

# Module de Réseaux

Dispensé par

**Abdessamad IMINE**

[aimine@iut.univ-nancy2.fr](mailto:aimine@iut.univ-nancy2.fr) ou [imine@loria.fr](mailto:imine@loria.fr)

# Déroulement du module

- **Objectifs** : transmission des données dans les réseaux
- **Travaux dirigés** : 16h (salle 16)
  - Lundi de 16h à 18h
- **Travaux pratiques** : 24h (salle pcinf)
  - Lundi de 09h à 12h
- **Evaluation** :
  - Note pour examen partiel
  - Note pour TP

# Définition d' un réseau

C' est l' ensemble de **moyens matériels et logiciels permettant la communication entre des utilisateurs** (des terminaux ou des applications)

# Rôle du réseau

Transmettre des informations de tous types  
(données, textes, messages, voix, images,  
graphiques)

- ✓ à des utilisateurs nombreux et de tous genres  
(humains, terminaux, applications)
- ✓ avec des soucis de prix de revient, qualité,  
sécurité, simplicité, efficacité

# Classification des réseaux

Les réseaux peuvent être classés selon plusieurs critères :

- ✓ *Caractéristiques physiques* (support, débit, délai)
- ✓ *Caractéristiques logiques* (protocoles, qualité de service)
- ✓ *Portée géographique* (local, nationale, internationale)
- ✓ *Nature* (public, privé)

# Quelques exemples d' applications

- La **saisie de données** :
  - on relie les appareils de saisie de données (écran-clavier, terminal bancaire, scanner, lecteur, etc) à un ordinateur. Ces appareils peuvent être géographiquement distants.
- L' **interrogation transactionnelle** :
  - C' est le type d' application où un utilisateur interroge/modifie **une base de données gérée par un ordinateur distant** (le temps de réponse doit être court).

# Quelques exemples d' applications

- Le **traitement en temps partagé** :
  - C' est le type d' application ou un grand nombre d' utilisateurs est connecté simultanément à un même ordinateur qui leur alloue à des intervalles rapprochés des tranches de temps.
- Service de **partage de fichiers et de périphériques** :
  - Partages de fichiers, imprimantes, etc

# Quelques exemples d' applications

- La **messagerie électronique**
- Les **systèmes industriels (Sensor Based Systems)** :
  - Un ou plusieurs ordinateurs reliés à des capteurs, détecteurs, robots, permettant la commande en ligne de processus industriels.

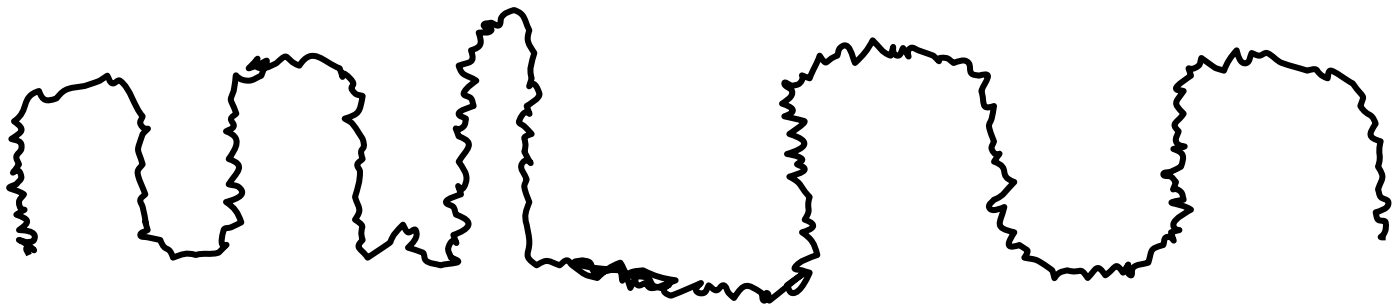
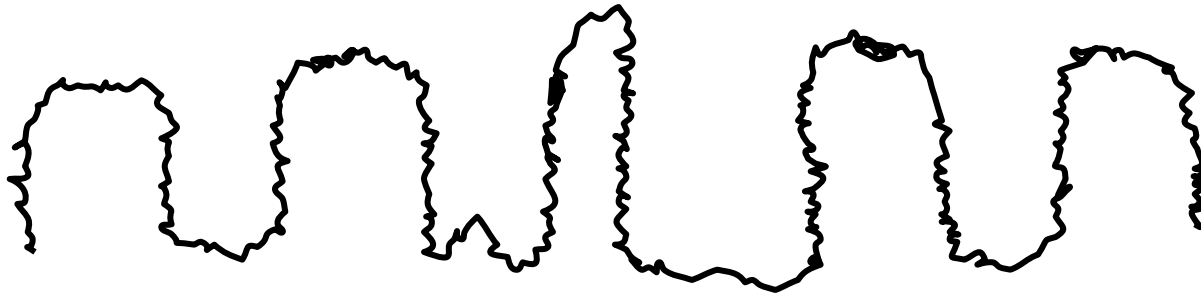
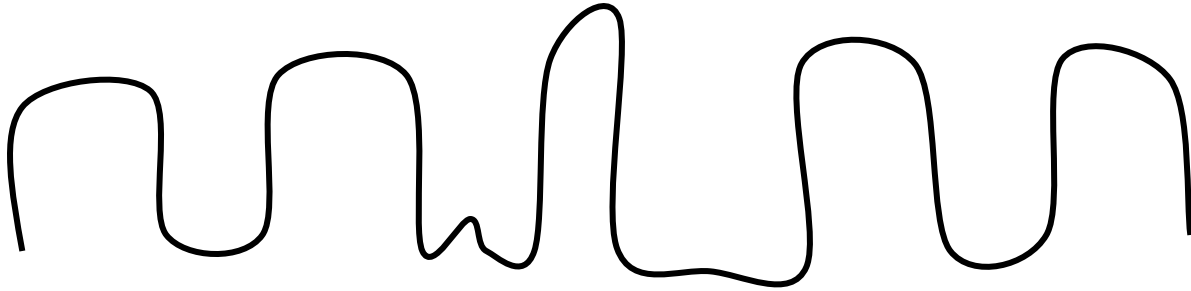
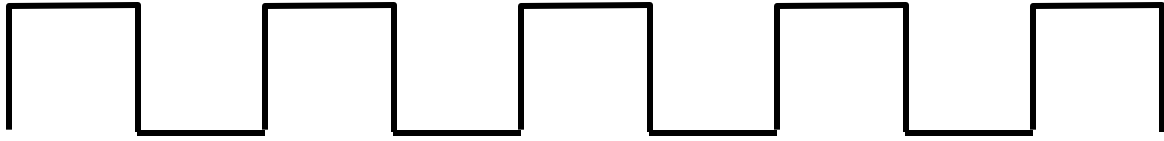


