

# RÉSEAUX

---

Anthony Busson

## Organisation des modules réseaux

- 4 modules: réseau 1 – réseau 4
- Pour ce module (réseau 1)
  - Prise de notes
  - évaluation

## Plan

- Partie 1: Télécoms
  - Signal analogique - Définition d'un signal
  - Définition d'un signal complexe - Spectre d'un signal
  - Les supports et leurs propriétés
  - Transmission Analogique/Numérique
  - Intérêt de la transmission numérique
  - Transmission numérique: échantillonnage – codage
  - Transmission en bande de base
  - Transmission numérique: modulations complexes
  - OFDM
- Partie 2: Architecture / Ethernet
  - Téléphone – ADSL
  - Ethernet
  - Modèle OSI

## PARTIE 1

---

Principes de transmission analogiques/numériques

# 1.1

Signal analogique  
Définition d'un signal

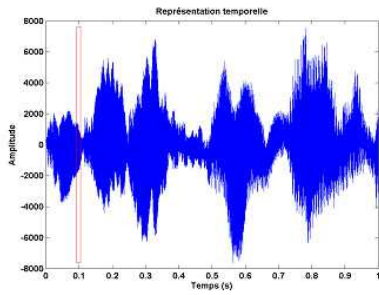
## Signal analogique

Définition:

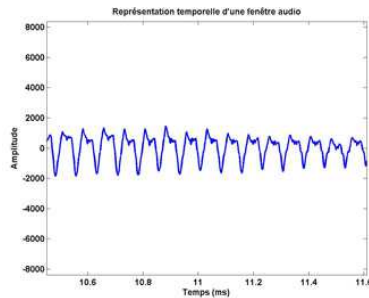
- Exemples:
  - Températures
  - Amplitude électrique
  - Pression de l'air (météorologie, sons, etc.)
  - Champ électromagnétique

## Exemple: le son

- Vibration de l'air
- Changement de la pression de l'air en fonction du temps



Portion de 1 seconde de l'œuvre « Partita n° 3 » de J.S. Bach en représentation temporelle du signal.



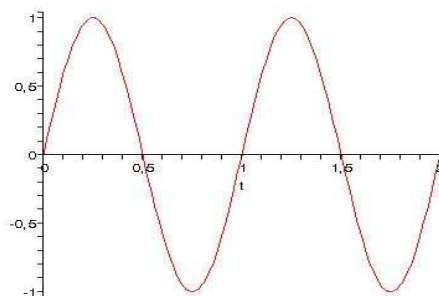
Extrait de 20 millisecondes de la portion de l'œuvre « Partita n° 3 » de J.S. Bach en représentation temporelle du signal.

Source: [https://interstices.info/cms/c\\_34530/le-tatouage-de-son](https://interstices.info/cms/c_34530/le-tatouage-de-son)

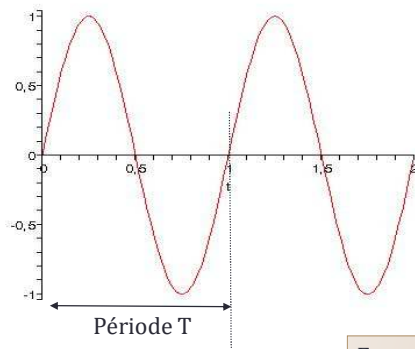
## Nature et définition d'un signal

- Une onde simple peut être représenté au travers d'une fonction sinusoïdale

$$\text{signal}(x) = \sin(2\pi x)$$



## Vocabulaire : période et fréquence



$$\text{Signal}(t) = \sin(2 * \pi * t)$$

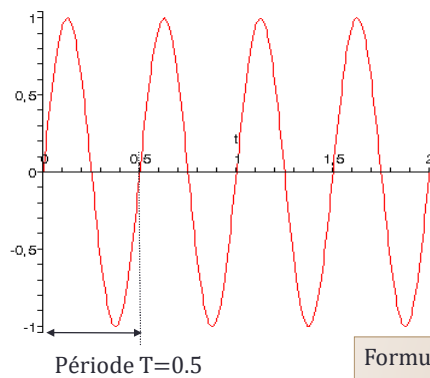
$$\text{Fréquence } f = 1/T$$

$$f = 1.$$

Formule générale:

Dans cet exemple:

