 3 bits à 1 5 bits à 1 2 bits à 1

ALPHABET ASCII					
A	1000001	J	1001010	S	1010011
B	1000010	K	1001011	T	1010100
C	1000011	L	1001100	U	1010101
D	1000100	M	1001101	V	1010110
E	1000101	N	1001110	W	1010111
F	1000110	O	1001111	X	1011000
G	1000111	P	1010000	Y	1011001
H	1001000	Q	1010001	Z	1011010
I	1001001	R	1010010		

- Informations transmises : 1001 000**0** 1000 101**1** 1001 100**1** 1001 100**1** 1001 111**1** 1000 010**0**

- Contrôle d'intégrité

- Code de Hamming

- Code auto-correcteur linéaire basé sur les tests de parité
 - Permet de corriger un bit en erreur dans sa version la plus simple
 - Aux M bits d'information sont ajoutés K bits de contrôle de parité donnant une trame de N bits
 - Trame = bits d'information + bits de contrôle soit : $N = M + K$
 - Détermination de K et M selon la valeur de N :

Trame	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	128	...
Informations	M	0	0	1	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	...	120	...
Contrôle	K	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	...	8	...

- Bits de contrôle (ou parité)
 - Positionnés sur les puissances de 2 en numérotant les bits de droite à gauche à partir de 1
 - ❖ Soit les bits n°1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128,...
 - Chaque bit de contrôle effectue un contrôle de parité sur un certain nombre de bits de données
 - ❖ Parité paire ou impaire
 - Détermine les N bits à transmettre ou à stocker (le premier bit à droite porte le numéro 1 et non pas 0)

• Contrôle d'intégrité

– Code de Hamming

➤ Exemple avec un nombre de bits d'information de 4 (M=4)

- A l'émission, le code de Hamming se construit sur 7 bits (N=7) avec ajout de 3 bits de contrôle (K=3)
- Les 3 bits de contrôle K3, K2 et K1 sont placés sur les puissances de 2 : K1 en 1, K2 en 2 et K3 en 4
 - ❖ K1 contrôle les bits 1, 3, 5, 7 / K2 contrôle les bits 2, 3, 6, 7 / K3 contrôle les bits 4, 5, 6, 7
- En parité paire, K1 doit être tel que le nombre de bits à 1, comptés sur les bits 1, 3, 5 et 7 soit pair

Bit numéro	7	6	5	4	3	2	1
Info/contrôle	M4	M3	M2	K3	M1	K2	K1

Bit numéro	Binaire	Détails	Info/Ctrl	Analyse
7	0111	= 4 + 2 + 1	M4	le bit 7 est contrôlé par K3, K2 et K1
6	0110	= 4 + 2	M3	le bit 6 est contrôlé par K3 et K2
5	0101	= 4 + 1	M2	le bit 5 est contrôlé par K3 et K1
4	0100		K3	est le bit de contrôle K3
3	0011	= 2 + 1	M1	le bit 3 est contrôlé par K2 et K1
2	0010		K2	est le bit de contrôle K2
1	0001		K1	est le bit de contrôle K1

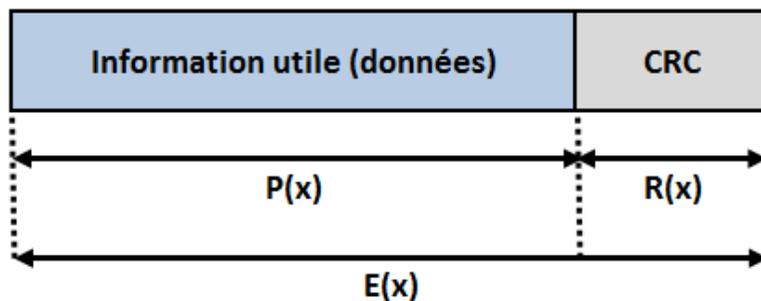
➤ A la réception, un contrôle de la parité est effectué

- Pour chacun des bits de contrôle, la valeur reçue est comparée à celle calculée par la récepteur :
 - ❖ Si elles sont identiques la valeur 0 est assignée à la variable binaire A_n associée au bit de contrôle K_n
 - ❖ Dans le cas contraire la valeur 1 est assignée à la variable binaire A_n , indiquant une erreur de parité

➤ En supposant que les valeurs associées à K1, K2, K3 soient $A_1=1, A_2=1, A_3=0$: $A_3A_2A_1=011$

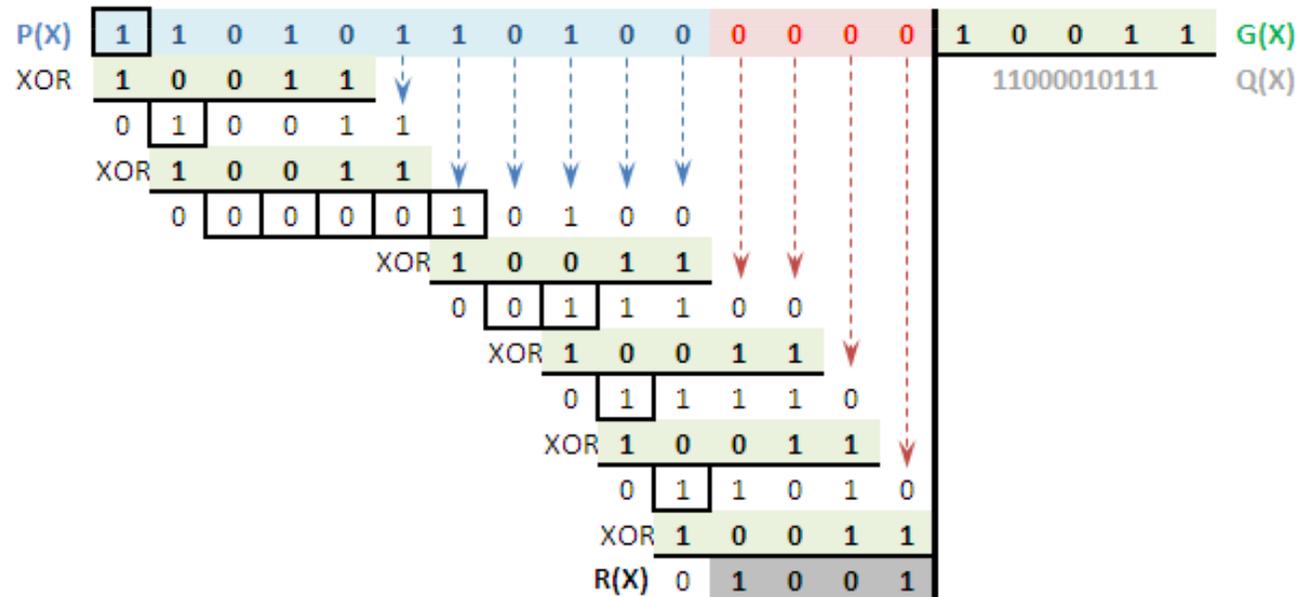
- Indique une erreur détectée par **K1** et **K2** mais pas par K3
 - ❖ Le bit 3 est le seul qui soit contrôlé par **K1** et **K2** mais pas par K3
 - ❖ L'erreur ne peut provenir que du bit 3 = 0011_2