# Quelques exemples d' applications

- **Télémédecine**
- **Internet et ses applications :**
  - Autoroutes de l' information, commerce électronique, etc.
- **Multimédia :**
  - Serveurs d' images, de films, de MP3, etc.

# Support de transmission

- Les supports de transmission se comportent comme des filtres
- La qualité de transmission d'un signal dépend principalement de 2 facteurs :
  - ✓ Caractéristiques du médium de transmission
  - ✓ Qualité du signal à transmettre



# Nature des signaux

- Représentation mathématique

$$\mathbf{S(t) = A \sin (\omega.t + \phi)}$$

A : Amplitude maximal du signal

$\omega$  : la pulsation ( $2\pi f$  où  $f$  est la fréquence,  $f=1 / T$  et  $T$  est la période)

t : le temps

$\phi$  : la phase

# Nature des signaux

- Pour transmettre de l'information binaire, on modifie dans le temps une ou plusieurs de ces caractéristiques,  $A$ ,  $f$ ,  $\phi$ . On parle de :
  - Modulation d'amplitude
  - Modulation de phase
  - Modulation de fréquence

# Bande passante

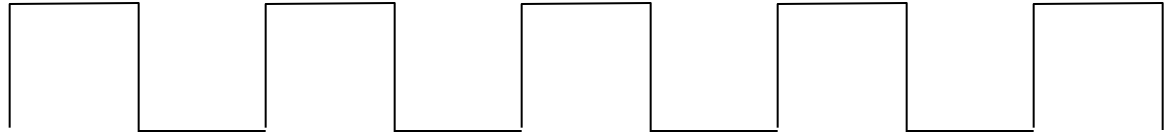
- **Bande passante**

C' est la plage de fréquences que laisse passer le support physique (sans affaiblissement)

Exemple :

**Bande passante de la ligne téléphonique : 300Hz à 3400Hz.**

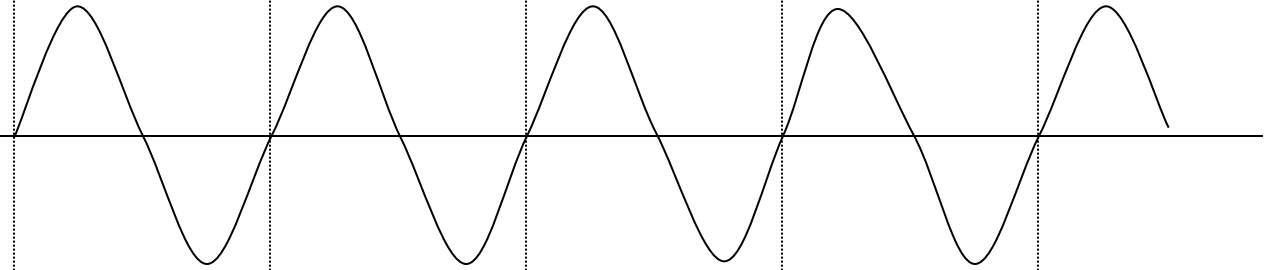
Tout support de transmission est caractérisé par sa bande passante.



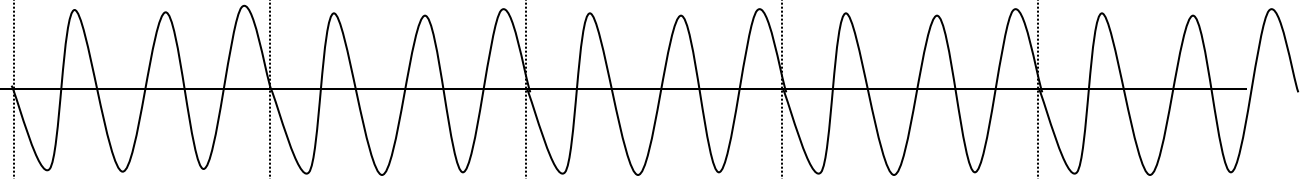
*Transformée  
de Fourier*

$$v(t) \approx \frac{4V}{\pi} \left( \cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3 \omega t + \frac{1}{5} \cos 5 \omega t - \dots \right)$$