## Vocabulaire: période et fréquence



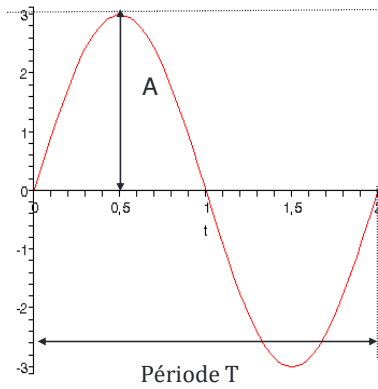
$$\text{Fréquence } f = 1/T$$

$$f = 2.$$

Formule générale:

Dans cet exemple:

## Vocabulaire: amplitude



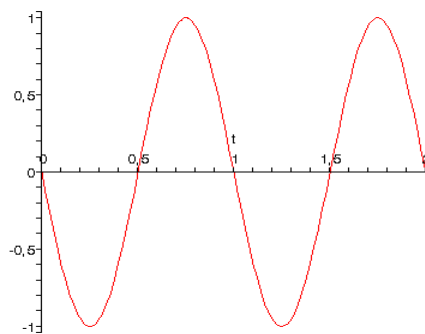
**Amplitude.**

Amplitude  $A = 3$

Formule générale:

Dans cet exemple:

## Vocabulaire: phase



Amplitude  $A = 1$

Fréquence  $f = 1$

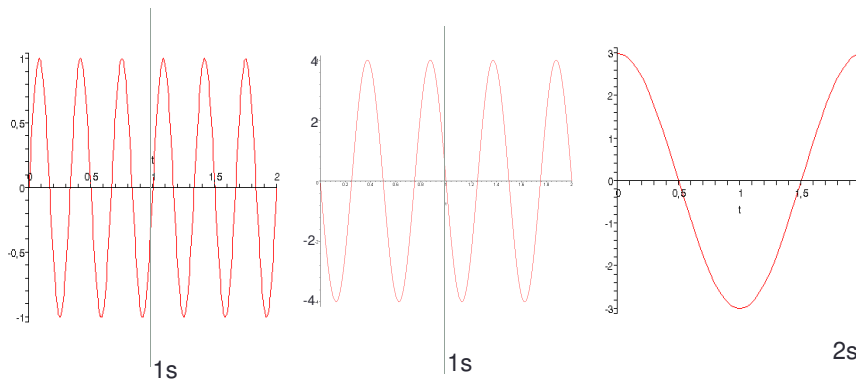
Phase =  $\pi$

Formule générale:

Dans cet exemple:

## Exemples 1.1.1

- Trouvez la valeur des fréquences, des périodes, des amplitudes et des phases pour les signaux suivants.



## Exemples 1.1.2

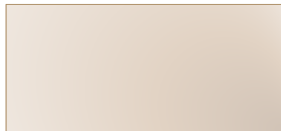
- Tracer les signaux sur  $[0,1]$  ou  $[0,2]$  avec les propriétés suivantes:
  - $f=3 - A = 2 - \varphi=3\pi/2$
  - $f=1 - A = 1 - \varphi=\pi$

## Unité

- Fréquence
  - Hertz (nombre de périodes par seconde)
- Amplitude
  - Volt (électrique)
  - Pascal/Bar (pression de l'air – sons)
  - Volt/m (Champs électromagnétique – Radio)
  - Mètre (Corde vibrante: Violon / Guitare / Basse)
- Puissance
  - Watt
  - dB ou dBm

## Puissance exprimée en dB ou dBm

- La relation avec la puissance est souvent logarithmique
- Exemple le son:
  - 1 mobylette = X Watt/m<sup>2</sup>
  - 5 mobylettes = 5 X Watt/m<sup>2</sup>
  - Le ressenti n'est pas 5 fois supérieure
  - Les petites variations d'amplitudes ne sont pas détectés à forte amplitude (la voix)
- Utilisation d'une unité logarithmique: le décibel.





