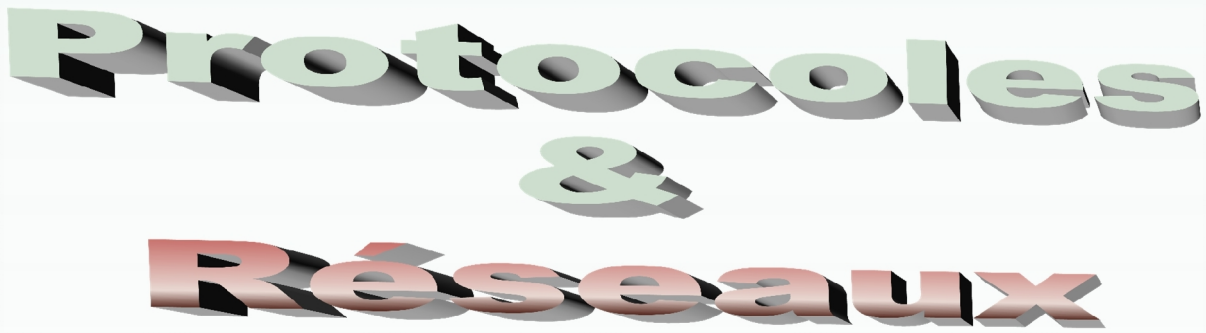


Chapitre 3 : Protection contre les erreurs

efrei esigetel

Chapitre 3 : Protection contre les erreurs

- Introduction
- Les codes de protection contre les erreur
- Codes simples
- Codes linéaires
- Codes polynomiaux

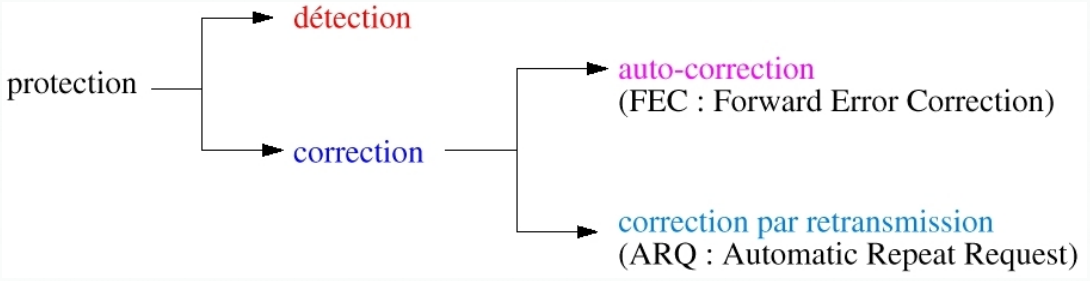
efrei esigetel

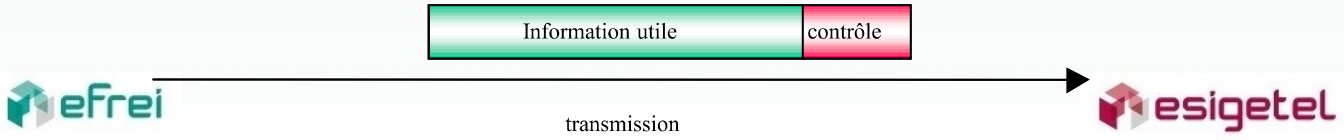
Chapitre 3 : Protection contre les erreurs

Indépendamment des supports de communication et des techniques de transmission utilisés, des perturbations vont se produire entraînant des erreurs.

Dans ces conditions, la suite binaire reçue ne sera pas identique à la suite émise

Stratégies de protection contre les erreurs de transmission :





Chapitre 3 : Protection contre les erreurs

Principe général pour la détection des erreurs de transmission

- Un émetteur veut transmettre un message à un récepteur.
- L'émetteur transforme le message initial à l'aide d'un procédé de calcul spécifique qui génère une certaine redondance des informations au sein du message codé.
- Le récepteur vérifie à l'aide du même procédé de calcul que le message reçu est bien le message envoyé grâce à ces redondances.

Principe général pour l'auto-correction des erreurs de transmission

- Après détection d'une erreur, la redondance dans le message transmis est suffisante pour permettre de retrouver le message initial.

• **Exemple : Technique de détection par répétition**

- Le message codé est un double exemplaire du message initial, le récepteur sait qu'il y a eu erreur si les exemplaires ne sont pas identiques.

⇒ **certaines erreurs**

❑ **sont indétectables !** (même erreur sur les 2 exemplaires simultanément)

- Le message codé est un triple exemplaire du message initial, le récepteur suppose que le message initial correspond aux deux exemplaires qui sont identiques.

❑ **détectées ne sont pas corrigibles !** (1erreur différente sur 2 exemplaires)

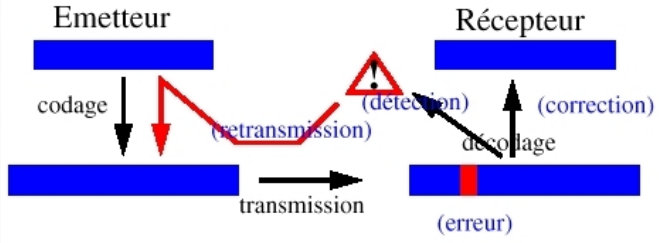
❑ **détectées et mal corrigées !** (1 même erreur sur deux exemplaires simultanément)

Chapitre 3 : Protection contre les erreurs

Principe général pour la correction par retransmission des erreurs de transmission

Après détection d'une erreur, le récepteur demande à l'émetteur, implicitement (temporisateur) ou explicitement (nack), de retransmettre une nouvelle fois le message (codé).

