

Chapitre 5

Fiabilisation de la transmission

1. Introduction

Les phénomènes perturbateurs peuvent entraîner des erreurs de transmission en inversant les bits de l'information transmise. Une liaison est caractérisée par son taux d'erreurs T_e appelé aussi BER(Bit Error Rate).

$$T_e = \frac{\text{nombre bits erronés}}{\text{nombre bits total}}$$

Exemple:

Info. transmise : 1110001100111100

Info. reçue : 1110101100101100



$$T_e = 2/16 = 12,5\%$$

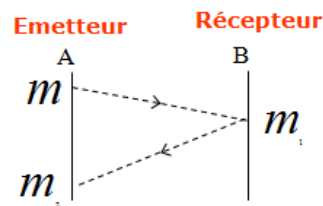
(Taux non pratique)

T_e varie pratiquement entre 10^{-4} et 10^{-9} , plusieurs mécanismes sont utilisés pour détecter et éventuellement corriger les erreurs de transmission.

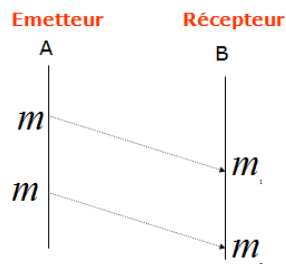
2. Mécanismes de détection et de correction d'erreurs

- ✓ **La détection par écho** : le récepteur renvoie le message reçu si le message est différent de celui émis alors il y a erreur et le message doit être retransmis.

Si $m = m_2$ alors
pas d'erreur
Sinon
Erreur
retransmission
Finsi



- ✓ **La détection par répétition** : chaque message émis est suivi par sa réplique si les deux messages sont différents le récepteur demande une retransmission



Si $m_1 = m_2$ alors
pas d'erreur
Sinon
Erreur
Demande de retransmission
Finsi

- ✓ **La détection d'erreurs par code** : consiste à ajouter à l'information initiale une information supplémentaire qui permet de détecter l'erreur. (Exemples : **parité**, **CRC**)
- ✓ **la détection et la correction d'erreurs par code** : utilisation des codes auto correcteurs (Exemple : **Hamming**)

3. Méthodes de détection/ Correction d'erreurs

3.1. détection d'erreurs par parité

Cette technique utilise une redondance de un bit par caractère, deux sortes de parité :

- Parité paire : rendre le nombre des 1 paire, exemple :

1	0	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	0	0

- Parité impaire : rendre le nombre des 1 impaire, exemple :

1	1	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1

Utilisation de la parité: Dans le cas de la transmission asynchrone, la parité utilisé est appelée VRC. Mais dans le cas des transmissions synchrones le VRC ne suffit pas, il est complété par le LRC.

VRC : Vertical Redundancy Check (vérification par redondance verticale)

LRC : Longitudinal Redundancy Check (vérification par redondance Longitudinale)

Forme	Caractère transmis	VRC	Caractère transmis	VRC	LRC	VRC
-------	--------------------	-----	--------------------	-----	-------	-----	-----

Exemple: Soit à transmettre le mot HELLO en mode synchrone (parité paire).

	H	E	L	L	O	LRC
Bit7	1	1	1	1	1	1
Bit6	0	0	0	0	0	0
Bit5	0	0	0	0	0	0
Bit4	1	0	1	1	1	0
Bit3	0	1	1	1	1	0
Bit2	0	0	0	0	1	1
Bit1	0	1	0	0	1	0
VRC	0	1	1	1	1	0

La suite à transmettre est :

10010000100010111001100110011001111110000100

3.2. La détection d'erreurs par CRC :

CRC : Cyclic Redundancy Check (vérification par redondance cyclique) Consiste à utiliser un polynôme commun entre *émetteur/récepteur* appelé **polynôme générateur** la forme de base utilisée est la forme polynomiale est pour faciliter les calculs on peut passer à une forme binaire. Information de base :