## dB: exemples

- 1 mobylette : 50 dB
- 5 Mobylettes : 77 dB
- Ecouteur (à fond) : 100 dB
- 1 avion: 130 dB
- Seuil de la douleur : 110-120 dB
- Puissance d'émission
  - Wi-Fi: -10 dB (100mW)
  - ADSL: 7-10 dB (5-10W)
  - Emetteur TV : 60 dB (1MW)



## Exemple 1.1.3

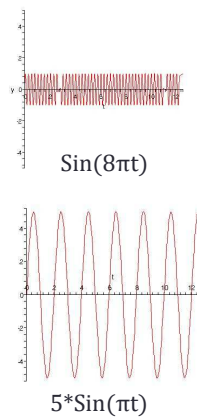
- Conversion:
  1. Donnez la formule permettant de convertir du dB à une puissance linéaire (W)
  2. Convertissez 100 W en dB
  3. Quelle est l'atténuation en dB si, pour un support donné, la puissance d'émission est de 100 W et la puissance en réception de 10W
  4. Convertissez 100mW en dBm
  5. Donnez la formule:
    - a) mW -> dBm
    - b) dBm -> mW
    - c) dBm -> W
    - d) dB -> mW

## 1.2

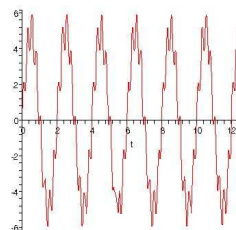
Définition d'un signal complexe  
Spectre d'un signal

## Signal complexe

- Les signaux complexes sont la somme de signaux sinusoïdaux de fréquences, d'amplitudes ou de phases différentes.

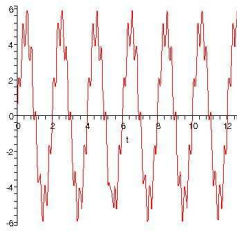


Signal périodique

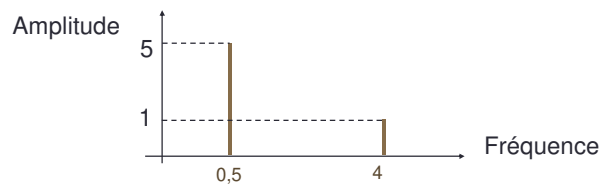


## Spectre d'un signal

Définition: Le spectre du signal est la représentation des amplitudes des différentes composantes du signal en fonction de la fréquence.



$$5 \cdot \sin(\pi t) + \sin(8 \pi t)$$

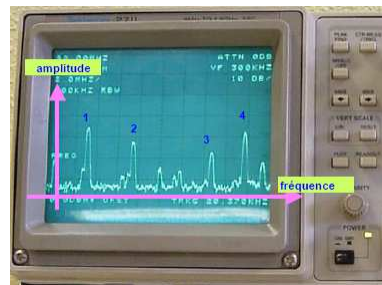


## Exemple 1.2.1

### • La radio FM

- 1: France Musique 91,2MHz
- 2: France Inter 95,7 MHz
- 3: Radio France alsace 102,4MHz
- 4: France Info 105,7 MHz

Le spectre montre des pics d'amplitude correspondant aux fréquences d'émissions des radios.



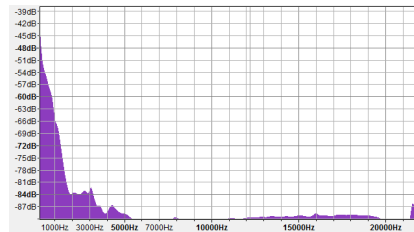
Source: cours d'analyse spectrale de Jean – Philippe Muller.

## Exemple 1.2.2

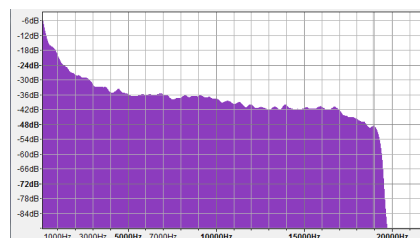
- La voix/musique



Ma voix



Get Lucky  
(Daft Punk)



## Stocker un signal analogique

- Support qui doit permettre de restituer la suite continue de valeurs:

- Vinyle: la profondeur et largeur des sillons correspondent à l'amplitude et fréquence du signal
- Bande magnétique (cassette)
- Pellicule/Film photographique
- Etc.