- Contrôle d'intégrité
 - Contrôle de Redondance Cyclique ou Cyclic Redundancy Check (CRC)
 - Détecte les erreurs de transmission par ajout de données redondantes obtenues par hachage
 - CRC calculé par l'émetteur et le récepteur, puis comparés pour s'assurer qu'ils sont identiques
 - Les calculs de CRC usuels sont construits de façon à ce que certaines erreurs soient toujours détectées
 - ❖ Exemple : interférences dans les transmissions
 - A l'émission
 - Le bloc de données de N bits est considéré comme un polynôme $P(X)$ de degré $N-1$:
 - ❖ Exemple : **1100101** est représenté par $1*X^6+1*X^5+0*X^4+0*X^3+1*X^2+0*X^1+1*X^0$ soit $X^6+X^5+X^2+1$
 - Le polynôme $P(X)$ est divisé par un polynôme générateur $G(X)$
 - Le reste de cette division $R(X)$ constitue le CRC
 - A la réception
 - Le message reçu contenant les données et le CRC doit être divisible par le même polynôme générateur
 - Vérification par une division euclidienne en binaire que le reste de la division est nul



- Contrôle d'intégrité
 - Contrôle de Redondance Cyclique ou Cyclic Redundancy Check (CRC)
 - Exemple avec une trame à transmettre contenant la suite binaire **11010110100**
 - Utilisation du polynôme diviseur $G(x) = x^4+x+1$, soit en binaire : **10011**
 - Division de **11010110100** par **10011** :
 - ❖ Ajout à droite du dividende d'autant de **0** que le diviseur comporte de bit moins un
 - ❖ **10011** est composé de 5 bits, soit $5 - 1 = 4$ pour obtenir la valeur binaire **110101101000000**
 - ❖ Exécution de la division par soustractions successives grâce au **OU-EXCLUSIF (XOR)**

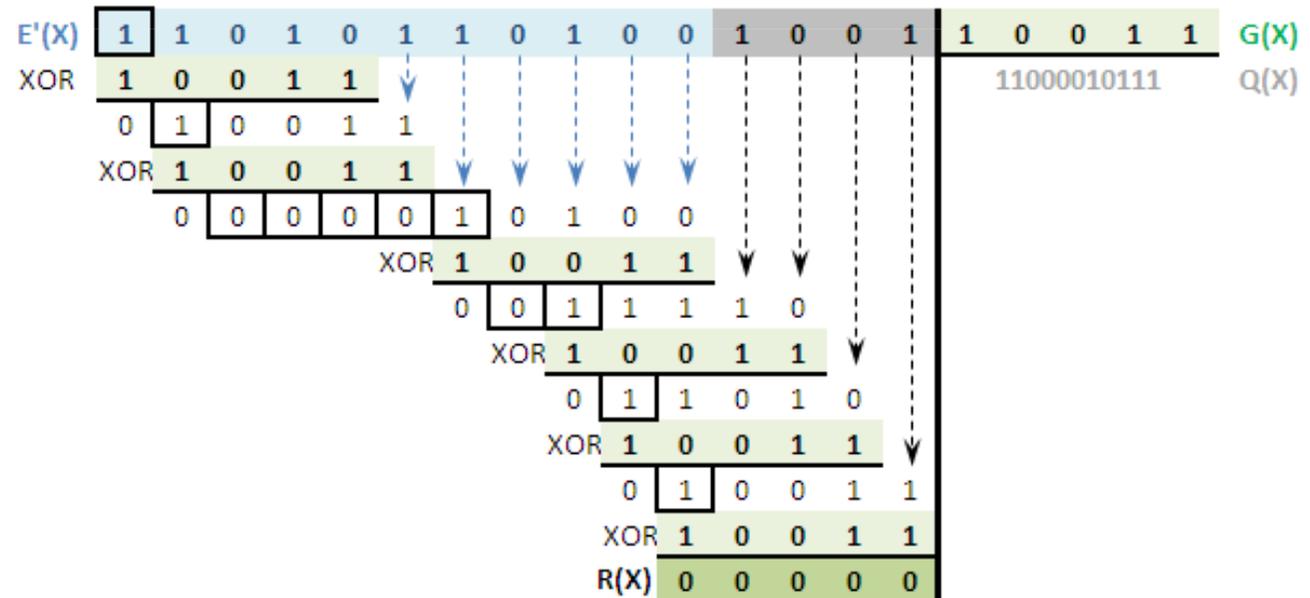
OU-EXCLUSIF (XOR)		
BIT 1	BIT 2	RESULTAT
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



- ❖ La dernière ligne de la division donne le reste correspondant au CRC : **1001**
- ❖ Le reste est ajouté à la suite de la trame d'information à transmettre : **110101101001001**

- Contrôle d'intégrité
 - Contrôle de Redondance Cyclique ou Cyclic Redundancy Check (CRC)
 - Exemple avec une trame transmise contenant la suite binaire **110101101001001**
 - A la réception, le polynôme $E'(x)$ correspond à la totalité des bits reçus (**Information + CRC**)
 - Le récepteur divise la trame reçue par le même polynôme générateur $G(X)$
 - Division de **110101101001001** par **10011**
 - ❖ Si le reste est nul, la transmission s'est faite sans erreur (avec quasi certitude)
 - ❖ Si le reste est non nul, une erreur s'est produite durant la transmission

OU-EXCLUSIF (XOR)		
BIT 1	BIT 2	RESULTAT
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



