

Circuit de données - Plan

1. Support de transmission
2. Codage du signal
3. Circuit de données
4. Numérisation
5. Quelques relations utiles



Circuit de données - Plan

- 1. Support de transmission**
 - ✓ notion de bande passante
 - ✓ les différents types de support (en annexe)
2. Codage du signal
3. Circuit de données
4. Numérisation
5. Quelques relations utiles



Problématique



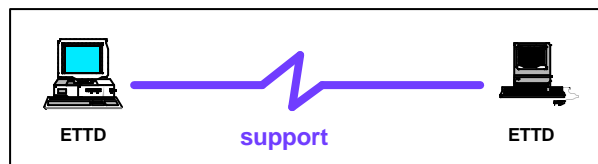
ETDD : Equipement Terminal de Traitement de Données



Prométhée Spathis

- 3 -

Un support de transmission



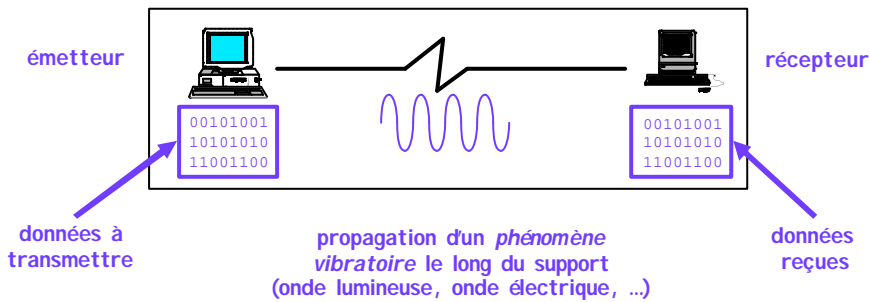
- Les différents types
 - les supports électriques
 - les supports optiques
 - les supports aériens
- Les critères de comparaison
 - bande passante
 - atténuation
 - sensibilités diverses
 - coût
 - encombrement
 - poids, etc.



Prométhée Spathis

- 4 -

Signal versus support



1. **sérialisation du flux de données**
2. **transformation du flux binaire en un signal "transmissible"**
3. **transmission**
4. **désérialisation du signal de données**



Caractérisation du signal de données

Représentation d'une onde électromagnétique :

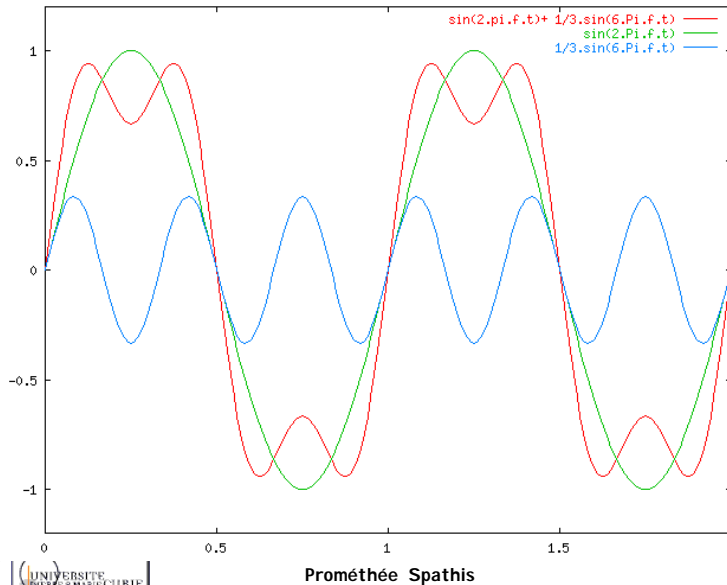
$$x(t) = A \sin(2\pi ft + j)$$

où :

- A est l'**amplitude** : valeur crête ou puissance du signal
- f est la **fréquence** : la vitesse à laquelle le signal se répète
 $T = 1/f$ est la période du signal
- f est la **phase** : mesure de la position relative dans le temps à l'intérieur d'une période du signal



Un exemple d'onde électromagnétique



Décomposition des fonctions périodiques

Toute fonction périodique $x(t)$ de période f se décompose en une somme (éventuellement infinie) de fonctions sinus et cosinus (J-B Fourier, XI^e siècle)

$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(2\pi nft)$$

où f est la **fréquence fondamentale**, a_n et b_n sont les amplitudes cosinus et sinus de la n ème harmonique et c_0 est la composante continue du signal.

