L3 Informatique • Réseaux & Télécommunications

Travaux dirigés 2 – debits-delais-erreurs

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

Exercice 1

Débit maximal d'un canal de transmission

Caractéristiques des supports de transmission

Les supports de transmission, quels qu'ils soient, ne sont malheureusement pas parfaits. Ils ont une bande passante limitée, supportent divers bruits et ont de ce fait une capacité à transmettre les signaux limitée.

Bande passante

- **Ils ont une bande passante limitée** c'est-à-dire que certains signaux se propagent correctement dans le support (ils sont affaiblis mais encore reconnaissables à l'autre extrémité), mais d'autres ne le traversent pas du tout (ils sont tellement affaiblis ou déformés qu'on ne les retrouve plus du tout à la sortie).

- **La bande passante d'un support** est la bande de fréquences des signaux dont la puissance à la sortie, après la traversée du support, est supérieure à un seuil donné.

- **En général, on caractérise un support par sa bande à 3 dB (décibels)**, c'est-à-dire par la plage de fréquence à l'intérieur de laquelle la puissance de sortie d'un signal sinusoïdal est au pire divisée par deux
  - En notant P_s la puissance de sortie et P_e la puissance d'entrée, l'affaiblissement en dB s'exprime comme $10 \log_{10} P_e/P_s$.
  - Pour $\frac{P_e}{P_s} = 2$, on trouve $10 \log_{10} P_e/P_s = 3\ dB$.

- **Intuitivement, plus un support a une bande passante large et plus il pourra transporter d'informations par unité de temps.**

Bruits et distorsions

- **Les supports de transmission déforment les signaux qu'ils transportent** même lorsque ceux-ci ont des fréquences adaptées.

- **En effet, plusieurs sources de bruit perturbent les signaux** et des distorsions (d'amplitude ou de phase) peuvent s'avérer gênantes pour la reconnaissance des signaux en sortie.

- **Par ailleurs, la distance est un facteur d'affaiblissement**, particulièrement important pour les liaisons par satellite.

- **Enfin, certaines perturbations de l'environnement peuvent également introduire des bruits** (foudre, orages pour le milieu aérien, champs électromagnétiques dans des ateliers pour les supports métalliques…).

- **Même lorsque les signaux sont adaptés aux supports de transmission**, on ne pourra pas garantir à 100% leur exactitude à la réception.

Capacité limitée

- **L'ensemble des caractéristiques que nous venons de voir** fait que la capacité d'un support de transmission est limitée.
- **Par capacité, nous entendons** la quantité d'information transportée par unité de temps.

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).

☐ Théo. de Nyquist

En 1924, un ingénieur suédois, Henry Nyquist, développa

Une formule pour exprimer la capacité maximale d'un canal parfait et de bande passante finie W.

<u>D'après Nyquist,</u>

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 :

Théo. de Nyquist

débit binaire maximal (parfait) = C = $2.W.\log_2 V$ (en bit/s)

☐ Théo. de Shannon

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 rapport signal-sur-bruit (SNR) -**Un indicateur de la qualité de la transmission d'une information sur un canal bruité.**

C'est le rapport des puissances entre :

- ❐ **Le signal d'amplitude maximale (S),** déterminée par la valeur maximale admissible pour que les distorsions du signal restent à une valeur admissible (par exemple 1%).
- ❐ **Le bruit de fond (N),** information non significative correspondant en général au signal présent à la sortie du dispositif en l'absence d'une information à l'entrée.

S représente le niveau du Signal

N représente le niveau du bruit

Rapport signal-bruit = SNR = 10.log_{10} (S/N) (en dB)

S/N représente l'atténuation* du signal S en fonction du bruit N

Mesuré en décibels (dB)

*En électronique, l'atténuation ou affaiblissement est la diminution relative de la puissance d'un signal au cours de sa transmission

D'après Shannon,

Le débit binaire d'information maximale transmissible sur un canal bruité
de rapport signal-sur-bruit SNR (en dB)
et d'atténuation du signal (S/N),
de bande passante finie W (en Hz),
et quel que soit le nombre de niveaux (Valence) du signal à émettre, **est :**

W est la largeur de la bande passante exprimée en Hertz

Théo. de Shannon

S est le niveau du Signal

N est le niveau du bruit

débit binaire maximal (bruité) = C = W.log_2(1 + S/N) (en bit/s)

borne maximale, notée Cap_{Max}

exprimée en bits par seconde

S/N est la valeur du rapport puissance du signal à puissance du bruit, la base deux du logarithme servant pour exprimer l'information en bits.

rappels

$\log_2(X) = \log_{10} X / \log_{10} 2$ $\quad a^{\log_a(X)} = X$

- **A titre d'exemple**, sur une liaison téléphonique dont la bande passante a une largeur de 3100 Hz et avec un rapport S/B correspondant à 32 dB (valeurs courantes), on obtient :

$$10 \log_{10} S/B = 32 \quad \text{donc} \quad \log_{10} S/B = 3{,}2 \quad \text{soit} \quad S/B = 1585$$
$$Cap_{Max} = 3100 \log_2 (1 + 1585) \text{ soit avec } 1586 = 2^{10,63}$$
$$Cap_{Max} = 3100 \text{ x } 10{,}63 = 33000 \text{ bit/s.}$$

$$\log_b a = \frac{\log_{10}(a)}{\log_{10}(b)} \quad \Rightarrow \quad \log_2 X = \frac{\log_{10} X}{\log_{10} 2}$$

Soit un canal **sans bruit** de bande passante 4 KHz.

kHz Symbole du kilohertz, valant 10^3 hertz.