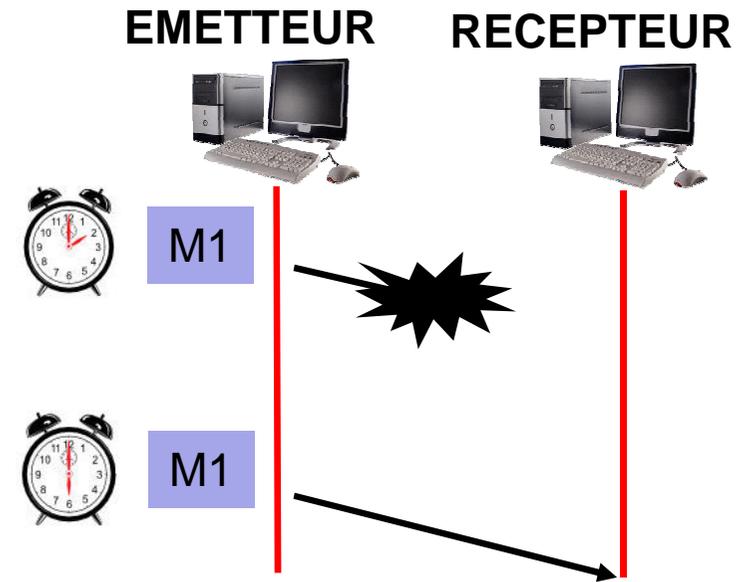
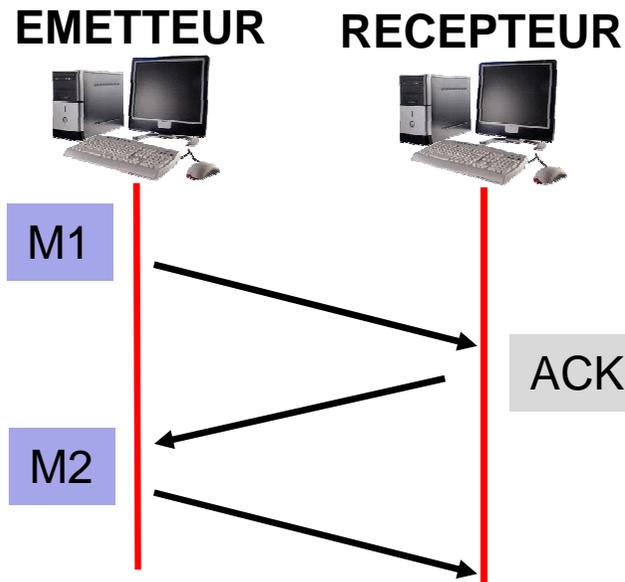
- Contrôle d'intégrité
 - Contrôle de Redondance Cyclique ou Cyclic Redundancy Check (CRC)
 - Choix du polynôme générateur
 - Un polynôme générateur est un polynôme irréductible ou le produit de polynômes irréductibles
 - Les polynômes irréductibles de plus bas degrés sont : $x+1$, x^2+x+1 , x^3+x+1 et x^3+x^2+1
 - ❖ Le polynôme normalisé CRC-16 $x^{16}+x^{15}+x^2+1$ est le produit $(x+1)(x^{15}+x+1)$
 - ❖ Le polynôme normalisé CRC-CCITT $x^{16}+x^{12}+x^5+1$ est le produit $(x+1)(x^{15}+x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^4+x^3+x^2+x+1)$
 - ❖ Le polynôme $x + 1$ assure la détection de toutes les erreurs simples et les erreurs d'ordre impair
 - En pratique des codes normalisés de degré 16 ou 32 sont utilisés :
 - ❖ Protection d'une taille maximale de données, par exemple 32ko pour un polynôme de degré 16
 - ❖ Détection des erreurs simples, doubles et d'ordre impair
 - Exemples de CRC normalisés :
 - ❖ CRC32 est le contrôle d'intégrité utilisé par les réseaux Ethernet et Wifi (norme IEEE 802)

CRC	POLYNOME GENERATEUR ASSOCIE
CRC-12	$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
CRC-16	$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
CRC-CCITT (X25)	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
CRC-32 (IEEE 802)	$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$
CELLULE ATM	$x^8 + x^2 + x + 1$
AAL d'ATM	$x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$

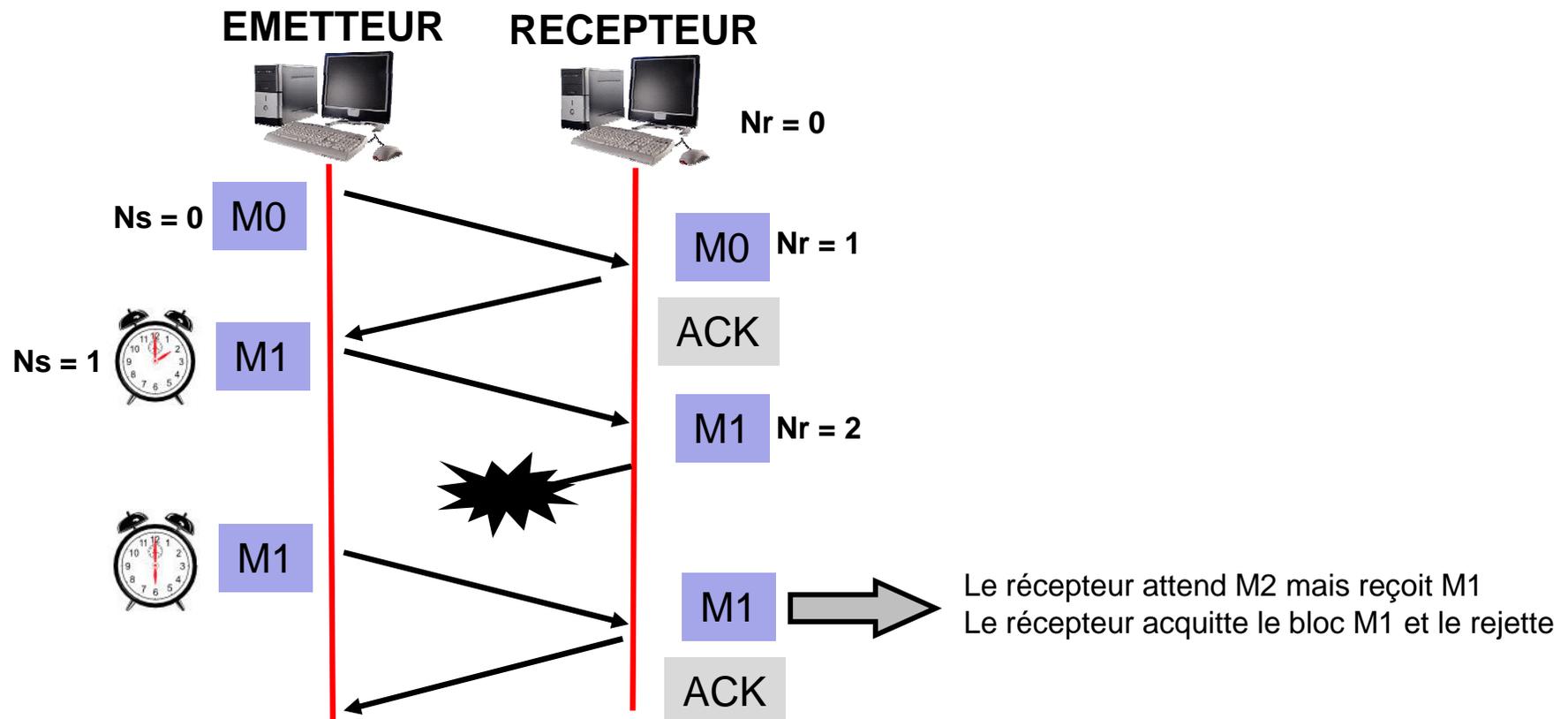
- Contrôle d'intégrité
 - Contrôle de Redondance Cyclique ou Cyclic Redundancy Check (CRC)
 - Taux de détection d'erreur
 - Tous les polynômes générateurs contiennent $x + 1$ comme facteur premier
 - Le polynôme CRC-12 est appliqué aux caractères codés sur 6 bits
 - Les polynômes CRC-16 et CRC-CCITT sont utilisés pour des caractères codés sur 8 bits
 - ❖ Génération des champs de contrôle d'erreur codés sur 16 bits
 - ❖ Détection de toutes les erreurs simples ou doubles
 - ❖ Détection de toutes les erreurs comportant un nombre impair de bits
 - ❖ Détection de tous les blocs d'erreurs de longueur inférieure ou égale à 16 bits
 - ❖ Détection avec une probabilité de 99,997 % les blocs d'erreurs de 17 bits
 - ❖ Détection avec une probabilité de 99,998 % les blocs d'erreurs de longueur supérieure ou égale à 18 bits
 - Résumé du taux de détection d'un CRC sur 16 bits :