- Inconvénient de ces supports:

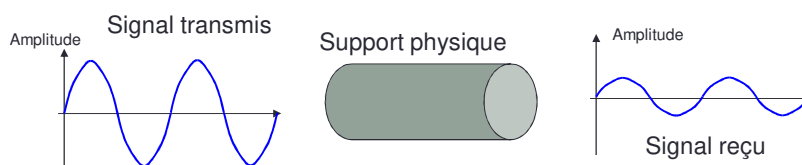
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

## 1.3

### Les supports et leurs propriétés

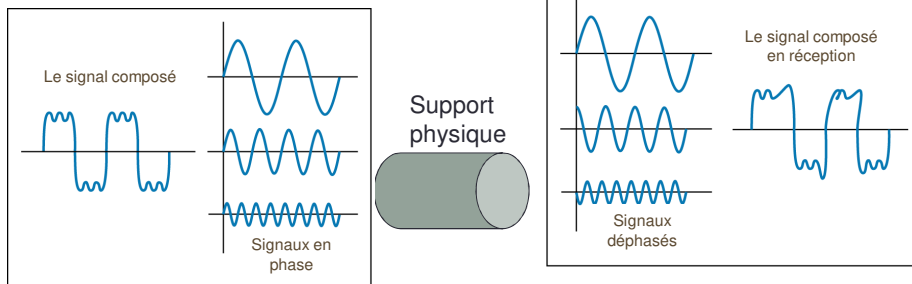
## Transmission d'un signal sur un support

- Lors de la transmission d'un signal sur un support physique plusieurs phénomènes viennent l'altérer.



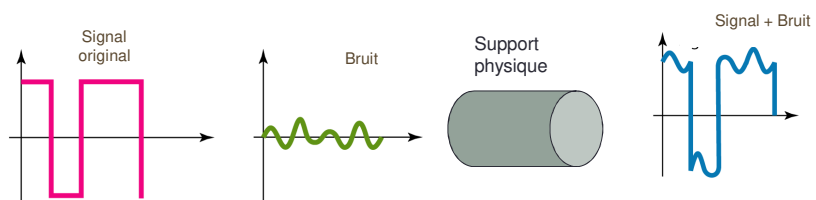
**Atténuation:**

## Transmission d'un signal sur un support (2)



**Distorsion:**

## Transmission d'un signal sur un support (3)



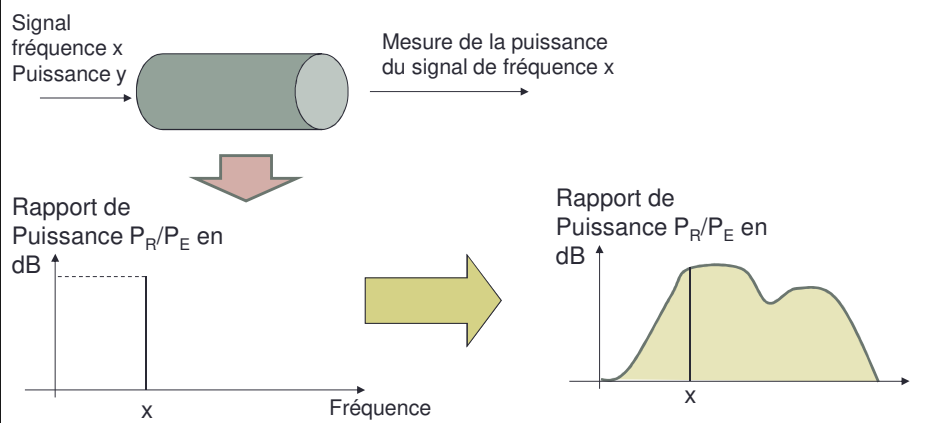
**Bruit:**

## Notion de bande passante

- Tous les signaux ne « passent » pas sur un support.
- Le support se comporte comme un filtre.
- Exemples:
  - Oreille humaine : 20Hz / 20kHz (sons audibles)
  - Oreille du chien : 15Hz – 30kHz
  - Enceinte : 30Hz – 40 kHz
  - Fil en cuivre: 10Hz – 2MHz
  - Etc.

## Mesure de la bande passante

- Définition: quand est-ce qu'un signal « passe » ?
- La bande passante est l'ensemble des fréquences pour lesquelles la réponse (le résultat en sortie) est supérieure à un certain niveau.
- Pour chaque fréquence on mesure l'amplitude en sortie.