Quel sera le débit maximal C sur ce canal si l'on transmet un signal binaire à 2 états (Valence V=2) ?

Question a

H = 4000, V = 2

D'après le théo. de Nyquist :

$$\log_2 V = ?\,, \quad \log_2 2 = ?$$

Sachant que :

$$\boxed{\log_2 X = \frac{\log_{10} X}{\log_{10} 2}}$$

Alors,

$$\log_2 2 = \frac{\log_{10} 2}{\log_{10} 2} = 1$$

☐ **Théo. de Nyquist**

En 1924, un ingénieur suédois, Henry Nyquist, développa

Une formule pour exprimer la capacité maximale d'un canal parfait et de bande passante finie W.

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 :

Théo. de Nyquist

débit binaire maximal (parfait) = C = 2.W.log$_2$V (en bit/s)

rappels

$\log_2 (X) = \log_{10} X / \log_{10} 2 \qquad a^{\log_a (X)} = X$

$$\log_a(a) = 1$$

$$\rightarrow C = 2 \times W \times \log_2 V$$
$$= 2 \times 4000 \times \log_2 2$$
$$= 2 \times 4000 \times 1$$

The **kilobit** is a multiple of the unit bit for digital information or computer storage. The prefix *kilo-* (symbol k) is defined in the International System of Units (SI) as a multiplier of 10^3 (1 thousand),[1] and therefore,

1 kilobit = 10^3 bits = 1000 bits.

The kilobit has the unit symbol **kbit** or **kb**.

$$C = 2 \times 4000 = 8000\ bit/s = 8\ Kbit/s$$

exprimée en bits par seconde

Question 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.

MHz

1. *(Métrologie)* Symbole du mégahertz, unité de mesure de fréquence du Système international (SI), valant 10^6 hertz.

Notes [modifier le wikicode]

⚠ Ne pas confondre avec **mHz**, symbole du millihertz.

H = 6 000 000 , V=4

d'après le théo. de Nyquist :

$$C = 2 \times W \times \log_2 V$$

$$\log_c(a^r) = r \cdot \log_c(a)$$

$$= 2 \times 6\,000\,000 \times \log_2 4$$

$$\log_a(a) = 1$$

$$= 12\,000\,000 \times \log_2 2^2$$
$$= 12\,000\,000 \times 2 \times \log_2 2$$
$$= 12\,000\,000 \times 2 \times 1$$
$$= 12\,000\,000 \times 2 \times 1$$
$$= 24\,000\,000\ bit/s$$
$$= 24\ Mbit/s$$

1000	10^3	kbit	kilobit
1000^2	10^6	Mbit	**megabit**
1000^3	10^9	Gbit	gigabit
1000^4	10^{12}	Tbit	terabit
1000^5	10^{15}	Pbit	petabit
1000^6	10^{18}	Ebit	exabit
1000^7	10^{21}	Zbit	zettabit
1000^8	10^{24}	Ybit	yottabit

□ Théo. de Nyquist

En 1924, un ingénieur suédois, Henry Nyquist, développa

Une formule pour exprimer la capacité maximale d'un canal parfait et de bande passante finie W.

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 :

Théo. de Nyquist

débit binaire maximal (parfait) = C = 2.W.log$_2$V (en bit/s)

Symboles des unités de mesure de fréquence du Système international

10^{-24}	10^{-21}	10^{-18}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
yHz	zHz	aHz	fHz	pHz	nHz	µHz	mHz	cHz	dHz	Hz	daHz	hHz	kHz	MHz	GHz	THz	PHz	EHz	ZHz	YHz

← Unités inférieures — Unités supérieures →

Déterminer l'atténuation du signal (S/N)

Question c

correspondant aux rapports signal-bruit suivants SNR : **3 dB**, puis **10 dB**.

Le rapport signal-sur-bruit (SNR) - **Un indicateur de la qualité de la transmission d'une information sur un canal bruité.**

C'est le rapport des puissances entre :

- **Le signal d'amplitude maximale (S),** déterminée par la valeur maximale admissible pour que les distorsions du signal restent à une valeur admissible (par exemple 1%).
- **Le bruit de fond (N),** information non significative correspondant en général au signal présent à la sortie du dispositif en l'absence d'une information à l'entrée.

S représente le niveau du Signal

N représente le niveau du bruit

Rapport signal-bruit = SNR = 10.log₁₀ (S/N) (en dB)

S/N représente l'atténuation* du signal S en fonction du bruit N

Mesuré en décibels (dB)

*En électronique, l'atténuation ou affaiblissement est la diminution relative de la puissance d'un signal au cours de sa transmission

D'après la formule,

$$10\log_{10}(S/N) = x\ dB \iff \log_{10}(S/N) = x/10\ dB$$

$$\iff \log_{10}(S/N) = x\cdot\frac{1}{10}\ dB$$

$$\frac{1}{10} = 0.1$$

$$\iff \log_{10}(S/N) = 0.1x\ dB$$

$$\iff 10^{\log_{10}(S/N)} = 10^{0.1x}\ dB$$

$$\iff S/N = 10^{0.1x}\ dB$$

$$a^{Log_a(X)} = X$$

For any algebraic expressions S and T, and any positive real number $b \neq 1$,

$b^S = b^T$ if and only if $S = T$

$$10\log_{10}(S/N) = x\ dB \iff S/N = 10^{0.1x}\ dB$$

Application numérique

$$x = 3\ db \iff S/N = 10^{0.1\cdot 3} = 10^{0.3} = 1,995$$

$$x = 10\ db \iff S/N = 10^{0.1\cdot 10} = 10^{1} = 10$$

Question d

Si un signal binaire à 2 états (Valence V =2)

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 <u>bruité</u> ?
- ❐ Comparer avec a).