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad c_0 = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt$$



Pourquoi décomposer ?

Pour obtenir le *spectre fréquentiel* du signal, pardi !
Mais kesako ?

Le spectre fréquentiel est un *spectre de raies* qui :

- définit la répartition de la puissance du signal en fonction de la fréquence
- est déterminé par décomposition en une série de Fourier pour un signal périodique

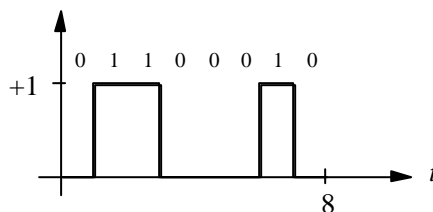


Prométhée Spathis

- 9 -

Vite, un exemple !

Transmission de l'octet : 01100010. Le signal correspondant



Prométhée Spathis

- 10 -

Décomposition de $g(t)$

La fonction $g(t)$ est donnée par :

$g(t) = 0$ pour $0 = t < 1$ et $3 = t < 6$ et $7 = t = 8$
et $g(t) = 1$ pour $1 = t < 3$ et $6 = t < 7$.

$$c_0 = \frac{3}{8}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi n} \left(\sin\left(\frac{3\pi n}{4}\right) - \sin\left(\frac{\pi n}{4}\right) + \sin\left(\frac{7\pi n}{4}\right) - \sin\left(\frac{6\pi n}{4}\right) \right)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n} \left(-\cos\left(\frac{3\pi n}{4}\right) + \cos\left(\frac{\pi n}{4}\right) - \cos\left(\frac{7\pi n}{4}\right) + \cos\left(\frac{6\pi n}{4}\right) \right)$$



Les spectres fréquentiels

Trois types de spectres fréquentiels :

- ✓ **Spectre d'amplitude** la hauteur de chaque raie est égale à :

$$\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

ces valeurs étant de tout intérêt, puisque leurs carrés sont proportionnels à l'énergie transmise à la fréquence correspondante.

- ✓ **Spectre de puissance** chaque raie a une hauteur égale à :

$$a_n^2 + b_n^2$$

- ✓ **Spectre de phase** chaque raie possède une hauteur égale à

$$\arctan \left(\frac{b_n}{a_n} \right)$$



Suite de l'exemple

Spectre d'amplitude

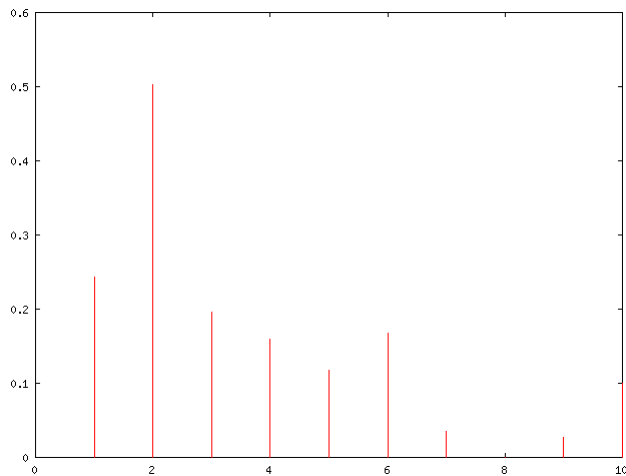
n	b_n	a_n	c_0
1	0.093231	0.225079	0.243624
2	-0.477465	-0.159155	0.503292
3	-0.181130	-0.075026	0.196053
4	0.000000	0.159155	0.159155
5	0.108678	-0.045016	0.117632
6	0.159155	-0.053052	0.167764
7	-0.013319	0.032154	0.034803
8	-0.000000	0.000000	0.000000
9	0.010359	0.025009	0.027069
10	-0.095493	-0.031831	0.100658



Prométhée Spathis

- 13 -

Le spectre d'amplitude de $g(t)$



Prométhée Spathis

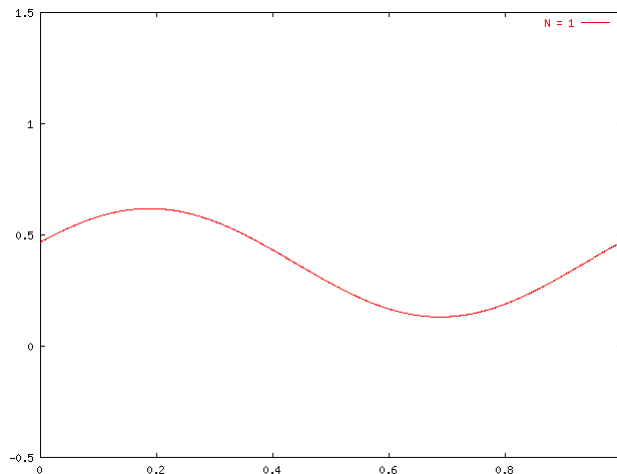
- 14 -

Et alors ?