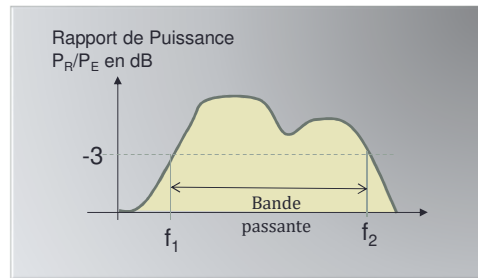
## Seuil sur la bande passante

- Un seuil est fixé entre la puissance à l'émission et en réception (pour une fréquence donnée)
  - Par exemple : -3dB

$$10 \log_{10} (P_{\text{réception}} / P_{\text{émission}}) > -3$$

$$10 \log_{10} (P_{\text{émission}} / P_{\text{réception}}) < 3$$

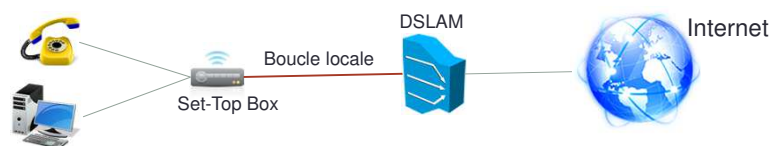
La bande passante est un l'intervalle de fréquence  $[f_1, f_2]$  pour lesquelles l'équation ci-dessus est vérifiées.



Les seuils évoluent car les systèmes électroniques sont de plus en plus performants (ADSL par exemple).

## Exemple 1.3.1

- Une série de mesure a été effectuée sur la boucle locale (câble du téléphone).



- La puissance d'émission est de 5W.
- Le résultat est décrit sur le tableau ci-dessous:

Fréquences (kHz)	Puissance reçue (W)
0,8	1,64
300	1,5e-4
750	1,65e-7
1000	1,15e-8
1300	7,10e-10
1600	5,94e-11
1900	6,22e-12
2200	7,73e-13

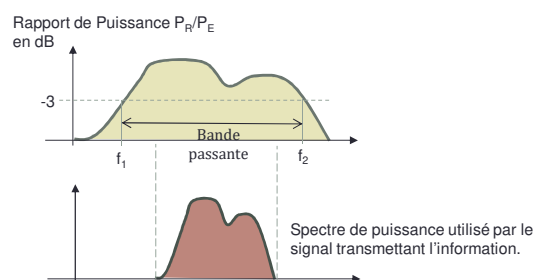
### Questions:

1. Quelle est la bande passante à 128dB et 87dB?
2. La ligne est elle éligible pour l'ADSL sachant que la bande de fréquence utilisé est  $[0, 1.1\text{MHz}]$  et le seuil de bande passante est 128dB?
3. Même question pour l'ADSL+ avec une bande de  $[0, 2.2\text{MHz}]$  et un seuil de 87dB.



## Adéquation Spectre – Bande passante

- Les fréquences utilisées pour transmettre l'information ne doivent pas être filtrées.
- Le spectre du signal doit être inclus dans la bande passante du support.
- Exemple:
  - Voix : 50Hz ; 3 - 4 kHz (Spectre)
  - Boucle local du réseau téléphonique: [10Hz ; 1 - 2 MHz] (BP)
  - Oreille : 20Hz – 20kHz (BP)
  - Son : 50Hz – 20kHz (Spectre)
  - Enceinte : 30Hz – 40kHz (BP)



## Les supports et leur bande passante

- Boucle locale: [0-1/2MHz]



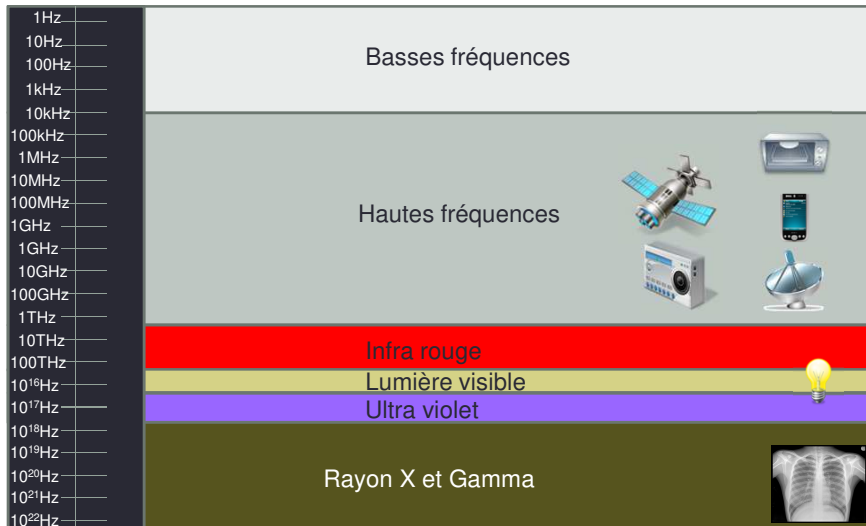
- Paire torsadé :
  - Catégorie 5 [0-100MHz]
  - Catégorie 6 [0-200MHz]