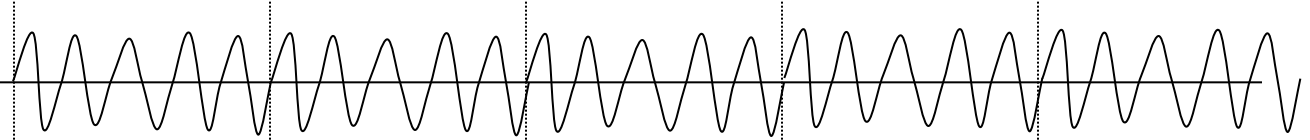
$(\cos \omega t)$



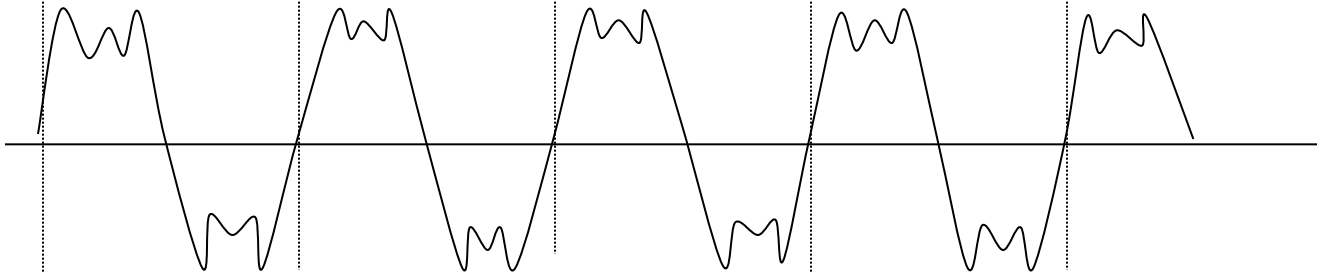
$\left(\frac{1}{3} \cos 3 \omega t\right)$



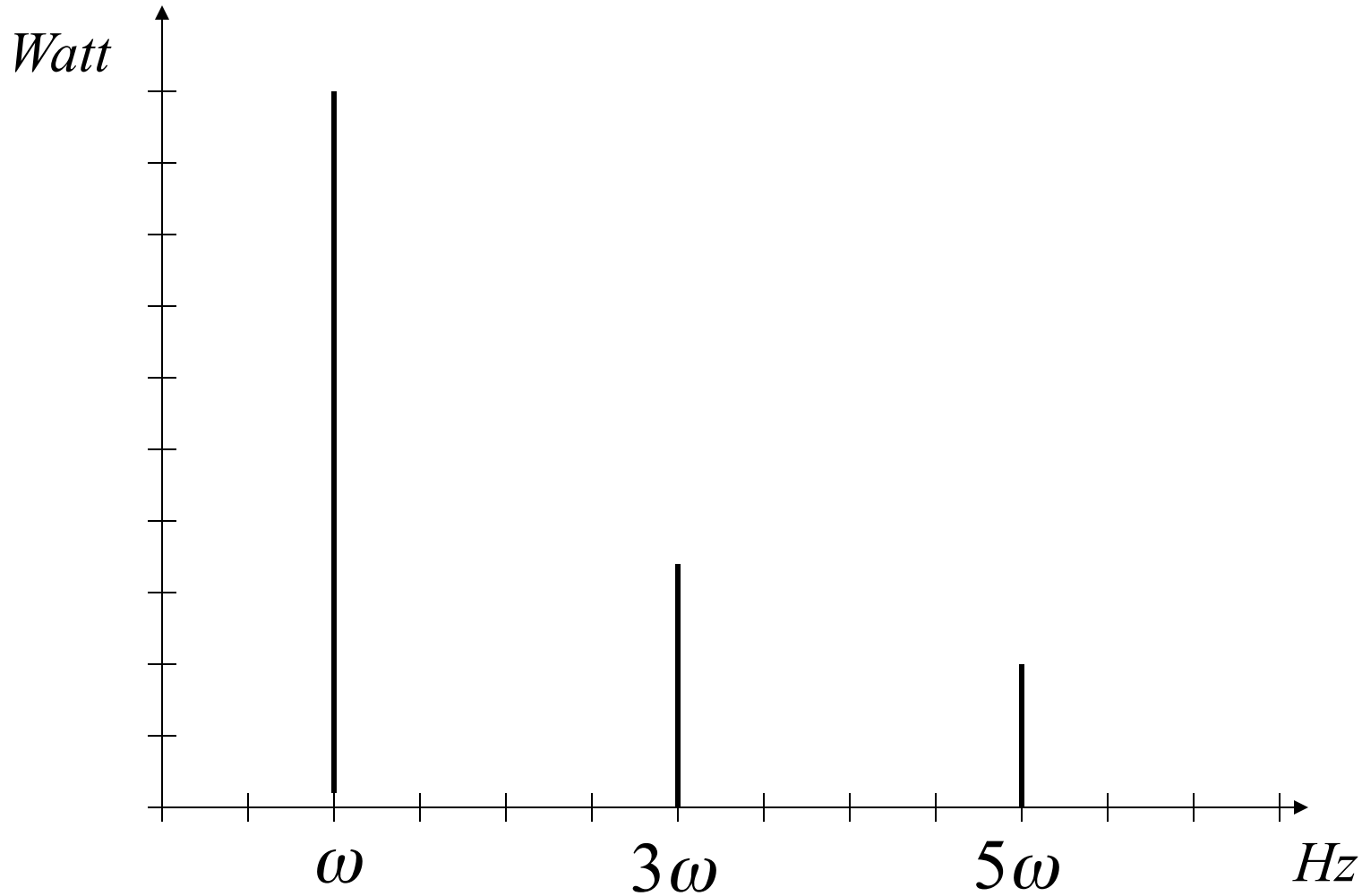
$\left(\frac{1}{5} \cos 5 \omega t\right)$