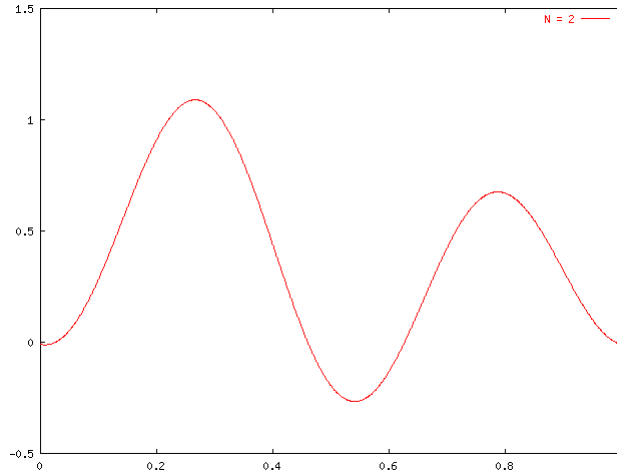
- ✓ Aucun support ne peut véhiculer de signaux sans **perte de puissance**.
- ✓ Si tous les composants de Fourier étaient diminués de la même façon, le signal résultant serait **réduit en amplitude** mais **non déformé**.
- ✓ Malheureusement, les supports diminuent les composants de Fourier de **façon inégale**, ce qui introduit une **distorsion** du signal.
- ✓ En général, les amplitudes sont transmises sans déformation **notable** de la fréquence 0 à une fréquence donnée f_c (**fréquence de coupure**), au-delà de laquelle elles sont **fortement diminuées**.
- ✓ Disposant des valeurs des a_n et b_n , on peut retrouver l'expression de $g(t)$ pour chacun des 4 cas et tracer la courbe correspondante.



1 harmonique (fréquence fondamentale)



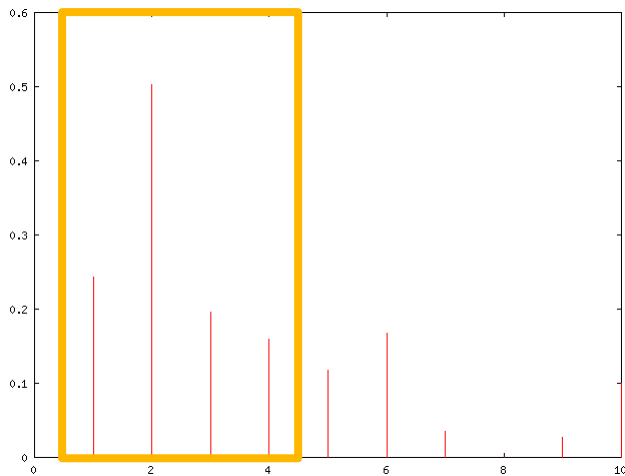
2 harmoniques (n=2)



Prométhée Spathis

- 17 -

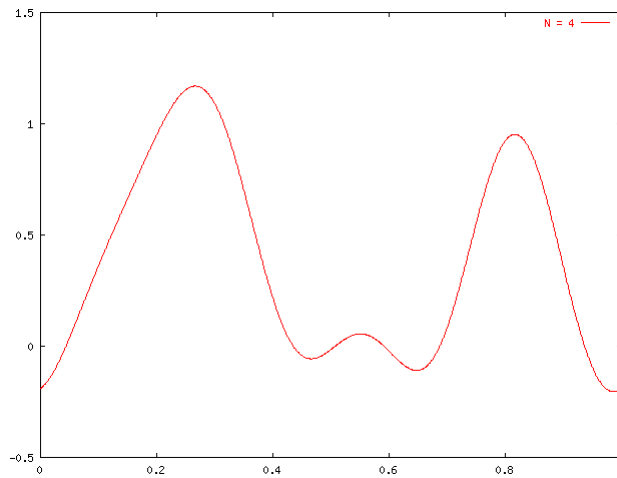
4 harmoniques (n=4)