TYPE D'ERREUR	TAUX DE DETECTION
Sur 1 bit	100%
Sur 2 bits	100%
Nombre impair de bits	100%
Suite de 16 bits ou moins	100%
Suite de 17 bits	99,997%
Suite de 18 bits ou plus	99,998%

- Contrôle de l'échange
 - Mode Send and Wait
 - L'émetteur envoie un bloc de données (SEND) au destinataire
 - L'émetteur s'arrête d'émettre (STOP) dans l'attente (WAIT) d'un accusé de réception (ACK)
 - L'émetteur arme un "Timer"
 - A l'échéance du temps imparti (TIME OUT) si aucun accusé de réception (ACK pour ACKnowledge) n'a été reçu, l'émetteur retransmet le bloc non acquitté (RTO pour Retransmission Time Out)



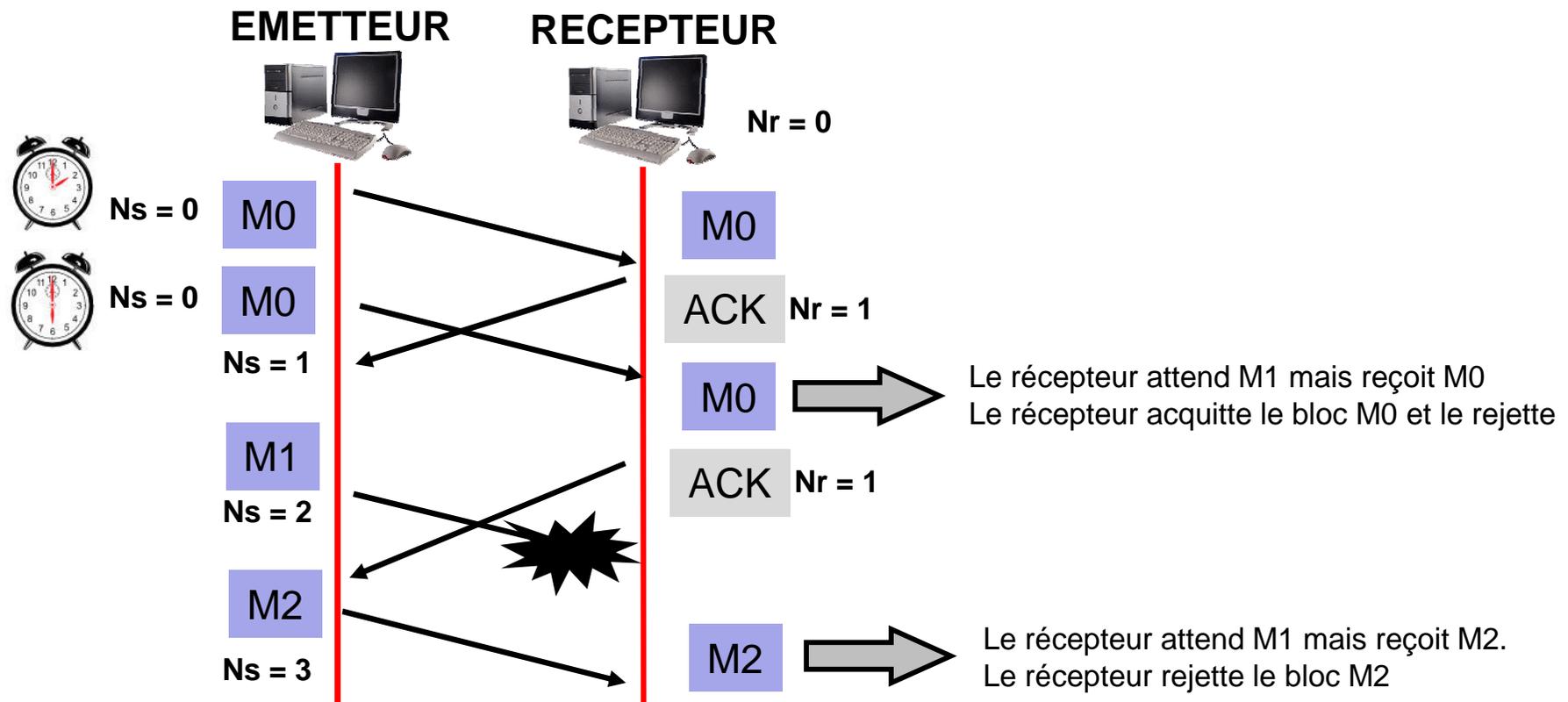
- Contrôle de l'échange
 - Numérotation des blocs de données
 - Nécessité d'identifier les blocs pour éviter la duplication des données
 - L'émetteur et le récepteur gèrent des compteurs "Ns" et "Nr" initialisés à 0
 - Le contenu du compteur Ns est transmis avec le bloc



• Contrôle de l'échange

– Numérotation des acquittements

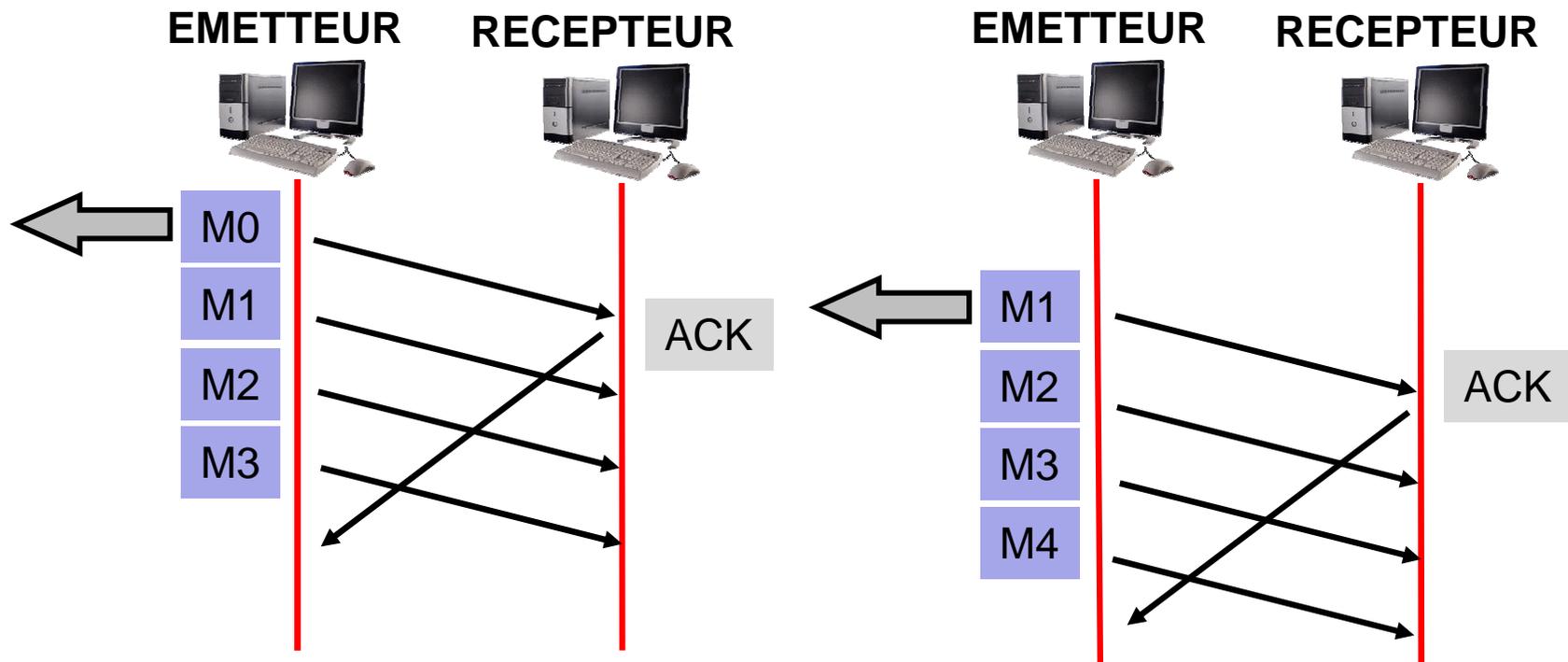
- Le temps de traitement des données reçues peut être plus important que prévu et/ou les délais de transmissions sont excessivement longs
- La numérotation des acquittements ACK permet d'éviter une confusion d'interprétation