<u>Le débit binaire d'information maximale transmissible sur un canal bruité</u>

de rapport signal-sur-bruit SNR (en dB)

et d'atténuation du signal (S/N),

de bande passante finie W (en Hz),

et quel que soit le nombre de niveaux (Valence) du signal à émettre, **est** :

W est la largeur de la bande passante exprimée en Hertz

Théo. de Shannon

S est le niveau du Signal

N est le niveau du bruit

débit binaire maximal (bruité) = C = W.log₂(1 + S/N)   (en bit/s)

<u>**borne maximale**</u>, notée Cap_{Max}

<u>exprimée</u> en bits par seconde

S/N est la valeur du rapport puissance du signal à puissance du bruit, la base deux du logarithme servant pour exprimer l'information en bits.

D'après le théorème de Shannon :

Le débit maximal du canal est -> C = W.log2 (1 + S/N)

W est la largeur de la bande passante exprimée en Hertz

Symboles des unités de mesure de fréquence du Système international

10^{-24}	10^{-21}	10^{-18}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^{1}	10^{2}	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
yHz	zHz	aHz	fHz	pHz	nHz	µHz	mHz	cHz	dHz	Hz	daHz	hHz	kHz	MHz	GHz	THz	PHz	EHz	ZHz	YHz

← Unités inférieures Unités supérieures →

Si un signal binaire à 2 états (Valence V = 2) est envoyé sur un canal à 4 KHz, dont le rapport signal-bruit est de 3 dB,

Question d

- quel est le débit maximum sur ce canal bruité ?
- Comparer avec a).

Un canal à 4 KHz -> 4000 Hz : w = 4000 Hz

➔ Le débit maximal du canal est -> C = 4000.$\log_2$ (1 + S/N)

D'après la question c) ci-dessus, *Rapport signal-bruit = SNR = 10.$\log_{10}$ (S/N) (en dB)*

$$10\log_{10}(S/N) = x\ dB \iff S/N = 10^{0.1x}\ dB$$

$$x = 3\ db \iff S/N = 10^{0.1\cdot 3} = 10^{0.3} = 1,995$$

Donc,

$$C = 4000.\log_2(1 + 1,995) = 4000.\log_2(2,995) \approx 4000.\log_2(3)$$

rappels

$\log_2 (X) = \log_{10} X / \log_{10} 2$ $a^{Log_a(X)} = X$

$$\log_2 3 = \frac{\log_{10} 3}{\log_{10} 2} = 1,58$$

$$C = 4000. \log_2(3) = 4000 \times 1,58$$
$$= 6339,85\ bits/s$$

Shannon

Nyquist

En comparant avec a) ,

$$(a)\ C = 2 \times 4000 = 8000\ bit/s = 8\ Kbit/s$$

On constate que la capacité maximale du canal est 6339,85 bits/s correspond à la valeur la plus conservative des 2 théorèmes (Nyquist et Shannon).

Exercice 2

Délais de transmission

Constitution d'une liaison simple

Caractéristiques d'une transmission locale

L'introduction d'une distance entre les équipements informatiques a un tel impact sur les communications qu'une architecture complète de règles d'échanges a dû être définie et normalisée au plan international.

Supposons qu'un **ordinateur échange des données avec son périphérique**, déroulant ainsi une entrée/sortie.

L'échange met en jeu :

- **Un bus d'adresse** (permettant de véhiculer l'adresse du périphérique qui peut ainsi reconnaître qu'il est concerné par l'échange), ce bus ayant autant de " fils " qu'il y a de bits d'adresse.

- **Un bus de données** (permettant de véhiculer les données dans un sens ou dans l'autre, données qui sont souvent échangées en parallèle, sur un bus de 8 fils) ;

- **Des fils de contrôle**, véhiculant chacun un signal particulier, nécessaires au bon déroulement de l'entrée/sortie.

Les caractéristiques d'un tel échange sont :

- **La vitesse à laquelle on peut transférer des données entre l'ordinateur et son périphérique est très grande,** elle s'exprime typiquement en milliards d'octets par seconde.
- **La qualité de ce transfert est généralement excellente, il est très rare qu'un bit d'information soit erroné à la réception,** l'ordre de grandeur du taux d'erreur est de 10^{-12}, 10^{-13} … voire moins ;
- **Plusieurs sortes d'informations sont échangées, (données, adresses, contrôle) dans les deux sens, même si le transfert des données n'a lieu que dans un sens précis.** Ces informations sont identifiées par le fil ou le bus sur lequel elles circulent. Ces différentes informations sont émises en parallèle, chacune sur son support.

Caractéristiques d'une transmission à distance

Le problème de la transmission à distance est donc de reproduire le même échange en introduisant un moyen de transporter l'information sur des dizaines ou des milliers de kilomètres.

On utilise un support de transmission et un signal qui doit transporter, sous une forme ou sous une autre, les informations.

L'introduction du support a de nombreuses conséquences.

- **Le support est généralement une ressource chère que l'on cherchera à rentabiliser au maximum.**
  - **Un support de transmission unique** doit véhiculer en série toutes les informations précédentes (qu'il s'agisse d'adresses, de données ou de contrôle).
  - Il faudra donc imaginer un **moyen d'identifier ces informations** correctement.

- **Le support a une bande passante limitée, il ne peut pas transmettre n'importe quels signaux, ni n'importe quelle quantité d'information sur ces signaux.**
  - Tous supports confondus, **le débit d'une transmission à grande distance** peut varier de 50 bit/s à quelques centaines de Mbit/s.
  - Un échange à **grande distance se fait en général plus lentement** qu'un échange local et il faut en tenir compte dans les programmes des différentes machines informatiques.