$v(t)$

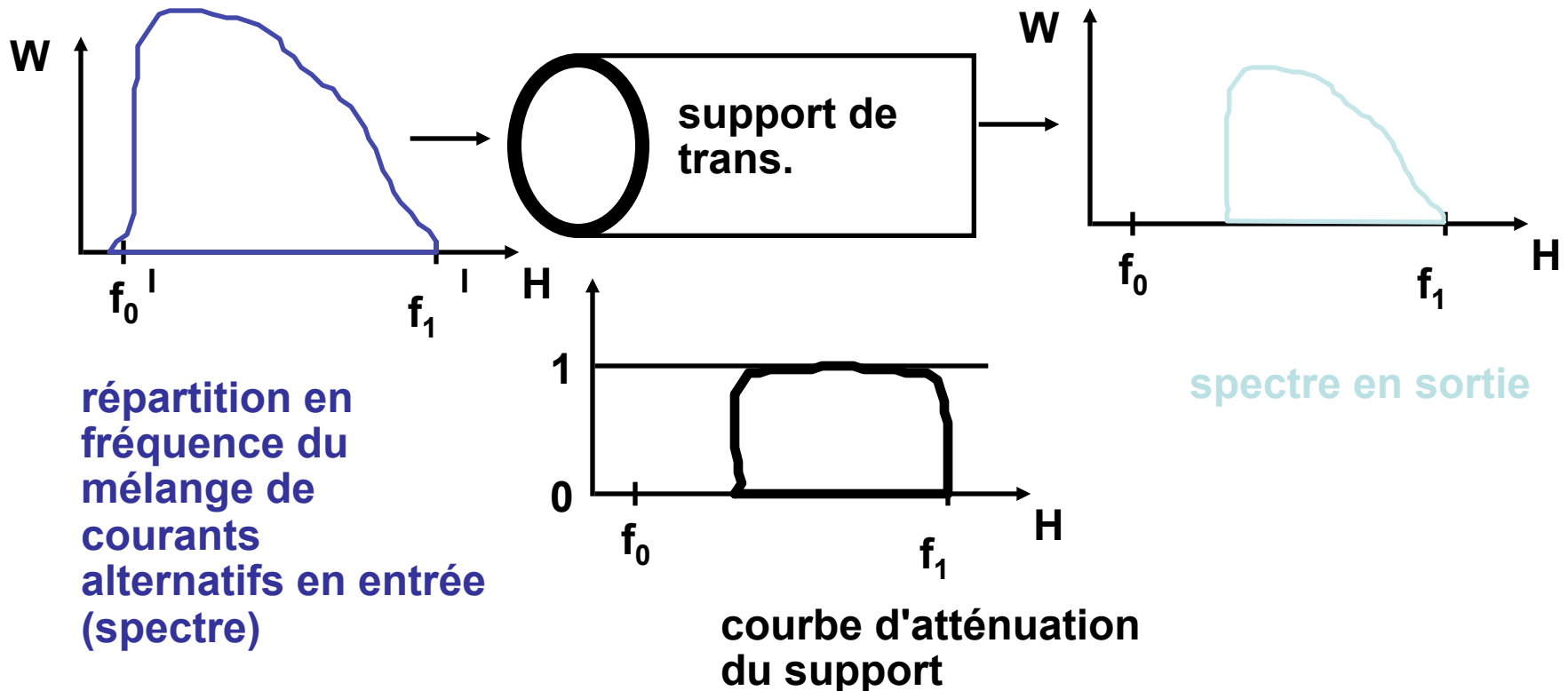


# Spectre de fréquence d'un signal



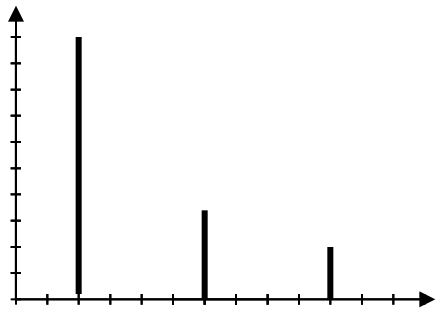


# Atténuation du spectre due au support

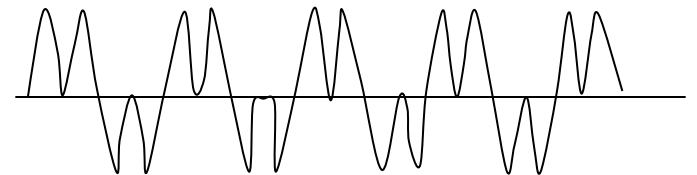
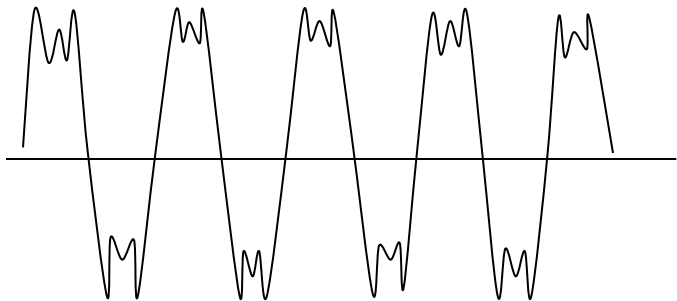
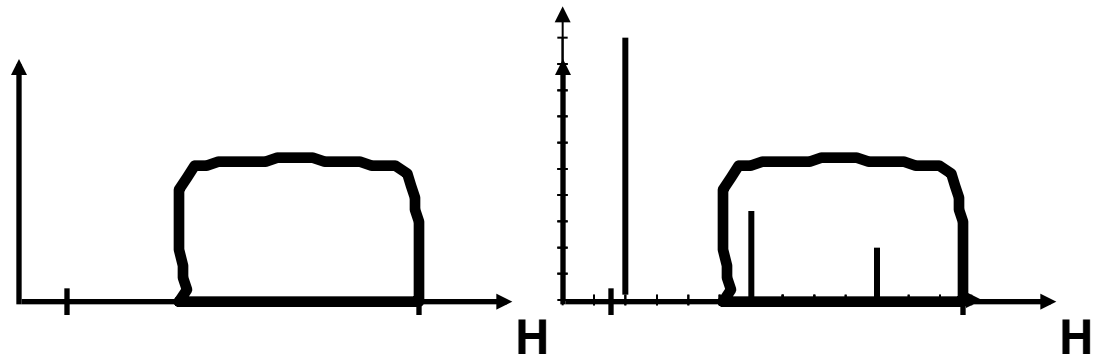


# Signal / support

*Watt*



*Hz*



# Transmission des bits sur le support

- Adaptation du signal
  - ✓ Le support est caractérisé par sa bande passante
  - ✓ Le signal est caractérisé par sa largeur de bande ou l'ensemble des fréquences qu'il doit véhiculer pour permettre de reconstituer le signal d'origine
  - ✓ Il faut donc choisir le support adéquat pour véhiculer le signal ou l'adapter aux caractéristiques du support

# Transmission des bits sur le support

- La transmission numérique
  - ✓ Les informations numériques ne pouvant circuler sous forme de 0 et de 1 directement, il faut les coder sous forme d'un signal. C' est le codage en ligne.
  - ✓ Exemples :
    - ✓ 2 niveaux de tension
    - ✓ Différence de tension entre 2 fils
    - ✓ La présence/absence de courant dans un fil
    - ✓ La présence/absence de lumière

# Quelques relations utiles

- **Débit binaire** ( $R_{\text{trans}}$ ) : nombre d'éléments binaires transmis par seconde

✓  $T_b$  étant la durée d'un élément binaire, on a

$$R_{\text{trans}} = 1 / T_b \text{ bit/s}$$

- **Rapidité de modulation** ( $R_{\text{mod}}$ ) : vitesse à laquelle les symboles sont transmis

✓  $T_s$  étant la durée d'un symbole, on a

$$R_{\text{mod}} = 1 / T_s \text{ bauds}$$

# Quelques relations utiles

- Soit  $r$  le nombre de bits par symbole et  $m$  le nombre de niveaux par signal, on a
  - ✓  $r = \log_2 m$  ou  $m = 2^r$
- Relation reliant  $R_{\text{trans}}$  et  $R_{\text{mod}}$ 
  - ✓  $R_{\text{trans}} = R_{\text{mod}} \cdot r = R_{\text{mod}} \cdot \log_2 m$

# La transmission du signal

- Loi de Nyquist (1924)