- Contrôle de l'échange

- Protocole à anticipation

- Consiste à émettre des blocs de données sans attendre la réception des ACK (anticipation)
 - Lors de la réception de l'acquittement d'un bloc, l'émetteur libère un buffer et émet le suivant
 - Chaque bloc est acquitté individuellement

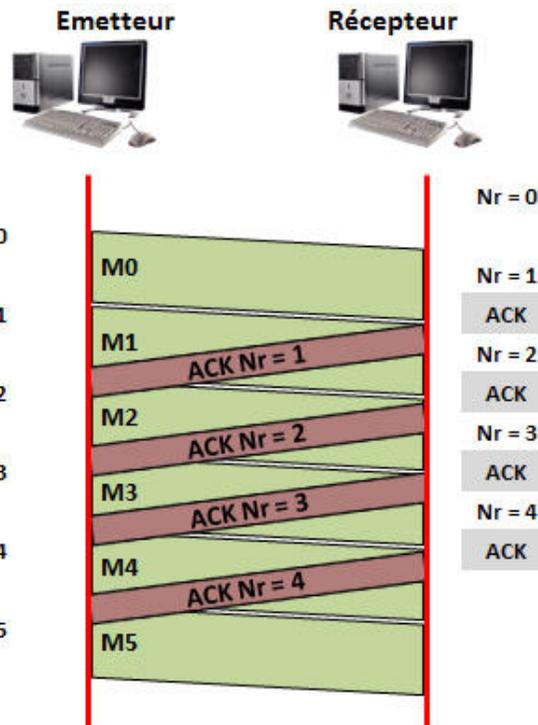
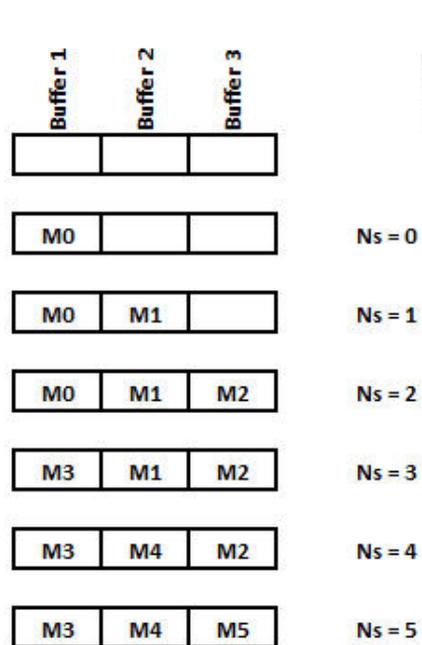


• Contrôle de l'échange

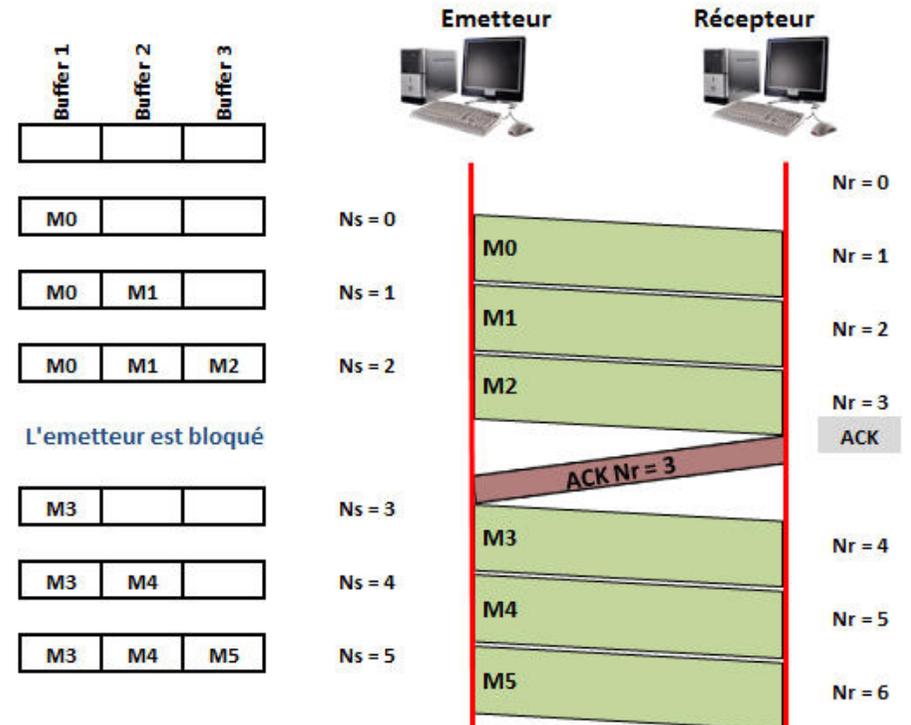
– Fenêtre d'anticipation

- La fenêtre d'anticipation "W" est le nombre de blocs que l'émetteur peut mémoriser en attente d'acquittement
- Exemple avec le cas d'une fenêtre de 3 pouvant stocker les messages M0, M1 et M2 :
 - A la réception de l'ACK0, l'émetteur libère M0 et émet M3 : fenêtre glissante
 - L'acquittement peut être différé et concerner plusieurs blocs
 - A la réception de l'ACK0, l'émetteur libère de M0 à M2 et émet M3, M4 et M5 : fenêtre sautante