- **Le support n'est pas parfait. Même si les signaux sont correctement adaptés à la bande passante, ils sont toujours affectés par des distorsions, des affaiblissements et surtout du bruit qui perturbent leur propagation et créent une qualité de réception nettement moindre.**
  - Il faudra donc imaginer **un moyen de détecter les erreurs de transmission et les corriger** si le taux d'erreur sur le support est insupportable pour l'application, c'est-à-dire pour les besoins de l'utilisateur.
  - **Une liaison téléphonique** peut être considérée de très bonne qualité pour transmettre de la parole et se révéler de médiocre qualité pour la transmission de données bancaires.

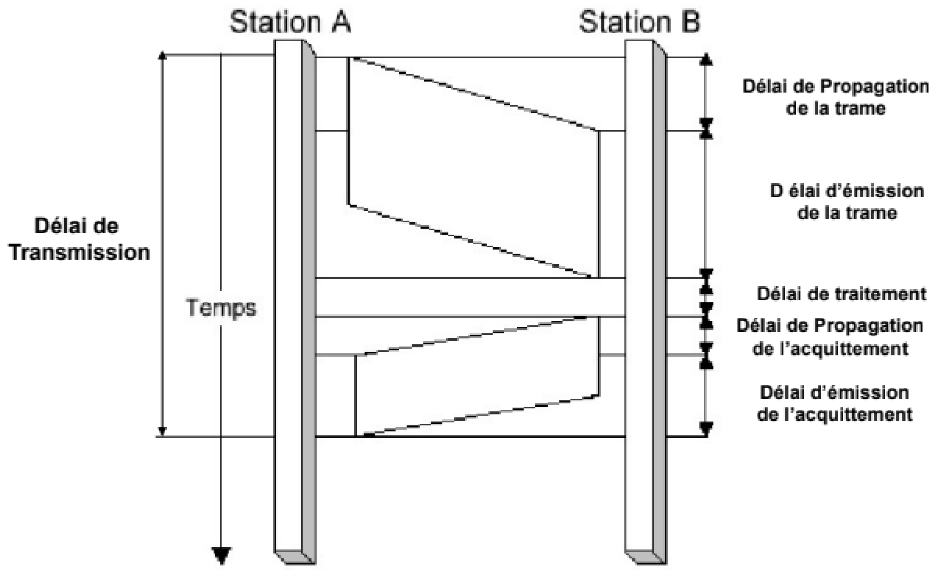
- **La transmission des signaux sur n'importe quel support suppose un certain délai de propagation, incompressible, qui peut atteindre des valeurs très grandes.**
    - Des centaines de millisecondes dans le cas de **transmissions par satellite**.
    - Il faudra tenir compte de ce paramètre dans le déroulement de la communication.

Nous venons donc de voir que de nombreux paramètres de la communication sont changés :

Le taux d'erreur est plus élevé,
le **débit plus faible**
et le **délai de propagation plus grand.**
Enfin, **toutes les informations sont transmises en série.**

→ **Le délai** - **La durée entre la décision d'émettre l'information et la réception par le destinataire.** La qualité de service n'est pas une notion absolue. Elle est généralement liée à la nature des informations transmises et du type de besoin.

DELAI DE TRANSMISSION



DELAIS

Soit :

- **C: Capacité/Débit de la ligne (bit/s)**
- **L: Longueur de la trame (bits)**
- **V : vitesse du support (m/s)**

d: distance de propagation (m)

L' : Longueur de l'acquittement (bits)

Te: délai d'émission de la trame	**= L / C**
Tp: délai de propagation de la trame	**= d / V**
T'e : délai d'émission de l'acquitement	**= L' / C**
T'p: délai de propagation de l'ACK	**= Tp = d / V**
Texec : délai de traitement de la trame/ACK	**= négligeable**
T: délai de transmission (total)	**= Te + 2Tp + T'e = ((L+L')/C) + 2d/V**
délai de blocage de l'émetteur	**= 2Tp + L'/C**

Efficacité d'un protocole **= Taux d'occupation du canal**
= délai d'émission des données/Délai de transmission
= Débit utile / Débit de la ligne

Léxo

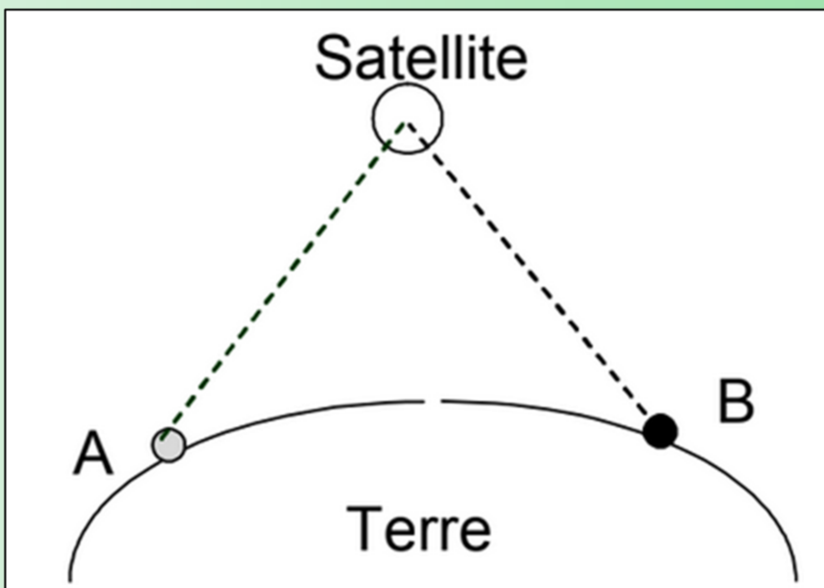
Pour transmettre des messages entre deux terminaux A et B, on utilise un satellite géostationnaire situé à $d = 36\,000\ km$ de la terre.