- $G(x)$: polynôme générateur de degré r . Exemple : $G(x) = x^2 + 1 \rightarrow G = 101$
- $M(x)$: message à transmettre
- $M'(x)$: message réellement transmis (après application du CRC)

Méthode appliquée à l'émission :

Multiplication :

$x^r * M(x) \rightarrow$ Ajout de r zéros à la fin de M

Calcul du reste :

$R(x) = \text{Reste}(x^r * M(x) / G(x)) \rightarrow$ Division modulo 2
- R sur r bits

Soustraction :

$M'(x) = x^r * M(x) - R(x) \rightarrow$ Ajout des r bits de R à la fin de M pour avoir M'

Méthode appliquée à la réception :

Division:

$$\boxed{M'(x)/G(x)} \rightarrow \boxed{M'/G} \text{ (Division modulo 2)}$$

Si reste = 0 alors

Transmission sans erreurs

Sinon

Erreurs de transmission

Fin si

Remarque:

La division modulo 2 est basée sur la soustraction modulo 2. Le principe de la soustraction modulo 2 est le suivant:

$$\begin{array}{r} 0011 \\ - 0101 \\ \hline 0110 \end{array}$$

Exemple1

Soit à transmettre la suite $F = 101100111010001$ la méthode utilisée est le CRC avec le polynôme générateur $G(x) = x^6 + x^4 + x + 1$.

Quelle est la suite réellement transmise?

Solution: (application de la méthode à l'émission)

$F = 101100111010001 \rightarrow$ information initiale

$G(x) = x^6 + x^4 + x + 1 \rightarrow G = 1010011$

Multiplication: 101100111010001000000

Division : pour avoir le reste R (sur $r=6$ bits)

$$\begin{array}{r} 101100111010001000000 \\ \underline{1010011} \\ 0001010110 \\ \underline{1010011} \\ 00001011000 \\ \underline{1010011} \\ 0001011100 \\ \underline{1010011} \\ 0001111000 \\ \underline{1010011} \\ 01010110 \\ \underline{1010011} \\ 0000101 \rightarrow R \end{array} \quad \begin{array}{l} 1010011 \\ \hline \end{array}$$

La suite réellement transmise est : $F' = FR = 101100111010001000101$

Exemple2

On suppose la réception de la suite binaire suivante: 1011001110010100 et que la méthode utilisé est CRC avec le même polynôme générateur précédant. Est-ce que la transmission de la suite est faite sans erreurs?

Solution: (Application de la méthode de réception)

$F' = 1011001110010100 \rightarrow$ information Reçue

$G(x) = x^6 + x^4 + x + 1 \rightarrow G = 1010011$

Division :

$$\begin{array}{r}
 1011001110010100 \\
 \underline{1010011} \\
 0001010110 \\
 \underline{1010011} \\
 00001010101 \\
 \underline{1010011} \\
 000011000
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{|c|}
 \hline
 1010011 \\
 \hline
 \end{array}$$

Reste(F'/G) \neq 0 alors Erreur de transmission

Remarques:

- En cas de transmission sans erreurs l'information initiale est obtenue au niveau du récepteur en enlevant les r bits situés à droite de la suite reçue
- Les bits ajoutés associés à R sont appelés bits de redondance et R représente une information redondante

Les polynômes générateurs les plus utilisés sont :

- CRC – 12 : $x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + 1$
- CRC – 16 : $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- CRC – CCITT : $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

3.3. Codes auto-correcteurs : Le code de Hamming

Distance de Hamming : La distance de Hamming entre deux séquences binaires de même taille est égale au nombre de bits de rang identique par lesquels elles diffèrent.

