

**Capacité binaire, Délai de transmission, Taux d'erreurs binaires,
Contrôle d'erreurs**

Exercice 1. : Débit maximal d'un canal de transmission

Rappel :

La capacité maximale d'un canal de transmission numérique est la quantité d'information (en bits) pouvant être transmise par unité de temps (seconde). Il se mesure en bit/s et dépend des caractéristiques du support physique (bande passante, impédance) et/ou du signal (nombre de niveaux ou valence).

En 1924, un ingénieur suédois, Henry Nyquist, développa une formule pour exprimer la capacité maximale d'un canal **parfait** et de bande passante **finie** H . D'après Nyquist, le débit binaire maximal d'un canal non bruité de bande passante H , devant transmettre un signal composé de V niveaux discrets significatifs (appelé Valence du signal) est de :

(1) **Théo. de Nyquist** **débit binaire maximal (parfait) = $C = 2.H.\log_2 V$ (en bit/s)**

En 1948, un ingénieur anglais, Claude Shannon, reprenait les travaux de Nyquist pour les étendre à des canaux soumis à des erreurs (aussi appelé bruit). Le ratio signal-bruit représente la quantité de bruit mesurée. Il se calcule en faisant le quotient entre la puissance du signal (S) et la puissance du bruit (N) : S/N . Ce ratio signal-bruit n'est pas donné tel quel, mais est exprimé en décibels (dB) selon la formule (2) suivante :

(2) **Rapport signal-bruit = $10.\log_{10} (S/N)$ (en dB)**

pour rappel $\log_2 (X) = \log_{10} X / \log_{10} 2$

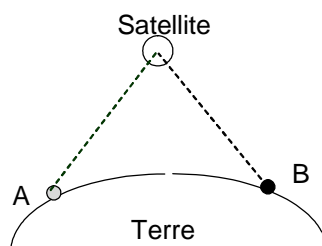
D'après Shannon, le débit binaire maximal d'un canal **bruité** de rapport signal-bruit S/N (en dB), de bande passante **finie** H (en Hz), et quel que soit le nombre de niveaux du signal à émettre, est :

(3) **Théo. de Shannon** **débit binaire maximal (bruité) = $C = H.\log_2(1 + S/N)$ (en bit/s)**

- a) Soit un canal sans bruit de bande passante 4 KHz. Quel sera le débit maximal C sur ce canal si l'on transmet un signal binaire à 2 états ?
- b) Les canaux de télévision ont une largeur de bande de 6 MHz. Combien de bits par secondes peuvent être transmis si on utilise des signaux numériques à 4 niveaux ? On supposera que le canal est sans bruit.
- c) Déterminer l'atténuation du signal (A) correspondant aux rapports signal-bruit suivants : 3 dB, 10 dB.
- d) Si un signal binaire à 2 états est envoyé sur un canal à 4 KHz, dont le rapport signal-bruit est de 3 dB, quel est le débit maximum sur ce canal bruité ? Comparer avec a).

Exercice 2. Délais de transmission

Pour transmettre des messages entre deux terminaux A et B, on utilise un satellite géostationnaire situé à 36 000 km de la terre. La vitesse de propagation est prise égale à 240 000 km/s. On supposera que les messages font 1 kbits chacun, et que le débit binaire de la liaison est de 50 Kbit/s.



- a) Calculer le délai de propagation (T_p) terre-satellite-terre d'un message. Dépend il de la taille du message?
- b) Calculer le délai d'émission (T_e) d'un message sur la liaison. Dépend il de la taille du message ?
- c) Calculer maintenant le délai de transmission (T) d'un message de A vers B.
- d) La liaison satellite étant soumise à des erreurs de communication, A décide d'envoyer un message vers B et d'attendre que B acquitte ce message pour transmettre le message suivant. On supposera que la longueur d'un message d'acquiescement est égale à 100 bits. Calculer le délai de transmission (T') pour la transmission d'un message et de son acquiescement. On supposera qu'il n'y a pas eu d'erreurs.
- e) Calculer le taux d'utilisation de la liaison (E), c'est-à-dire le rapport du débit utile sur le débit nominal de la liaison.

Exercice 3. : Taux d'erreurs binaires

Rappel :

Une liaison est caractérisée par son **taux d'erreurs binaires** (T_e) appelé BER pour Bit Error Rate en anglais. Ce taux d'erreurs est exprimé par le rapport entre le nombre d'informations (bits) erronées et le nombre d'informations (bits) transmises. Soit, $T_e = \text{Nb de bits erronés} / \text{Nb de bits transmis}$.

- a) Si « T_e » est la probabilité pour qu'un bit soit erroné, quelle est la probabilité de recevoir un bit correct ? la probabilité de recevoir N bits corrects ?
- b) Dans l'alphabet CCITT n°5, le mot « OSI », se code par les trois caractères de 7 bits suivants :
« O » : 1001111 ; « S » : 1010011 ; « I » : 100011.
On supposera que le récepteur reçoit la suite de bits suivante :
« 1001011 1010101 1000011 ». Quel est le taux d'erreurs « T_e » du canal ?

Exercice 4. : Détection des erreurs par bits de parité

Rappel :

Pour détecter des erreurs lors des transmissions, il est courant d'introduire des informations complémentaires au message à envoyer, appelées codes de parité verticale et longitudinale :

VRC : (Vertical Redundancy Check) : à chaque caractère, on ajoute un bit appelé « bit de redondance verticale » ou « bit de parité », tel que le nombre de bits, à 1, à transmettre, soit pair (parité PAIRE) ou impair (parité IMPAIRE).

LRC : (Longitudinal Redundancy Check) : à chaque bloc de caractères, on ajoute un champ de contrôle supplémentaire construit de la façon suivante : On ajoute à chaque colonne (bits de parité VRC inclus), un bit de parité calculé de la même façon que VRC.

- a) Dans l'alphabet CCITT n°5, le mot « OSI », se code par les trois caractères de 7 bits suivants :
« O » : 1001111 ; « S » : 1010011 ; « I » : 100011.
Donner le mot de code sur 8 bits associé à chaque caractère VRC, puis le LRC correspondant en utilisant une parité PAIRE.
- b) Même question que précédemment en utilisant une parité IMPAIRE.