La vitesse de propagation est prise égale à $V = 240\,000\ km/s$.

On supposera que les messages font $L = 1\ kbits$ chacun,

et que le débit binaire de la liaison est de $C = 50\ Kbit/s$.

La longueur d'un message d'acquittement est égale à $100\ bits$



$d = 36\,000\ km$ $d = 36\,000\ km$

Question a

Calculer le *délai de propagation (Tp)* terre-satellite-terre d'un message.

Dépend il de la taille du message ?

Pour transmettre des messages entre deux terminaux A et B, on utilise un satellite géostationnaire situé à $d = 36\,000\ km$ de la terre.

La vitesse de propagation est prise égale à $V = 240\,000\ km/s$.

Rappel EXO

Tp

Délai/temps de propagation

Le temps mis pour que le signal se propage sur le matériel

$$Tp = \frac{d}{V}$$

$$= \frac{\text{distance à parcourir}}{\text{Vitesse de propagation du signal sur le support}}$$

A.N

(= Application numérique)

$$Tp = \frac{d}{V} = \frac{36\,000 \times 2}{240\,000}$$

$$= \frac{36\,\cancel{000}}{240\,\cancel{000}} \times 2 = \frac{36 \times 2}{240} = \frac{72}{240} = \frac{36}{120} = \frac{6}{20} = \frac{3}{10}$$

$$Tp = \underbrace{0.3\ s = 300\ ms}_{0.3\ \times\ 1000}$$

Le *délai de propagation (Tp)*

dépend de la taille du message ?

Non !

Tp ne dépend pas de la taille du message.

La milliseconde

est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

Question b

Calculer le *délai d'émission (Te) d'un message* sur la liaison.

Dépend-il de la taille du message ?

On supposera que les messages font $L = 1 \; kbits$ chacun,

et que le débit binaire de la liaison est de $C = 50 \; Kbit/s$.

Rappel EXO

Te

Délai (temps) de d'émission du message (sec)

délai d'émission de la trame

Émission = Mise en circulation (de monnaies, titres, effets, etc.). Fait d'émettre, de projeter au-dehors (un liquide physiologique, un gaz sous pression).

$$\mathbf{Te = \frac{L}{C}}$$

$$= \frac{\textbf{longueur du message/la trame (bit / s)}}{\textbf{Débit binaire de la liaison/Capacité / Débit de la ligne (bit / s)}}$$

Vitesse de d'émission (débit binaire)

Nombre de bits émis par seconde (bits/s)

?

1000	10^3	kbit	kilobit
1000^2	10^6	Mbit	**megabit**

La milliseconde est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

A.N

(= Application numérique)

$$\mathbf{Te = \frac{L}{C} = \frac{\cancel{1\,000}}{50 \cdot \cancel{10^3}}}$$

$$\mathbf{= \frac{1}{50} = \underbrace{0{,}02 \text{ s} = 20 \text{ ms}}_{0{,}02 \times 1000 = 20}}$$

Le *délai d'émission (Te) d'un message*

dépend de la taille du message ?

OUI ! *Te* dépend de la taille du message.

Question C

Calculer maintenant

le délai de transmission (T) d'un message **de A vers B.**

A.N

(= Application numérique)

$$Tp = \underbrace{0.3\ s}_{0.3\ \times\ 1000} = 300\ ms$$

$$Te = \frac{L}{C} = \frac{\cancel{1\,000}}{50 \cdot \cancel{10^3}} = \frac{1}{50} = \underbrace{0{,}02\ s}_{0{,}02 \times 1000 = 20} = 20\ ms$$

Donc,

$$T = Te + Tp = 20 + 300 = 320\ ms$$

T

Temps (délai) de transmission du message

Temps qui s'écoule entre le début de la transmission d'un message et la fin de la réception par le destinataire (sec)

T

= Temps de d'émission + Temps de propagation

$$= Te + Tp$$

La milliseconde est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

Délais

Définition 6 (délai) *Le délai total d'acheminement d'un message se compose de deux parties :*

- *le délai de transmission est le temps mis pour transmettre la quantité d'information du message, c'est-à-dire :*

$$délai_{transmission} = \frac{quantité\ information}{débit}$$

- *le délai de propagation est le temps mis pour que le signal se propage sur le matériel.*

$$délai_{propagation} = \frac{distance\ parcourue}{vitesse}$$

On a donc :

$$\text{délai}_{\text{total}} = \text{délai}_{\text{transmission}} + \text{délai}_{\text{propagation}}$$

Question 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'acquittement est égale à $100\ bits$.

Calculer

le délai de transmission (T')

pour la transmission d'un message et de son acquittement.

On supposera qu'il n'y a pas eu d'erreurs.

Acquittement

En informatique et en télécommunications, l'acquittement d'une donnée ou d'une information consiste à informer son émetteur de sa bonne réception.

- → On utilise souvent le terme *Ack* pour un acquittement
- → Ce terme correspond à l'équivalent anglais du terme : *acknowledgement*.