Exemple : Nombreux protocoles de télécommunication dont **HDLC, X25, TCP**.



La correction par retransmission est préférée dans les réseaux où le taux de perte est faible et le délai de retransmission tolérable, car son surcoût est généralement plus faible que celui induit par les codes auto-correcteurs.

Chapitre 3 : Protection contre les erreurs

Les codes de protection contre les erreurs

- **Par bloc**

d'un bloc dépend uniquement des informations de ce bloc.

- **Convolutionels (ou récurrents)**

Codage/décodage d'un bloc dépend des informations des blocs précédemment transmis.

Par la suite, on présentera les codes (par bloc) :

- **Simples**
- **Linéaires, de Hamming**
- **Polynomiaux**

Exemples simples de codes par bloc - contrôle de parité

Parité paire (impaire) :
le poids de Hamming des mots du code est paire (impaire).

Code systématique (k, k+1) dans lequel un bit (le bit de parité) est ajouté au mot initial pour assurer la parité. Son rendement est faible lorsque k est petit.

Transmission de caractères utilisant un code de représentation (le code ASCII sur 7 bits).

Lettre	Code ASCII	Mot codé (parité paire)	Mode codé (parité impaire)
E	1010001	1010001 1	1010001 0
V	0110101	0110101 0	0110101 1
A	1000001	1000001 0	1000001 1

⇒ **Détection de toutes les erreurs en nombre impair!**

efrei esigetel

Parité longitudinale et transversale (LRC : Longitudinal Redundancy Check)

Le bloc de données est disposé sous une forme matricielle (k=a.b). On applique la parité (uniquement paire) sur chaque ligne et chaque colonne. On obtient une matrice (a+1, b+1).

Utilisé sur supports magnétiques

VRC (parité paire)

1010001 **1**

0110101 **0**

1000001 **0**

LRC = 0100101 1

Rendement très faible : a.b/ (a+1).(b+1).

efrei esigetel

Capacité de détection et d'autocorrection

Principe : Une erreur simple modifie simultanément la parité d'une ligne et d'une colonne.

Correction : inverser le bit situé à l'intersection de la ligne et de la colonne ayant une parité incorrecte.

```
1010001 1
0110101 0
1000*01 0        *=1 résultat correct 0
0100101 1
```

Confusion si erreur simple ou triple ! la correction sera inadaptée !

```
10100011          correct     10100011
01101010                      01000010
10001010                      10101010
01001011                      01001011
```


Les codes polynomiaux

Tout vecteur peut être présenté sous une forme polynomiale.

Les opérations sont binaires (construits sur le corps Z/2Z) : 1.x + 1.x = 0.x !

Définition :

Un code polynomial est un code linéaire systématique dont chacun des mots du code est un multiple du polynôme générateur (noté g(x)).

les lignes de la matrice génératrice sont engendrées par le polynôme générateur.

Le degré du polynôme définit la longueur du champ de contrôle d'erreur.

Exemples de codes polynomiaux :

(i) L'avis **V41 du CCITT** conseille l'utilisation de codes polynomiaux de longueurs n = 260, 500, 980 ou 3860 bits avec **$G(x) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.**

(ii) Le polynôme **CRC-16** est utilisé par **HDLC : $G(x) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$.**

(iii) **Ethernet :**

$G(x) = X^{32+} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + 1$.

Capacité de détection

Capacité de détection des erreurs

- **Un code polynomial (k, n) dont le polynôme générateur a plus d'un coefficient non-nul (donc il ne divise pas Xi, i<n) permet de détecter toutes les erreurs simples.**
- Si le polynôme générateur d'un code polynomial (k, n) a un facteur irréductible de trois termes (il ne divise ni Xi ni 1 + Xj -i, i<j<n), le code permet de détecter les **erreurs doubles**.
- Pour qu'un code polynomial détecte toutes les erreurs d'ordre impair, il suffit que son polynôme générateur ait (x+1) comme facteur.

Ex : le code de polynôme générateur (x+1) est équivalent à la parité.

Capacité de détection des paquets d'erreurs

Un code polynomial (k, n) permet de détecter toutes les erreurs d'ordre L ≤ n-k (inférieur au degré du polynôme générateur).

La probabilité de ne pas détecter les erreurs d'ordre L > n-k est égale à : $2^{-(n-k)}$

Principe du codage

Le mot de code m(X) d'un code polynomial (k, n) de polynôme générateur g(X) associé au mot initial i(X) est défini par :

$m(X) = i(X).\ X^{n-k} + r(X)$

r(X) est le reste de la division de $i(X).\ X^{n-k}$ par le polynôme générateur g(X).

- **Les r = n-k bits de r(x) (de degré = n-k-1) forment les bits du champ de contrôle.**
- **Les bits de poids fort (de degré > n-k-1) forment le mot initial.**
- **L'opération de codage effectuée à l'émission est une division polynomiale.**

Principe du décodage

A la réception, chaque mot reçu m'(X) est divisé par le générateur g(X).

Un reste non-nul indique une erreur lors de la transmission.

Exemple CRC

$M(x) = 1101011011$

$G(x) = x^4 + x + 1 \rightarrow 10011$

$x^4 M(x) = 11010110110000$

Division

```
11010110110000 : 10011
10011
 10011
 10011
  000010110
      10011
       010100
         10011
         001110 → R(x) = 1110
```

$T(x) = 11010110111110$

Autre exemple Codage de Hamming