*Si un signal quelconque était appliqué à l'entrée d'un canal ayant une bande passante  $W$ , le signal pouvait être entièrement reconstitué à partir d'un échantillonnage de ce signal selon une cadence précise et égale à  $2W$  par seconde.*

# La transmission du signal

- **Loi de Nyquist :**

- ✓ La rapidité de modulation  $R_{\text{mod}}$  d'un canal de largeur de bande  $W$  doit vérifier :

$$R_{\text{mod}} \leq 2 W \text{ bauds}$$

- ✓ Et donc le débit binaire doit vérifier

$$R_{\text{trans}} \leq 2 W \log_2 m \text{ bit/s}$$

Attention cette limite ne tient pas compte de l'atténuation du signal ni du bruit



# La transmission du signal

P1 : puissance du signal émis (en watts)

P2 : puissance du signal reçus (en watts)

- Atténuation

- Lorsque l' amplitude du signal diminue sur un canal

$$\text{Atténuation} = 10 \log_{10} (P_1 / P_2) \text{ en decibels}$$

- Gain (ou Amplification)

- Lorsque l' amplitude du signal augmente sur un canal

$$\text{Gain} = 10 \log_{10} (P_2 / P_1) \text{ en decibels}$$

# La transmission du signal

- Le rapport signal-bruit
  - Le rapport **signal-à-bruit** représente le quotient entre la puissance  $P_S$  du signal et la puissance  $P_B$  du bruit :  $P_S/P_B$
  - Habituellement le rapport signal-à-bruit n'est pas donné tel quel, on l'exprime plutôt en décibel (dB) par :

$$(S/B)_{dB} = 10 \log_{10} (P_S/P_B)$$

# La transmission du signal

- Exemples

$$\checkmark P_S/P_B = 10 \Rightarrow S/B = 10 \text{ dB}$$

$$\checkmark P_S/P_B = 100 \Rightarrow S/B = 20 \text{ dB}$$

# La transmission du signal

- **Loi de Shannon :**

La capacité d'un canal bruité de largeur de bande  $W$  s'écrit de manière théorique par la formule suivante :

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

$C'$  est le débit maximum auquel on peut transmettre **sans erreur**

# La transmission du signal

- Exemple

- Bande passante = 3kHz
- Rapport signal-à-bruit = 30 dB

Quelle est la capacité maximale ?