T' ou T_T

Temps de transmission totale

(message et Acquittement)

$$T_T = \overbrace{\textit{Temps d'émission du message}}^{Te} + \overbrace{\textit{Temps de propagation du message}}^{Tp}$$

$$+ \underbrace{\textit{Temps d'émission ACK}}_{\substack{\textit{délai d'émission de l'acquitement} \\ T'e}} + \underbrace{\textit{Temps de propagation ACK}}_{\substack{\textit{délai de propagation de l'ACK} \\ T'p}}$$

$$T'e = \frac{L'}{C} = \frac{Longueur\ de\ l'acquittement\ (bits)}{Capacité/Débit\ de\ la\ ligne\ (bit/s)}$$

$$T'p = Tp$$

Donc,

$$Tp = \underbrace{0.3\ s\ = 300\ ms}_{0.3\ \times\ 1000}$$

$$Te = \frac{L}{C} = \frac{\cancel{1\,000}}{50\ \cdot\ \cancel{10^3}}$$
$$= \frac{1}{50} = \underbrace{0{,}02\ s = 20\ ms}_{0{,}02 \times 1000 = 20}$$

$$T_T = Te + Tp + T'e + \overbrace{T'p}^{=Tp}$$

$$T_T = 20 + 300 + T'e + 300$$

La milliseconde

est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

$$T'e = \frac{L'}{C} = \frac{Longueur\ de\ l'acquittement\ (bits)}{Capacité/Débit\ de\ la\ ligne\ \boxed{(bit/s)}} = \frac{100}{50 \cdot 10^3} = \overbrace{\frac{100}{50 \cdot 1000}}^{\frac{1}{500}} = 0{,}002\ s = 2\ ms$$

1000	10^3	kbit	kilobit
1000^2	10^6	Mbit	**megabit**
1000^3	10^9	Gbit	gigabit
1000^4	10^{12}	Tbit	terabit
1000^5	10^{15}	Pbit	pet
1000^6	10^{18}	Ebit	exa
1000^7	10^{21}	Zbit	zettabit
1000^8	10^{24}	Ybit	yottabit

$$T_T = 20 + 300 + 2 + 300 = 622\ ms$$

Rappel question

posera que

la longueur d'un message d'acquittement est égale à $100\ bits$.

Rappel EXO

e le débit binaire de la liaison est de $C = 50\ \boxed{Kbit/s}$.

La longueur d'un message d'acquittement est égale à $100\ bits$

Question e

Calculer *le taux d'utilisation de la liaison (E),*

(également appelée *efficacité de la liaison*)

c'est-à-dire

le rapport du débit utile
sur le débit nominal de la liaison (équivalent à la capacité du canal de communication)

E

Le taux d'utilisation de la liaison (efficacité de la liaison)

$$E = \frac{D_U}{D} = \frac{\text{débit utile}}{\textit{Débit de la liaison}}$$

Débit de la liaison

$$D_U = \frac{L}{T_T} = \frac{\text{longueur du message émis}}{\textit{temps de transmission totale}}$$

Donc

$$E = \frac{D_U}{D} = \frac{\left(\frac{L}{T_T}\right)}{D} = \frac{L}{D \cdot T_T}$$

Efficacité d'un protocole	= Taux d'occupation du canal = délai d'émission des données/Délai de transmission = Débit utile / Débit de la ligne

A.N

(= Application numérique)

$$E = \frac{L}{D \cdot T_T}$$

L : Longueur de la trame (bits)

longueur du message émis

Temps de transmission totale

(message et Acquittement)

Débit (nominal)de la liaison

équivalent à la capacité du canal de communication

Rappel EXO

On supposera que les messages font $L = 1 \ kbits$ chacun.

Rappel (d)

$$T_T = 20 + 300 + 2 + 300 = 622 \ ms$$

Rappel EXO

et que le débit binaire de la liaison est de $C = 50 \ Kbit/s$.

1000	10^3	kbit	kilobit
1000^2	10^6	Mbit	**megabit**
100			
100			
100			
100			
100			
100			

La milliseconde est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

$$E = \frac{L}{D \cdot T_T} = \frac{1000}{(50 \cdot 10^3)(622 \cdot 10^{-3})}$$

$$= \frac{1000}{50 \cdot 622 \cdot 10^{3-3}} = \frac{1000}{50 \cdot 622} = 0{,}032$$

$$\Leftrightarrow \underbrace{3,2 \ \%}_{0{,}032 \times 100}$$

Autre méthode

$$E = \frac{Te}{T_T} = \frac{\text{Temps d'émission du message}}{\text{Temps de transmission totale}}$$

A.N

$$E = \frac{Te}{T_T} = \frac{20}{622} = 0{,}032 \iff 3{,}2\%$$

Pas au sujet de 2019-2020

Question f

Proposer une solution pour améliorer ***le taux d'utilisation (efficacité E)*** **de la liaison.**

f) Le débit réel du reseau = Dr = Cxe
A.N. Dr = 50 000 x 0,032 = 1600 bit/s
Pour amélirorer l'efficacité de ce réseau, on utilise un n° de sequence et on transmets en rafale, plusieurs messages à la suite, jusqu'à la réception du 1ere acquittement.
Cependant, la taille du champ de contrôle « n° de sequence » limite le nombre maximal de trames transmis avant la reception du premier acquittement.
Le nombre de message envoyés en rafale est appelé une fenêtre d'anticipation.

Pas au sujet de 2019-2020

Question g

On propose d'utiliser une fenêtre d'anticipation de taille N.