GESTION GLISSANTE DE LA FENETRE



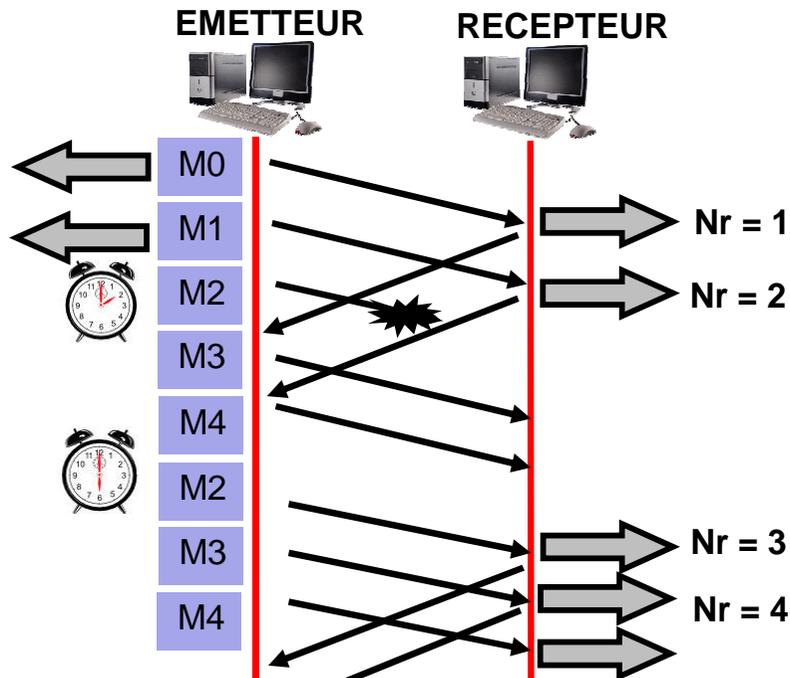
GESTION SAUTANTE DE LA FENETRE



- Contrôle de l'échange

- Protocole Go-Back-N

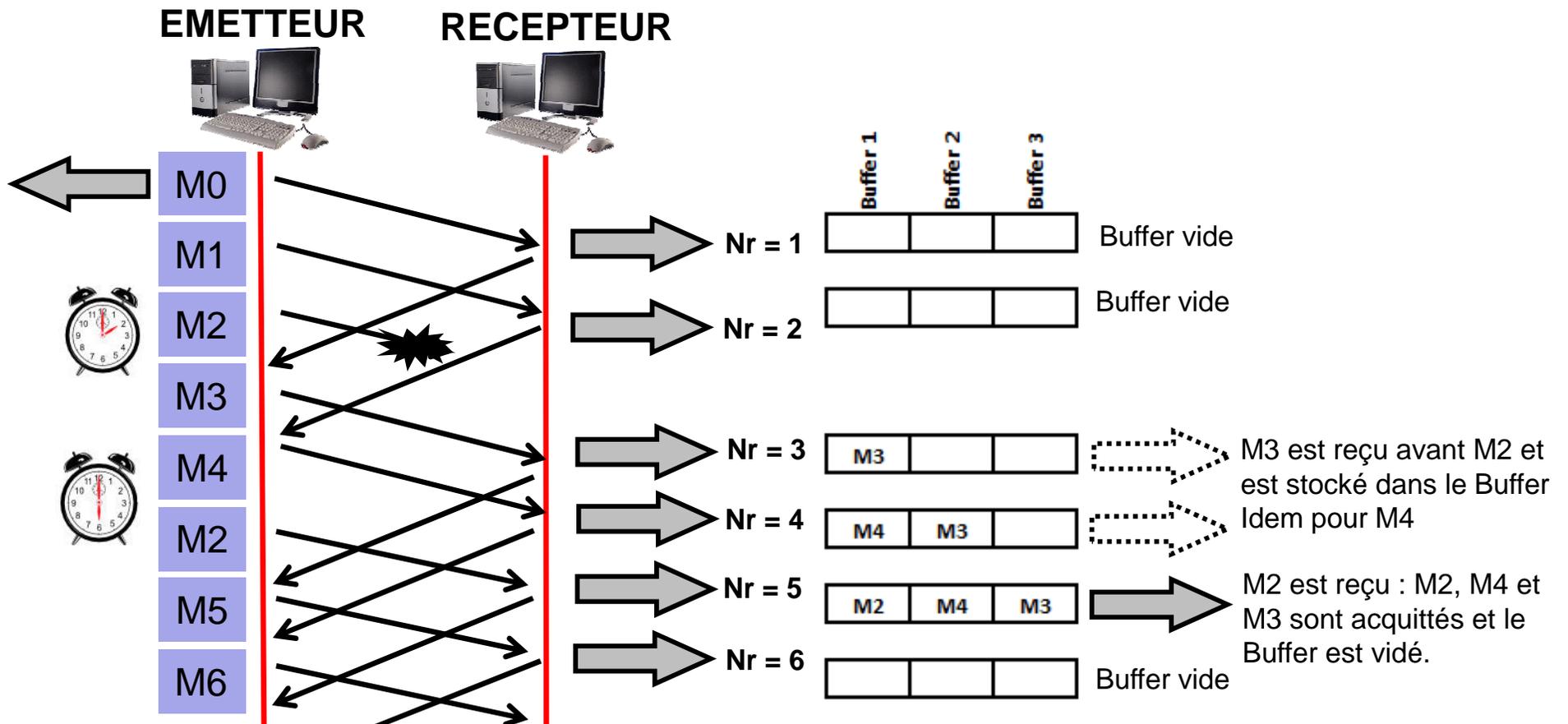
- En cas d'erreur de transmission le récepteur rejette tous les blocs reçus
 - L'émetteur retransmet l'ensemble de ces blocs "N" correspondant au nombre de blocs réémis
 - Utilise plus efficacement les ressources du canal de transmission que Send-And-Wait
 - L'émetteur n'a pas à attendre d'acquittement après chaque envoi de trame
 - Possibilité d'envoi de paquets pendant le temps qui aurait été perdu à attendre des acquittements
 - Entraîne des renvois inutiles de trames
 - Si une trame ou l'ACK associé est perdu, la trame concernée, ainsi que toutes les trames suivantes, même celles correctement reçues, sont renvoyées



• Contrôle de l'échange

– Mécanisme de rejet sélectif

- Le récepteur mémorise tous les blocs reçus et demande la retransmission de bloc erroné
 - Contrairement au protocole Go-Back-N, seul le bloc ou l'ACK correspondant perdu est renvoyé
 - Si un bloc est perdu, les suivants sont bufférisés en attendant la retransmission du bloc manquant

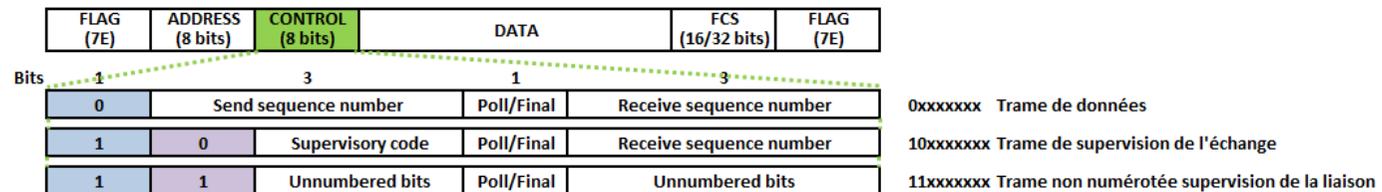


- Contrôle de l'échange
 - Contrôle de flux
 - Adaptation de la cadence d'émission de l'émetteur sur la capacité de réception du récepteur
 - Un équipement ayant un débit montant supérieur au débit descendant de la destination diminue son débit pour ne pas submerger la destination de requêtes
 - Cette adaptation entraine parfois des réémissions
 - Exemple avec un partage de fichiers via Internet
 - Un fichier envoyé via une connexion bas débit (RTC 56 kbit/s) ne pourra jamais être reçu sur une connexion haut débit (ADSL 6,4Mbit/s) plus vite que le débit maximum d'émission de la source
 - ❖ Le protocole de transport utilisé met en œuvre un contrôle de flux
 - Un fichier envoyé via une connexion haut débit vers une connexion bas débit verra son débit d'émission "bridé" au débit de réception de l'équipement de destination
 - ❖ Qui peut le plus peut le moins...