Prométhée Spathis

- 18 -

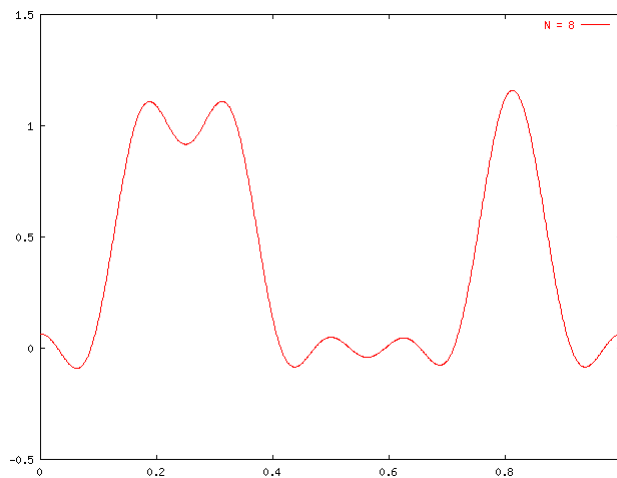
4 harmoniques (n=4)



Prométhée Spathis

- 19 -

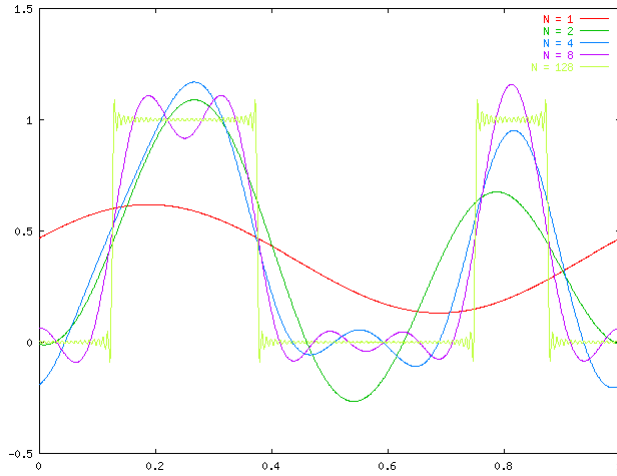
8 harmoniques (n=8)



Prométhée Spathis

- 20 -

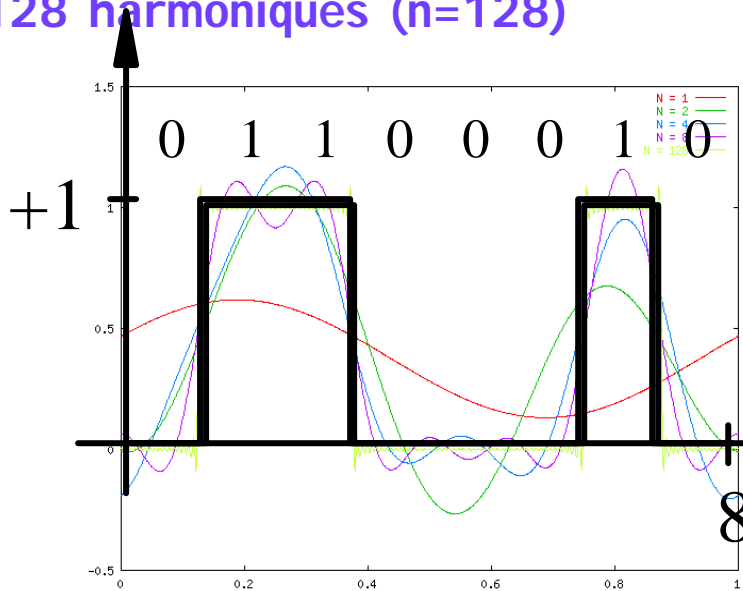
128 harmoniques (n=128)



Prométhée Spathis

-21-

128 harmoniques (n=128)



Prométhée Spathis

-22-

Les supports physiques

3 catégories de supports selon leur constitution physique (le type de grandeur physique qu'ils permettent de faire circuler) :

- ✓ les **supports métalliques** : grandeur électrique sur un câble généralement métallique
- ✓ les **supports optiques** : acheminement des informations sous forme lumineuse
- ✓ les **supports aériens** (l'air ou le vide) : circulation d'ondes électromagnétiques ou radioélectriques diverses

La grandeur physique a une **vitesse de propagation** plus ou moins rapide (par exemple, le son : 300 m/s, la lumière : 300 000 km/s).