Quel sera alors l'efficacité (ou taux d'utilisation (E')) de la liaison ?

g) E' = NxE = > A.N : si n= 4 = nombre de trames transmis, alors 4x0,032 = 0,18 => 18%

Exercice 3

Taux d'erreurs binaires

Caractéristique d'une transmission

La qualité du circuit de données

La qualité du circuit de données est mesurée selon différents critères techniques :

- **Le taux d'erreurs** est le rapport entre le nombre de bits erronés, sur le nombre total de bits transmis.
- **La disponibilité** permet d'évaluer la proportion de temps pendant lequel la transmission est possible (absence de panne ou de coupure).
  - → On peut s'intéresser également au nombre d'incidents et à leur durée cumulée, afin de déterminer la durée moyenne et le coût d'une panne.
- **Le débit binaire** D représente le nombre de bits transmis par seconde.
- **La rapidité de modulation** R, exprimée en $bauds$[3], indique le nombre de symboles transmis par unité de temps.
  - → Si Δ représente la durée (en secondes) de l'intervalle de temps séparant deux valeurs significatives du signal, alors $R = 1/\Delta\ bauds$.
- **Le délai de propagation** définit le temps matériellement nécessaire au signal pour traverser le support.
  - → *Par exemple,* il faut environ un quart de seconde à un signal se propageant à la vitesse de la lumière pour parcourir une distance de 72 000 km (cas des satellites géostationnaires).

__Une liaison__ est caractérisée par son

$taux\ d'erreurs\ binaires\ (Te)$ 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,__ $$Te = \frac{Nb\ de\ bits\ erronés}{Nb\ de\ bits\ transmis}$$

Question a

Si « Te » 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__ ?

__la probabilité de recevoir un bit correct__

$$1 - probabilité\ de\ recevoir\ un\ bit\ erroné = 1 - Te$$

Pour qu'une trame de longueur **N** soit reçue sans erreur, il faut que tous ses bits soient reçus sans erreur.

__la probabilité de recevoir N bits corrects__

$$\underbrace{(1 - Te).(1 - Te).\ldots.(1 - Te)}_{N\ fois} = (1 - Te)^N$$

La probabilité de recevoir une trame __erronée__ est de $1 - (1 - Te)^N$.

Question 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 » : 1000011**

On supposera que le récepteur reçoit la suite de bits suivante :

« 1001011 1010101 1000011 »

Quel est le taux d'erreurs « *Te* » du canal ?

On distingue deux grands types de codes :

Les codes alphanumériques de longueur constante	Les codes de longueur variable
Les plus classiques Toutes les informations sont identifiées par une séquence binaire de taille fixe. (par exemple un octet)	Utilisé surtout lorsqu'on optimise la taille globale de la séquence binaire correspondant à un ensemble d'information.
ASCII **EBCDIC** (dévloppé par IBM) **CCITT n° 5**	**Les globale codes de Huffman** Permettent de coder sur une séquence binaire courte les caractères les plus fréquents (par exemple un e en français) et sur des séquences longues les caractères plus rares (par exemple un z) **Le morse** Un exemple ancien de code à longueur variable

Télex, Unicode, UCS, ISO 10646 .....

Le code CCITT n°5

Dérivé du code ASCII, le code CCITT n°5 est appelé aussi IA5 *(International Alphabet 5)*. Les caractères sont codés sur 7 bits.

	Alphabet CCITT n°5	Le récepteur reçoit
O	1001111	1001011
S	1010011	1010101
I	1000011	1000011

On constate qu'il y a **3** bits erronés

par rapport à la séquence binaire valide.

<u>Par conséquent,</u>

Tx (Taux) d'erreurs binaires du canal

$$\boldsymbol{Te = \frac{Nb\ de\ bits\ erronés}{Nb\ de\ bits\ transmis} = \frac{3}{3 \cdot 7} = \frac{3}{21} = \frac{1}{7} = 0,142}$$

soit 14,2% d'erreurs binaires ($\mathbf{0,142 \times 100 = 14,2\ \%}$).

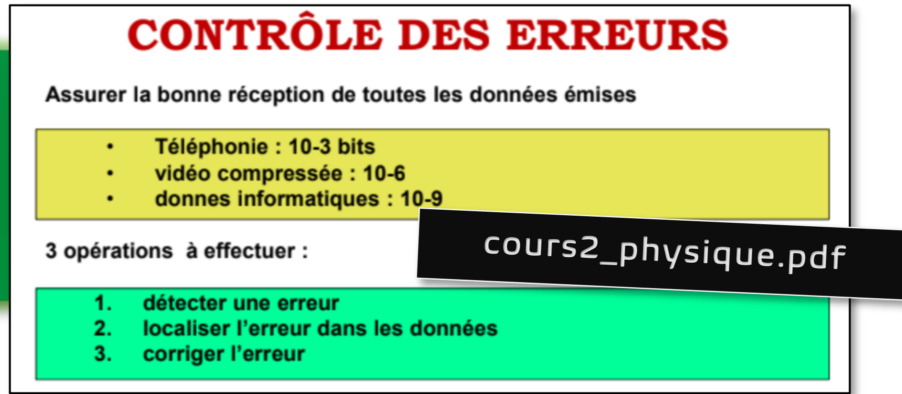
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	NUL	DLE		0	@	P		p
1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

La valeur de la ligne donne le chiffre des unités en hexadécimal.
La valeur de la colonne donne le chiffre des « dizaines » en hexadécimal.
Exemple : le caractère K est codé par 4B.

Figure A1.1. *Code CCITT n° 5 (ASCII)*

Exercice 4

Détection des erreurs par bits de parité



Contrôle de la validité de l'information transmise

Le contrôle d'erreurs vérifier la validité des données transmises.

Si on admet que le service de transmission n'est pas fiable,
il faut se protéger contre d'éventuelles erreurs,
donc les détecter puis les corriger.

- Pour cela, **on ajoute à l'information transmise une redondance**, c'est-à-dire **des informations de contrôle calculées par un algorithme** spécifié dans le protocole à partir du bloc de données.

- **À la réception, on exécute le même algorithme pour vérifier** si la redondance est cohérente.
  - **Si c'est le cas**, on considère qu'il n'y a **pas d'erreur de transmission** et l'information reçue est traitée.
  - **Sinon**, on est certain **que l'information est invalide** et elle est ignorée.