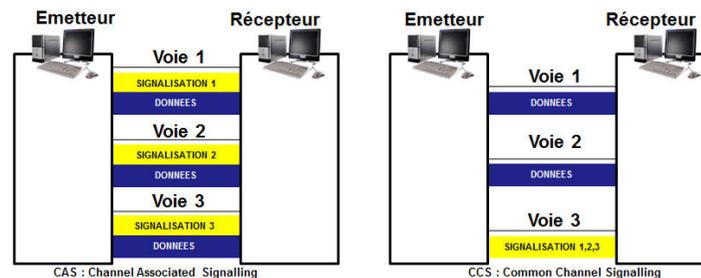
• Contrôle de l'échange

– Signalisation

- Consiste à superviser l'échange des données
 - Etablir la liaison, la contrôler durant les échanges et libérer les ressources en fin de communication
- Acheminement par signalisation dans la bande
 - Les informations empruntent le même canal que les données et utilisent la même structure de bloc
 - ❖ Elément dans l'en-tête protocolaire différenciant un champ de données d'un champ d'informations de signalisation
 - Exemple :
 - ❖ Dans le protocole High Level Data Link Control (HDLC), un bit dans l'en-tête du champ de commande (CONTROL) permet de reconnaître une trame de données d'une trame de signalisation



- Acheminement par signalisation sur canal dédié ou hors bande
 - Utilisation de deux voies séparées lors d'une communication
 - ❖ Une voie pour le transfert de données et voie une pour les informations de signalisation
 - Les deux voies peuvent être physiquement distinctes ou sur le même support physique (multiplexage)



- Point to Point Protocol (PPP)
 - Utilisé lors d'une connexion internet
 - Permet d'établir une liaison entre un internaute et son fournisseur d'accès (FAI)
 - Défini par la norme RFC1661 et fortement basé sur HDLC
 - Gère les détections d'erreur
 - Traite différents protocoles
 - Permet la négociation des adresses IP à la connexion
 -
 - Protocole incluant :
 - Une méthode délimitant sans ambiguïté la fin d'une trame et le début d'une autre (FLAG)
 - Un format de trame permettant la détection des erreurs (FCS)
 - Un contrôle de liaison activant une ligne, la testant, négociant les options et la désactivant lorsque l'on en a plus besoin (LCP Link Control Protocol)
 - Un moyen de négocier les options de la couche réseau indépendamment du protocole réseau à utiliser
 - Encapsulation : permet à un protocole de transférer des données par l'intermédiaire d'un champ
 - ❖ A chaque protocole est associé un numéro : exemple 0021 Internet Protocol version 4 (IPv4)

Flag	Address	Control	Protocol	Information	Padding	FCS	Flag
01111110	11111111	00000011	8/16 bits	*	*	16/32 bits	01111110

- *CM 1 : Généralités Réseaux*
- *CM 2 : Topologie et supports de transmission*
 - *TD 1 : Débit et technologie ADSL*
- *CM 3 : Codage des informations et contrôle d'intégrité*
 - **TD 2 : Codage des informations et contrôle d'intégrité CRC**
- *CM 4 : Modèle OSI / Ethernet*
- *CM 5 : Couches transport et réseau (TCP/IP)*
 - TD 3 : Analyse de trames Ethernet / Adresse IP et masque de sous-réseaux
 - TD 4 : Adressage IP / Routage IP
- *CM 6 : Réseaux WLAN et sécurité*
 - TD 5 : Réseaux Wifi et sécurité
- *CM 7 : Réseaux et bus de terrain*
 - TD 6 : Réseaux et bus de terrain
 - TP 1 : Technologie ADSL
 - TP 2 : Analyse de trames et Encapsulation Ethernet
 - TP 3 : Configuration d'un réseau IP / Routage IP / Wifi
 - TP 4 : Réseaux et bus de terrain
 - TP 5 : TP Test
- *CM 8 : Contrôle de connaissances*

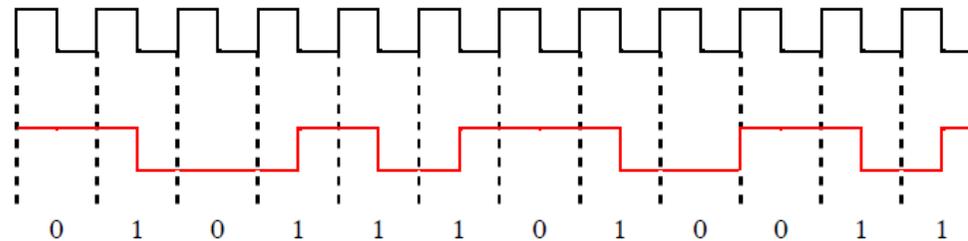
- Exercice 1 (15 minutes) :
 - Une trame constituée des bits suivant : 0111 1011 1110 1111 110 doit être transmise par un protocole de liaison à découpage et identifiée par le fanion suivant : 01111110
 - Quelle est la trame transmise après l'ajout du ou des bit(s) de transparence et du fanion ?
 - **Trame transmise**
01111110 011110111110011111010 01111110
FANION BITS DE TRANSPARENCE FANION

- Exercice 2 (45 minutes) :

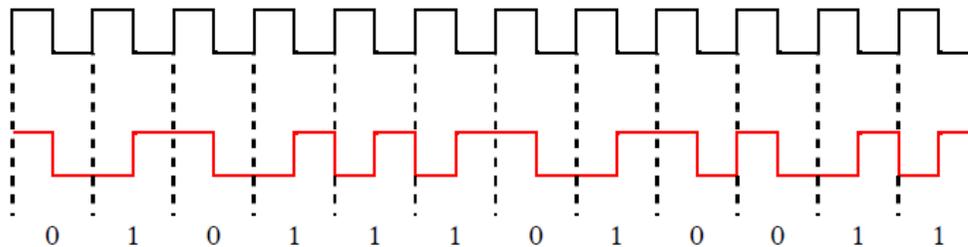
- Esquissez l'encodage de la séquence binaire : 01011 1010 011

- Réalisé avec un codage Miller (le bit précédent a entraîné un passage à +V au milieu de la période)
- Réalisé avec un codage Manchester
- Réalisé avec un codage NRZ