Exemple : $d(1100110, 1010110) = 2$

- Soit un code composé de N mots valides.
- La distance de Hamming de ce code est définie comme la distance minimale qui sépare deux mots valides du code.
- Exemple : le code : $C = [000000, 001110, 010101, 011011, 100011, 101101]$ a une distance de Hamming = 3
- Un code avec une distance d détecte $d-1$ erreurs et corrige k erreurs où $d=2K+1$

Structure d'un mode de code de Hamming

- les m bits du message à transmettre et les n bits de contrôle de parité.
- longueur totale : $2^n - 1$
- longueur du messages : $m = (2^n - 1) - n$
- ⇒ on parle de code $x - y$ où $x = n+m$ et $y = m$.

Exemple

- un mot de code 7-4 a un coefficient d'efficacité de $4/7 = 57\%$,
- un mot de code 15-11 a un coefficient d'efficacité de $11/15 = 73\%$,
- un mot de code 31-26 a un coefficient d'efficacité de $26/31 = 83\%$,
- Les bits de contrôle de parité C_i sont en position 2^i pour $i=0,1,2,\dots$ (puissance de 2)
- Les bits du message D_j occupent le reste du message.

D3	D2	D1	C2	D0	C1	C0
7	6	5	4	3	2	1

Retrouver l'erreur dans un mot de Hamming

- Si les bits de contrôle de réception $C'_2 C'_1 C'_0$ de somme 0 (parité paire); pas d'erreurs sinon la valeur des bits de contrôle indique la position de l'erreur entre 1 et 7.
 - Si C'_0 vaut 1, les valeurs possibles de $C'_2 C'_1 C'_0$ sont 001, 011, 101, 111, c'est-à-dire 1, 3, 5, 7.
 - Si C'_1 vaut 1, les valeurs possibles de $C'_2 C'_1 C'_0$ sont 010, 011, 110, 111, c'est-à-dire 2, 3, 6, 7.
 - Si C'_2 vaut 1, les valeurs possibles de $C'_2 C'_1 C'_0$ sont 100, 101, 110, 111, c'est-à-dire 4, 5, 6, 7.

⇒ Il s'agit là des positions possibles pour une erreur.

Émission pour un contrôle de parité pair

- C_0 est calculé par rapport aux bits d'indice 7, 5, 3 et sa valeur 1.
 - C_1 est calculé par rapport aux bits d'indice 7, 6, 3 et sa valeur 2.
 - C_2 est calculé par rapport aux bits d'indice 7, 6, 5 et sa valeur 4.
- On souhaite envoyer le message 1010, compléter le mot de Hamming correspondant :

1	0	1	—	0	—	—
7	6	5	4	3	2	1

1	0	1	—	0	—	—
7	6	5	4	3	2	1

- C_2 vaut 0 pour pouvoir rendre pair 1 | 0 | 1 (les bits d'indices 7, 6, 5)

1	0	1	0	0	—	—
7	6	5	4	3	2	1

- C_1 vaut 1 pour pouvoir rendre pair 1 + 0 + 0 (les bits d'indices 7, 6, 3)

1	0	1	0	0	1	—
7	6	5	4	3	2	1

- C_0 vaut 0 pour pouvoir rendre pair 1 + 1 + 0 (les bits d'indices 7, 5, 3)

1	0	1	0	0	1	0
7	6	5	4	3	2	1

4. Contrôle des erreurs de transmission

Il y a deux techniques de contrôle d'erreurs de transmission:

🖨 Méthodes de correction: Rarement utilisées ex: Hamming

☞ Méthodes de détection: Très largement utilisées ex: VRC, LRC, CRC. Mais elles sont complétées par des méthodes dites de retransmission (ARQ).

Méthodes de retransmission (ARQ)

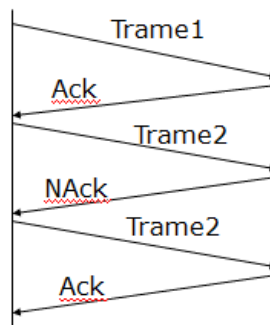
ARQ : Automatic Repeat ReQuest (Méthode de retransmission automatique).