- Solution

$$S/B = 10\log_{10}(P_S/P_B) = 30\text{dB}$$

$$P_S/P_B = 10^3$$

$$C = 3000 \cdot \log_2(1 + P_S/P_B) = 3000 \text{ bit/s}$$

# Supports de Transmission

# Couche physique

- Objectif
  - Assurer le transfert des bits d'informations entre deux équipements terminaux via un *support de transmission*
- Deux Catégories de supports
  - Avec guide physique
    - Les câbles électriques
    - Les fibres optiques
  - Sans guide physique
    - Les ondes radios terrestres (hertziens)
    - Satellites, ...

# Paire torsadée

La **paire torsadée ou téléphonique** est le média le plus utilisé/répandu.

La paire peut être **blindée** pour **améliorer ses performances** (bande passante en fréquence).

Les signaux véhiculés sur la paire torsadée peuvent parcourir des dizaines de kilomètres sans **amplification**.

Les paires torsadées peuvent être utilisées pour **transmettre des signaux binaires** ou **analogiques**.



# Paire torsadée

- Caractéristiques
  - paires de fils de cuivre (épaisseur de qq mm)
  - torsadée pour diminuer les parasites
  - plusieurs Mbit/s sur quelques kilomètres
- Catégorie des fils
  - UTP 3 (sur 100 m bande passante 16MHz, téléphone)
  - UTP 5 (sur 100 m bande passante 100MHz)
- Avantages
  - Simple et faible coût

# STP Cat 3 (10 Mb/s)



# UTP Cat 5 (100 Mb/s)



# Câble coaxial

Le **câble coaxial**, comme celui des antennes de TV, est constitué :

- ✓ d' un brin conducteur central, isolé par une gaine
- ✓ d' une **tresse métallique conductrice**, entourant cette dernière de façon concentrique.

Le tout est protégé par une gaine **parfois blindée**.

Il peut être utilisé pour la transmission des signaux **numériques** et **analogiques**.

# Câble coaxial

- **Caractéristiques**
  - 2 conducteurs cylindriques coaxiaux et isolés (3.6 mm)
  - meilleure protection au bruit donc plus élevé
  - bande passante 1 GHz, débit 100 Mbit/s
  - réseau téléphonique, câble TV
- **Avantages**
  - faible coût, robuste, débit élevé

# Câble coaxial, "gros", 50

ohms



# Fibre optique

Le principe de transmission de signaux binaires sous forme d'impulsions lumineuses. 1 = lumière, 0 = absence de lumière.

On utilise du fil de verre très fin comprenant le cœur de propagation et une gaine externe maintenant la lumière à l'intérieur du cœur.

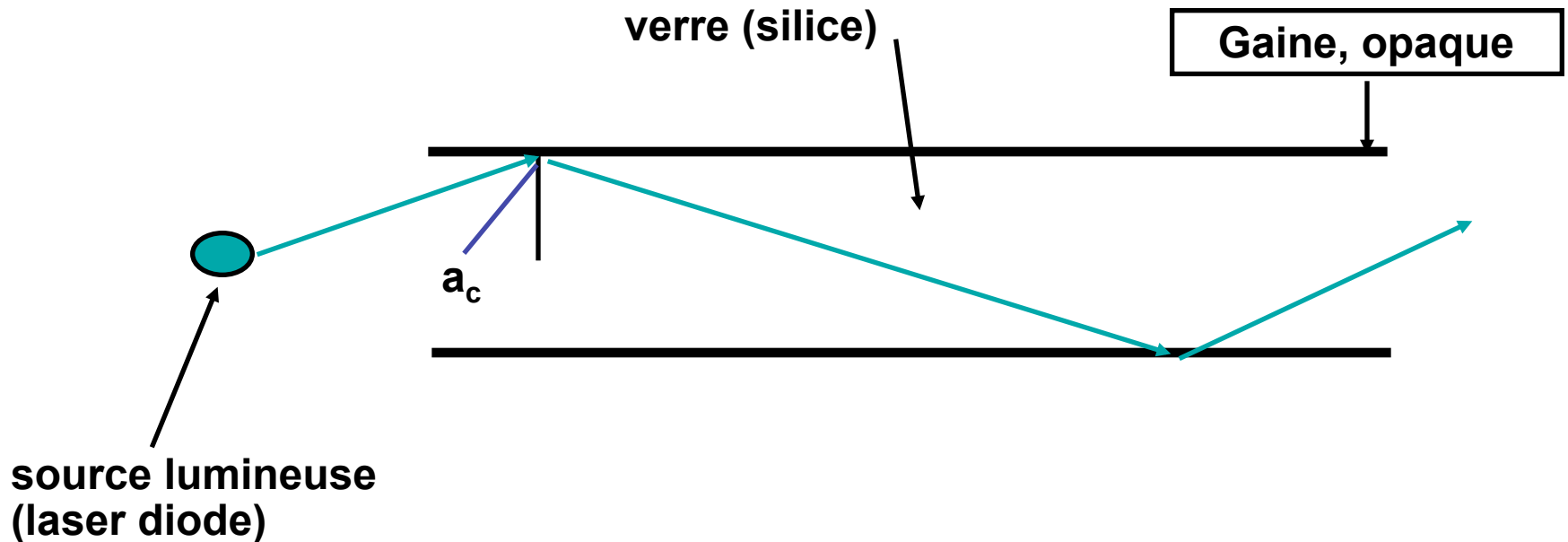
L'émission de la lumière se fait par LED (diode électroluminescente) ou par diode laser.