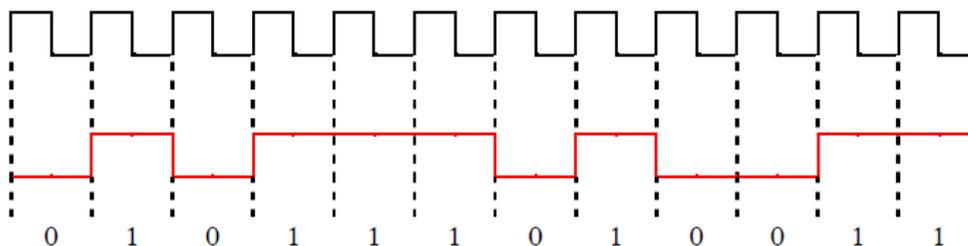
- Miller



- Manchester

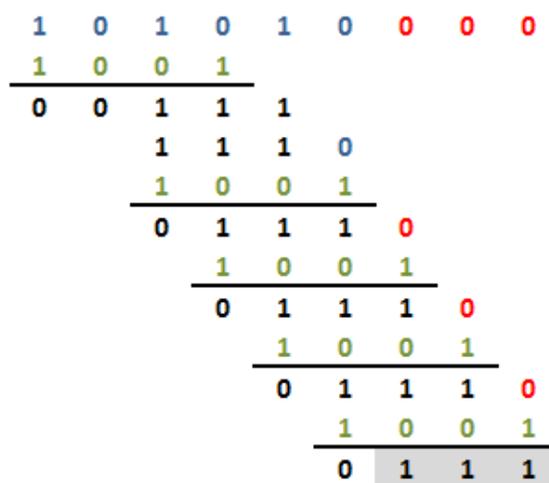


- NRZ



• Exercice 3 (35 minutes) :

- Considérez le polynôme générateur CRC $x^3 + 1$
 - A quelle séquence binaire correspond ce polynôme ?
- Considérez les bits de données 101010
 - Quelle est la trame à transmettre (bits de contrôle inclus) ? (détaillez le calcul)
 - Quelle est la trame à transmettre pour les bits de données 101101 ? (détaillez le calcul)
 - Séquence binaire X^3+1 soit $1 \cdot X^3 + 0 \cdot X^2 + 0 \cdot X^1 + 1 \cdot X^0$ correspondant en binaire à 1001

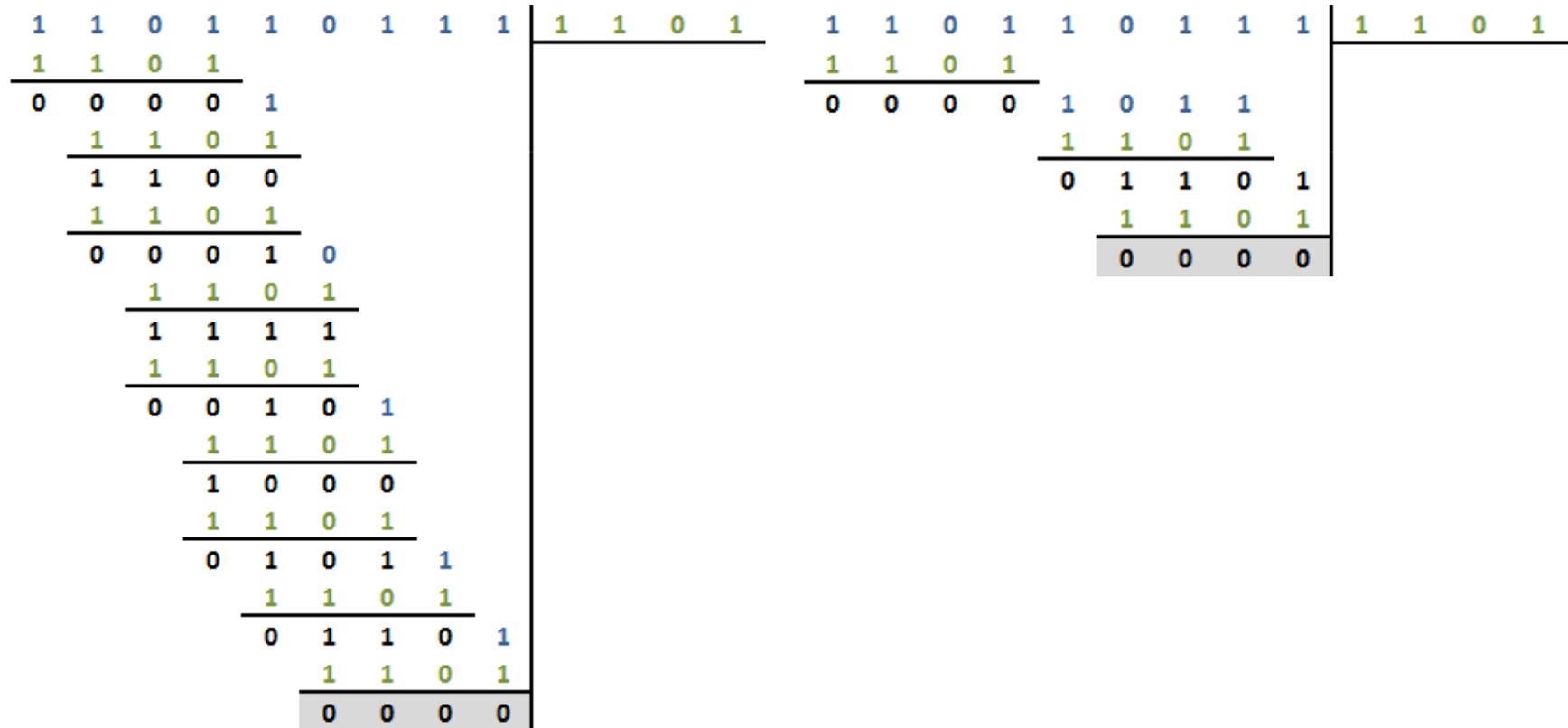


• Exercice 4 (20 minutes) :

– Considérez la trame transmise **110110111**

➤ Est-elle correcte si le polynôme générateur $x^3 + x^2 + 1$ est utilisé pour le contrôle d'intégrité CRC ? (détaillez le calcul)

▪ Réponse : Séquence binaire X^3+X^2+1 soit $1*X^3+1*X^2+0*X^1+1*X^0$ correspondant en binaire à 1101



▪ Le reste étant nul (0000), la trame transmise est correcte

- *CM 1 : Généralités Réseaux*
- *CM 2 : Topologie et supports de transmission*
 - *TD 1 : Débit et technologie ADSL*
- *CM 3 : Codage des informations et contrôle d'intégrité*
 - *TD 2 : Codage des informations et contrôle d'intégrité CRC*
- **CM 4 : Modèle OSI / Ethernet**
- **CM 5 : Couches transport et réseau (TCP/IP)**
 - TD 3 : Analyse de trames Ethernet / Adresse IP et masque de sous-réseaux
 - TD 4 : Adressage IP / Routage IP
- **CM 6 : Réseaux WLAN et sécurité**
 - TD 5 : Réseaux Wifi et sécurité
- **CM 7 : Réseaux et bus de terrain**
 - TD 6 : Réseaux et bus de terrain
 - TP 1 : Technologie ADSL
 - TP 2 : Analyse de trames et Encapsulation Ethernet
 - TP 3 : Configuration d'un réseau IP / Routage IP / Wifi
 - TP 4 : Réseaux et bus de terrain
 - TP 5 : TP Test
- **CM 8 : Contrôle de connaissances**