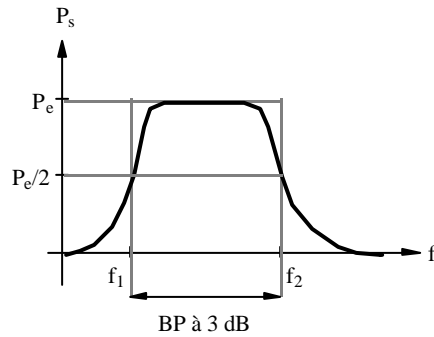
Bande Passante d'un support physique

- ✓ Le support physique est caractérisé *fréquentiellement* par sa **BP** (**Bande Passante**)
- ✓ Un support de transmission ne peut transmettre que dans une **bande de fréquence limitée**.
- ✓ On appelle **bande passante** la largeur de la bande de fréquences *acceptée* par le support
- ✓ La transmission d'un signal complet requiert une largeur de bande **infinie** !
- ✓ La bande passante du support limite le **débit** qui peut être véhiculé sur le canal de transmission.



Ligne téléphonique

- ✓ Une ligne de téléphone a une bande passante « à 3 dB » comprise entre 300 et 3400 Hertz environ

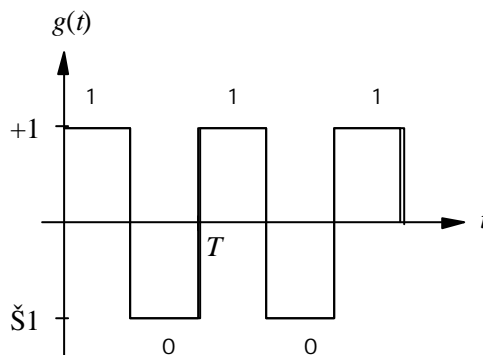


Un exemple

On considère le signal périodique (de période T) suivant :

$$g(t) = +1 \quad \text{pour} \quad 0 \leq t < T/2$$

$$g(t) = -1 \quad \text{pour} \quad T/2 \leq t < T$$



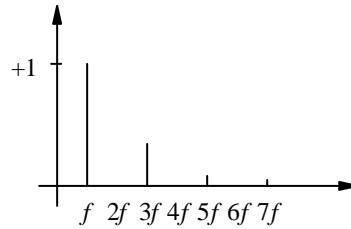
Décomposition de $g(t)$

La décomposition de $g(t)$ en série de Fourier :

$$g(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(2\pi n f t)$$

- ✓ $a_n = 0$ pour tout n
- ✓ $b_n = 1/n$ pour n impair
- ✓ $b_n = 0$ pour n pair
- ✓ $c_0 = 0$

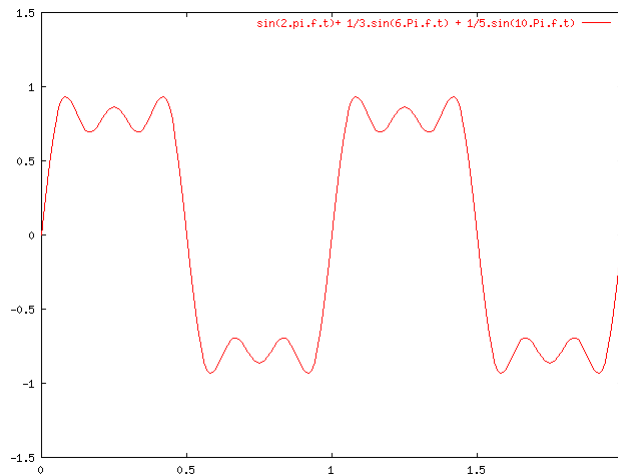
Le spectre d'amplitudes :



Prométhée Spathis

-27-

Les 5 1ères harmoniques



Prométhée Spathis

-28-

Perturbations

Altération de la transmission de données sur une ligne
Des parasites ou des dégradations du signal.