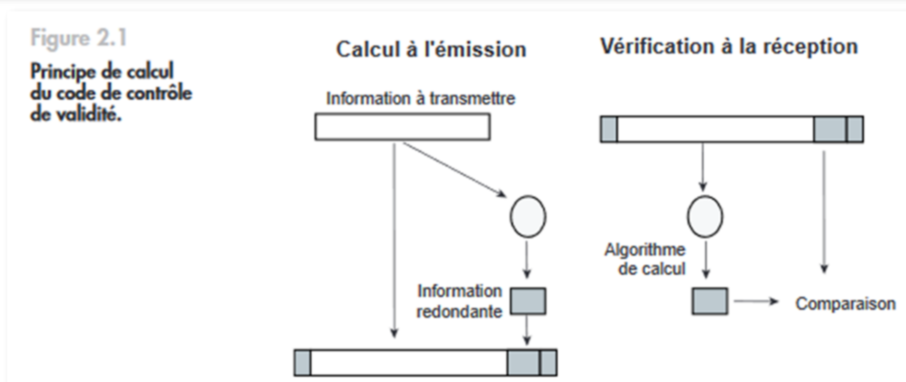


Figure 2.1 Principe de calcul du code de contrôle de validité.

La figure 2.1 illustre le principe de contrôle de validité de l'information transmise

Plusieurs techniques sont envisageable pour calculer le champ de redondance. Les méthodes les plus fréquents sont le contrôle polynomial et

Les codes de parité verticale et longitudinale

Bits de parité

cours2_physique.pdf

- On choisit une convention : <u>parité paire</u> ou <u>impaire</u>
- A chaque bloc de <u>K</u> bits on ajoute un bit
  → <u>tel que</u> le nombre de <u>1</u> dans le bloc <u>k+1</u> bits respecte la convention de parité.

Exemple

Soit le message 01011110

- On choisit <u>k = 4</u> et une <u>parité paire</u>.
- Les deux blocs de 4 bits à coder sont donc
  $\underbrace{0101}\ \underbrace{1110}$
- Les deux blocs de 5 bits à transmettre sont donc
  $\underbrace{0101\mathbf{0}}\ \underbrace{1110\mathbf{1}}$
- Le message transmis est alors
  $0101\mathbf{0}1110\mathbf{1}$

On ajoute un bit, tel que le nombre de <u>1</u> dans le bloc <u>k+1</u> bits respecte la convention de parité <u>(parité paire)</u>.

L'inconvénient général lié aux contrôles par parité est qu'on ne détecte pas les erreurs doubles.

- Le codage de parité permet de **détecter un nombre impair d'erreurs**
- Le codage de parité **ne permet pas de corriger les erreurs** détectées

Contrôle de parité verticale et longitudinale

VRC Vertical Redundancy Check	LRC Longitudinal Redundancy Check

On associe parité vertical et parité longitudinale (VRC + LRC).

Ce type de protection est possible lorsque l'émission des données se fait par caractère (on introduit une redondance à chaque caractère transmis).

❒ VRC

On ajoute à chaque caractère <u>un bit de parité</u>
dit <u>parité verticale</u> ou <u>VRC (Vertical Redundancy Check)</u>

Calculé comme suit :

Pour chaque caractère, on ajoute un bit appelé
« bit de redondance verticale » ou « bit de parité »,

tel que le nombre de bits, à <u>1</u>, à transmettre, soit pair (parité PAIRE) ou impaire (parité IMPAIRE).

Si On choisit une <u>parité paire</u>

- ❒ Si le nombre de bits 1 est pair, on ajoute 0 à la fin du caractère,
- ❒ Si le nombre de bits 1 est impair, on ajoute 1.

<u>Le contrôle de validité par VRC est fréquemment utilisé</u>
avec le code CCITT no 5 sur les liaisons asynchrones.

Par exemple,

Pour le caractère M codé par 1001101,

❒ Si on choisit une <u>parité paire</u>, le bit de parité vaut 0.

- ❒ On transmet dans cet ordre 1011001**0**
  (Les 7 bits de données en commençant par les poids faibles puis le bit de parité).

❒ LRC

Pour améliorer la détection des erreurs dans les transmissions utilisant les contrôles par parité,

On associe souvent parité longitudinale et parité verticale (VRC + LRC).

A la fin du message, on insère **un mot de code** appelé **parité longitudinale** ou **LRC - Longitudinal Redundancy Check**

(A 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.

Question 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 » : 1000011

Donner le mot de code sur 8 bits associé à chaque caractère VRC,

puis le LRC correspondant en utilisant une parité PAIRE.

Le code CCITT n°5

Dérivé du code ASCII, le code CCITT n°5 est appelé aussi IA5 *(International Alphabet 5).* Les caractères sont codés sur 7 bits.

LRC en parité PAIRE

								VRC
O =	1	0	0	1	1	1	1	1
S =	1	0	1	0	0	1	1	0
I =	1	0	0	0	0	1	1	1
LRC =	1	0	1	1	1	1	1	0

Question b

Même question que précédemment en utilisant

une parité IMPAIRE.

LRC en parité IMPAIRE

								VRC
O =	1	0	0	1	1	1	1	0
S =	1	0	1	0	0	1	1	1
I =	1	0	0	0	0	1	1	0
LRC =	0	1	0	0	0	0	0	0

Ajouter à la fin de chaque bloc un caractère supplémentaire dit LRC qui se combine au contrôle VRC

En fait le caractère **VRC est un contrôle de parité verticale**

tandis que

le **LRC est un contrôle de parité horizontale** (longitudinale)