Il y a deux classes de méthodes ARQ:

- Send & Wait ARQ
- Continuous ARQ

a. Send & Wait ARQ:(envoyer et attendre) Consiste à l'envoi d'une seule trame à la fois et attendre son acquittement : Soit positif (Ack) s'il n'y a pas d'erreurs ou négatif (Nack) sinon.

Ack: accusé de bonne réception Nack: accusé de mauvaise réception



Remarque: Send & Wait est appelée aussi Stop & Wait

b. Continuous ARQ: Consiste à la transmission de plusieurs trames avant d'attendre leurs acquittements (accusés de réception), Deux méthodes sont disponibles:

- Systématique: consiste à la retransmission de toutes les trames à partir de la dernière erronée.
- Sélective: consiste à la retransmission de la trame erronée seulement.

c. Méthode du rejet Systématique (Go Back N):

Transmission de N trames avant d'attendre leurs acquittements. A la réception d'un NACK ou à l'expiration du time d'une trame la transmission est reprise depuis la trame en question

But : Garder le séquençement des trames.

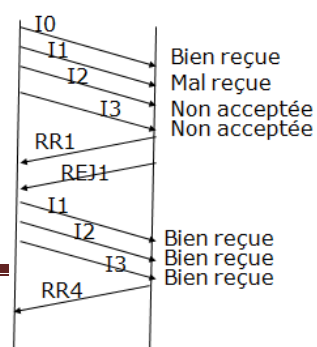
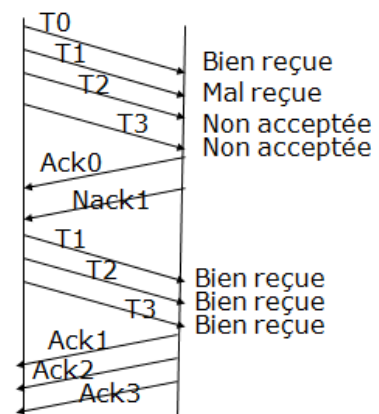
Inconvénient : élimination des trames bien reçues hors séquençement.

- Une amélioration du principe précédent consiste à utiliser la notion d'acquittement groupé (HDLC par exemple).

- Problème de dédoublement: pour éviter le problème de dédoublement de trame on utilise la méthode de numérotation de celles-ci. Si on a un adressage sur n bits le

nombre de trames transmises à la fois est : $N = 2^n - 1$

Exemple : : n= 3 \Rightarrow 7 trames transmis à la fois

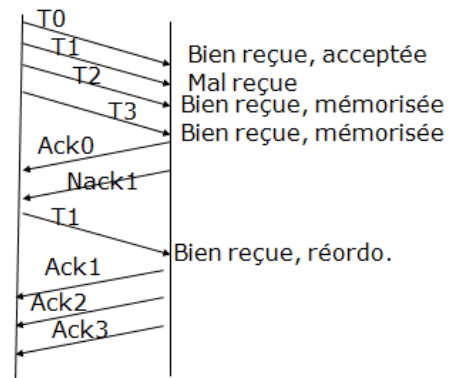


a. **Méthode du rejet Sélectif (Selective reject):**

Seules les trames erronées ou perdues sont retransmises individuellement.

Contrainte : Mémorisation de Toutes les trames reçues hors Séquencement et ré-ordonnancement après la Réception des trames Retransmises.

Donc: Nécessité d'avoir des Mémoires tampon (buffers)



Remarques :

- ✎ La transmission selon le principe Go Back N ou sélective rejet est appelée **anticipation**.
- ✎ Si le temps de propagation est négligeable la méthode adaptée est le rejet systématique (Go-Back-N)
- ✎ Si le temps de propagation est grand (liaison satellitaire par exemple) la méthode adaptée est le rejet sélectif (sélective rejet)

5. HDLC :

HDLC: High Data Level Control

C'est un protocole de haut niveau pour la gestion de la liaison de données. Il utilise 3 types de trames:

- Les trames d'information (I)
- Les trames de supervision (S)
- Les trames non numérotées (U)

Les trames d'information ; S'écrivent de la façon suivante:

I N(S), N(R), P/F

Avec

- N(S) : Numéro de la trame
- N(R) : Numéro de la trame attendue
- P : Commande
- F: Réponse

Exemple: I_{4,2,P}

Les trames de supervision ; S'écrivent de la façon suivante:

S N(R), P/F

Il existe quatre types de trame S:

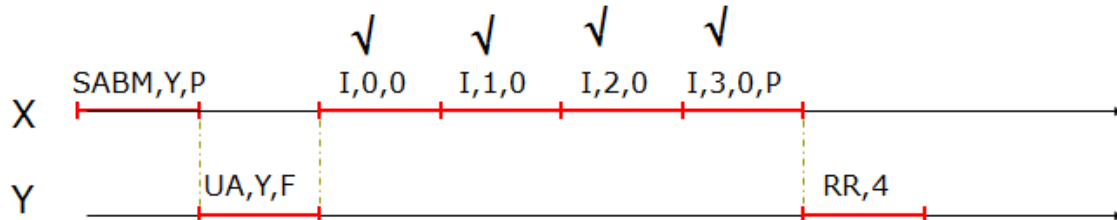
- RR : Received & Ready
- RNR : Received & Not Ready
- REJ : Reject (systématique)
- SREJ: Selective reject (sélective)

Les trames non numérotées :

- SABM : Etablissement de la connexion

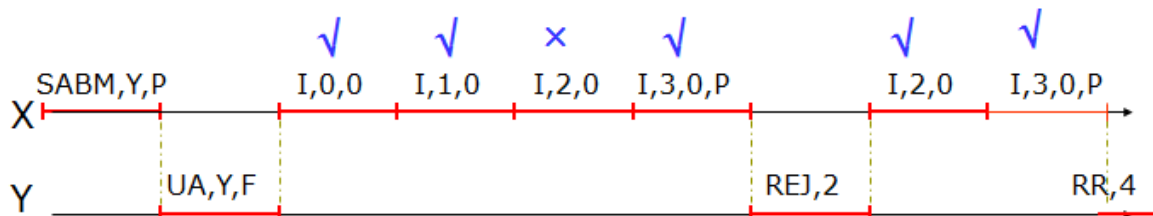
- SABME : Etablissement de la connexion
- DISC : Libération de la connexion
- UA : Confirmation de la connexion
- FRMR : Récupération des erreurs
- DM : Indication de connexion libérée

Exemple1:



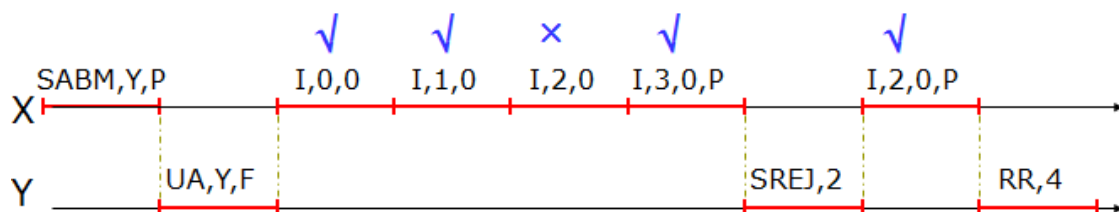
Résumé du scénario: Demande de connexion par X et acceptation de Y X envoie 4 trames Transmission sans erreurs et Y accuse la bonne réception.

Exemple2:



Résumé du scénario: Demande de connexion par X et acceptation de Y X envoie 4 trames La 3^e Trame (numéro 2) est erronée et Y la rejette (rejet systématique) X retransmis à partir de la trame erronée Retransmission sans erreurs et Y accuse la bonne réception

Exemple3:



Résumé du scénario: Demande de connexion par X et acceptation de Y X envoie 4 trames La 3^e Trame (numéro 2) est erronée et Y la rejette (rejet selectif) X retransmis uniquement la trame erronée Retransmission sans erreurs et Y accuse la bonne réception