# Fibre optique

- Caractéristiques
  - guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière
  - débits : 10 à 1000 Gbit/s
  - Bande passante de plusieurs GHz,
  - diamètre  $< 0.1\text{mm}$
- Avantages
  - faible atténuation du signal
  - régénérateur tous les 50kms



# Fibre optique

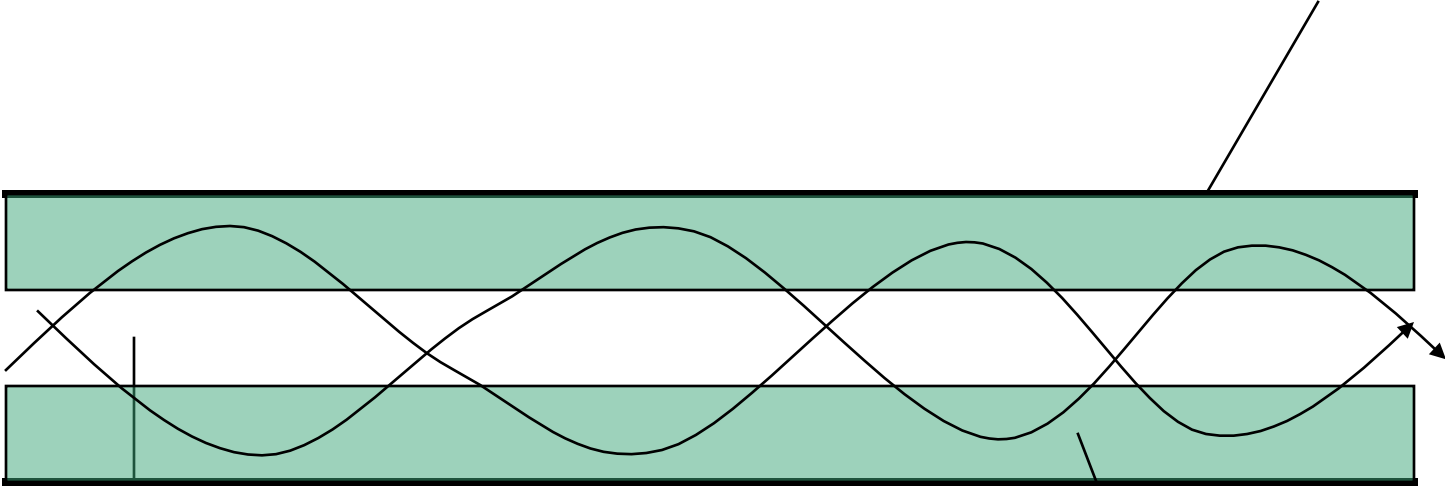


**bit : impulsion lumineuse "piégée dans la fibre"**  
 **$a_c$  : angle critique de réflexion**

# A gradient d'indice

moins de réflexion => plus rapide

Gaine opaque



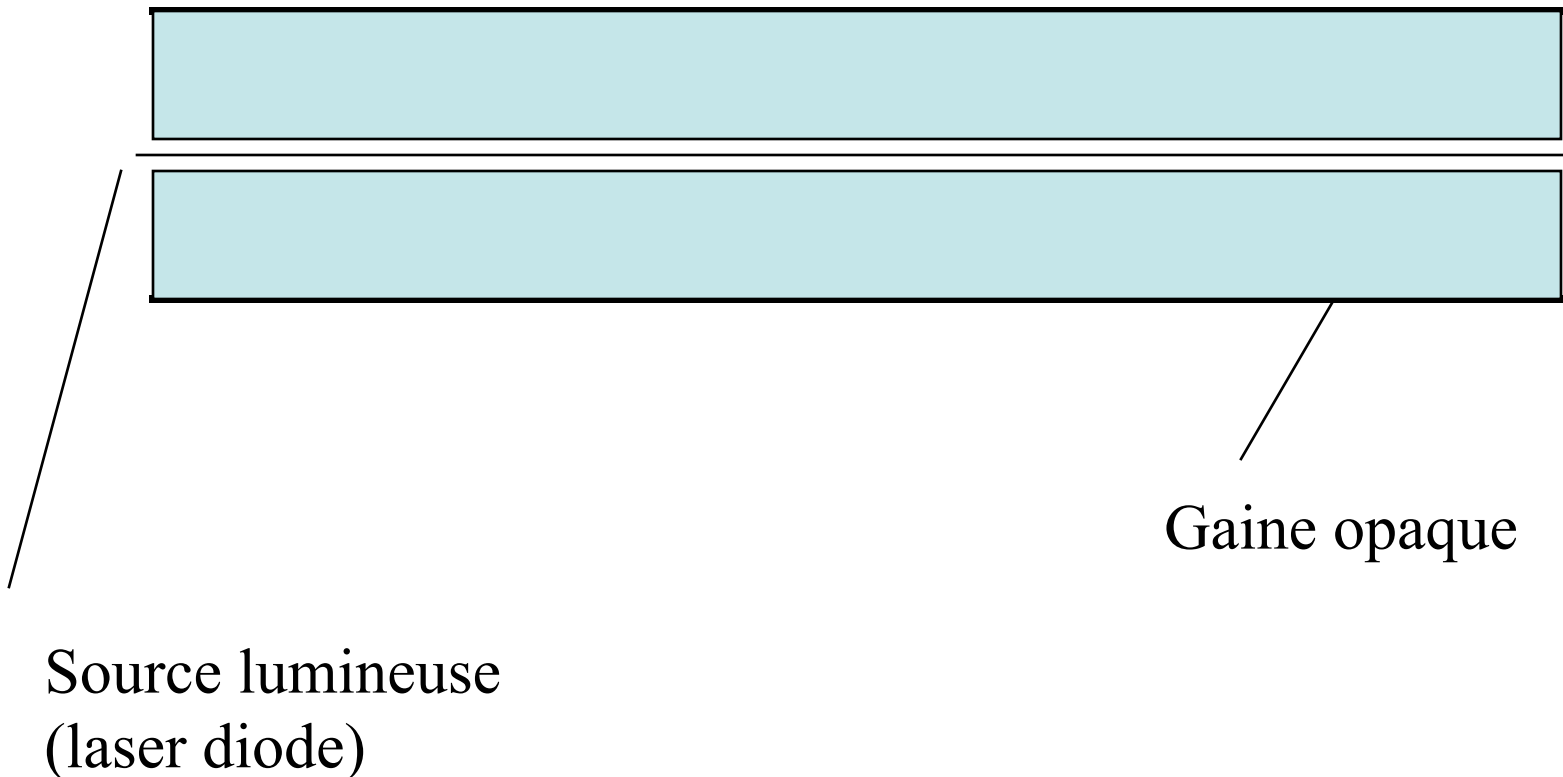
Sources lumineuses  
(laser diode)