- Fibre optique: GHz - THz



## Le champ électromagnétique



## Débit théorique

- Le débit maximum d'un support de transmission dépend de la largeur de sa bande passante.
- Une estimation très grossière du débit maximum est donné par la formule de Shannon:

Débit Max =

H:  
S:  
B:

**Idée reçue:** le débit ne dépend pas de la vitesse de propagation de l'onde sur le médium. La raison pour laquelle la fibre optique offre des débits plus importants est du au fait que sa bande passante est supérieure à celle d'un câble électrique. La vitesse est d'ailleurs à peu près la même sur une fibre optique et sur un câble électrique (de l'ordre de 200 000km/s).

## Exemple 1.3.2

- Nous considérons une ligne de transmission.
- Le bruit est  $1.0e-9$  Watt.
- Le signal en réception est de  $7.0e-9$  W.
- La bande passante est [100Hz, 1MHz]
- Quel est le débit maximum théorique?

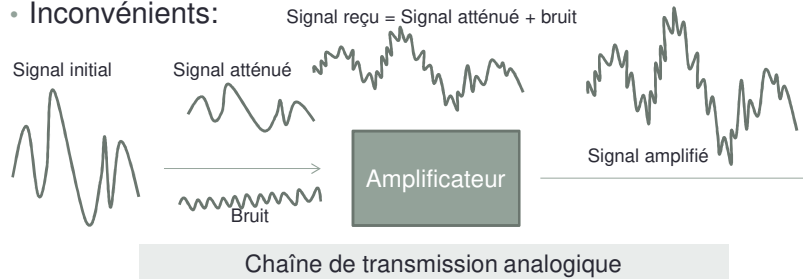
## 1.4

---

Transmission Analogique/Numérique  
Intérêt de la transmission numérique

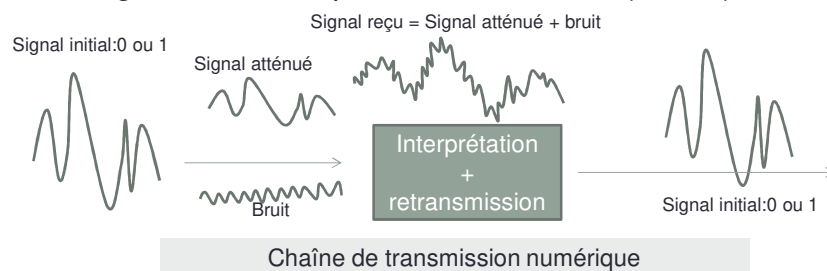
## Transmission d'un signal analogique

- Une information/signal analogique peut être transmis directement sur le support
  - Si son spectre se trouve dans la bande passante
- Exemple : le son sur la boucle locale (téléphone)
- Inconvénients:



## Intérêt de la transmission numérique

- L'information est binaire.
- La transmission numérique consiste en la transmission d'un signal dont l'interprétation est binaire (0 ou 1)



## Code détecteur et correcteur d'erreur

- L'information binaire peut être protégée.
- Utilisation de code détecteur d'erreurs.
  - Permettent de détecter les erreurs binaires
  - Exemple:
    - Ajout de la somme des valeurs en fin de transmission
    - Checksum: somme des compléments à 1
    - CRC: code plus élaboré basé sur la division par un polynôme générateur
- Utilisation de code correcteur d'erreurs
  - Permettent de corriger les erreurs
  - Exemple:
    - Code de Hamming

## Numérisation d'un signal analogique

- Les informations/signaux analogiques sont numérisés.
  - Meilleures performances de transmission
  - Facilité de stockage
- Exemples:
  - Voix sur le réseau téléphonique (numérisation à la volée): RTC, réseaux cellulaires (2G-4G)
  - Les sons et les images (MP3, MPEG 4, etc.)

## Questions de cours / QCM

- Quels sont les défauts de la transmission analogiques?
- Le débit dépend de la Bande Passante et de la vitesse de propagation sur le support physique?
- Quels sont les intérêts de la transmission numérique? 3 réponses.

## 1.5

---

Transmission numérique:  
échantillonnage - codage

## Principe de la numérisation

- Pour numériser un signal analogique, l'amplitude du signal est évalué à intervalle régulier.