3 types de perturbations :

- ✓ **L'affaiblissement** : perte de signal en énergie dissipée dans la ligne
 - le signal de sortie plus faible que le signal d'entrée
 - proportionnel à la longueur de la voie de transmission et à la fréquence du signal
- ✓ **La distorsion** : déformation subie par le signal
 - déphasage entre le signal en entrée et le signal en sortie
 - affecte différemment chacune des composantes fréquentielles du signal
- ✓ **Le bruit** : perturbation aléatoire qui se rajoute au signal sur tout support.



Prométhée Spathis

-29-

Perturbations - suite

Les différents types de bruits :

- ✓ Le **bruit blanc** (encore appelé *bruit thermique*) perturbation uniforme du signal
 - ajoute au signal qu'une petite amplitude de moyenne nulle
 - caractérisé par un ratio, appelé *rapport signal/bruit* exprimé en décibel (pourcentage d'amplitude du signal par rapport à celle du bruit).
 - plus le rapport signal/bruit est grand, meilleure est la transmission.
- ✓ Les **bruits impulsifs** : petits pics de forte intensité et de faible durée (interférences électriques). A l'origine des erreurs de transmission.



Prométhée Spathis

-30-

Le rapport signal/bruit

- ✓ Le **rapport signal/bruit** représente la quantité de bruit (blanc) mesurée.
- ✓ Quotient entre la puissance du signal (S) et la puissance du bruit (N) :

$$PS/PN$$

- ✓ Habituellement le rapport signal/bruit est exprimé en décibels (dB) :

$$(S/N)dB = 10 \log_{10}(PS/PN)$$



Bande passante et capacité

- ✓ Théorème d'échantillonnage de Shannon et loi de Nyquist
- ✓ Débit maximal d'un canal dans un environnement bruité : loi de Shannon
- ✓ Un exemple



Théorème d'échantillonnage de Shannon

Un signal passant dans un filtre « passe bas » de bande passante H (ne laissant donc passer que les fréquences comprises entre 0 et H) peut être « parfaitement » reconstruit en faisant exactement $2H$ échantillons par seconde.

Ce théorème exprime le nombre minimum d'échantillons par seconde nécessaire pour reconstituer un signal au niveau du récepteur.



Loi de Nyquist

Lorsque le signal est binaire (donc codé sur deux niveaux), on ne peut envoyer plus de bits par seconde que d'échantillons effectués. La loi de Nyquist fournit donc le débit maximal de la liaison, encore appelée **capacité** de la liaison :

$$C = 2H \text{ bit/s}$$

Si le signal est codé sur $V = 2^r$ niveaux discrets, chaque échantillon correspond au maximum à r bits. On obtient donc une capacité :

$$C = 2H \log_2 V \text{ bit/s}$$



Débit maximal d'un canal dans un environnement bruité : la loi de Shannon

La loi de Shannon fournit une limitation physique sur le débit maximum d'un canal de transmission, lorsque celui-ci est sujet à du bruit.

Loi de Shannon

La capacité d'un canal de transmission de bande passante H s'exprime de la façon suivante :

$$C = H \log_2 (1 + P_S/P_N) \text{ bit/s}$$

où P_S/P_N représente le rapport signal sur bruit du canal.

NB les lois de Nyquist et Shannon peuvent être vues comme deux limites théoriques différentes (« logique » pour Nyquist et « physique » pour Shannon) sur le débit maximum d'une ligne de transmission. La plus restrictive de ces deux valeurs fournit la capacité (théorique) de la ligne.



Un exemple : Nyquist vs. Shannon

Si un signal binaire est envoyé sur un canal de bande passante 3 kHz, dont le rapport signal/bruit est de 3 dB, quel peut être le débit maximum de ce canal ?



Réponse

D'après la **loi de Nyquist**, la capacité de la liaison vaut

$$C_N = 2H = 2.3.10^3 = 6000 \text{ bits/s}$$

D'après la **loi de Shannon**, le débit maximal est de

$$C_S = H \log_2 (1 + P_S/P_N) = 3000 \log_2 (1 + P_S/P_N)$$

où d'après

$$(S/N)_{dB} = 10 \log_{10}(P_S/P_N) \Rightarrow P_S/P_N = 10^{(S/N)/10},$$

on a :

$$S/N = 3dB \Rightarrow P_S/P_N = 10^{0.3} = 1,995 \sim 2$$

Donc

$$C_S = 3000 \log_2 3 \sim 4754 \text{ bits/s.}$$

De ces deux limites, la deuxième est la plus restrictive. On obtient donc un débit maximum de **4754 bit/s**.