Gaine semi opaque

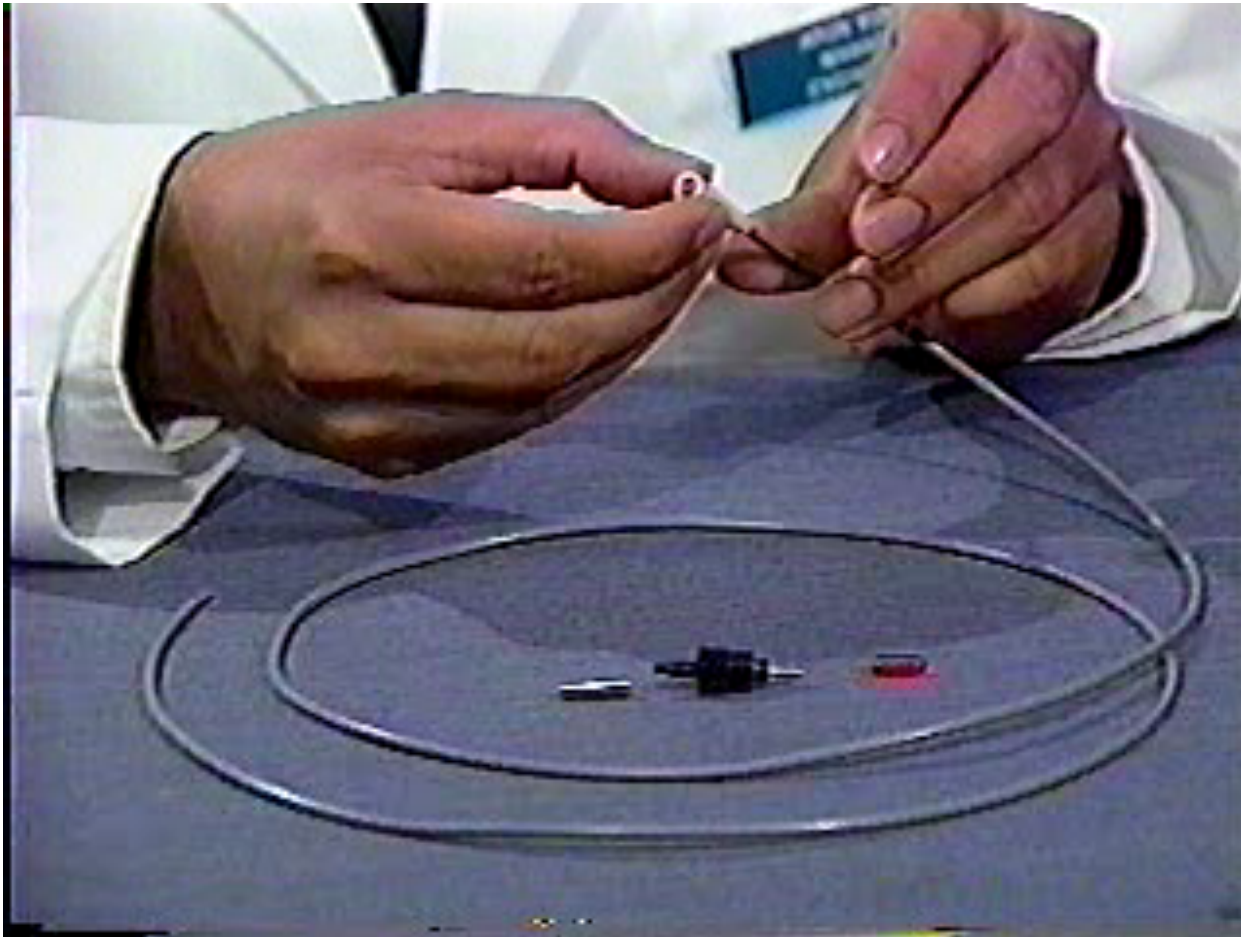
# Monomodes

Diamètre est réduit de manière qu' un seul rayon lumineux puisse se propager.

Plus chères mais avec des débits importants =>  
+ieurs Gbit/s sur une trentaine de km



# Montage d'une fibre optique

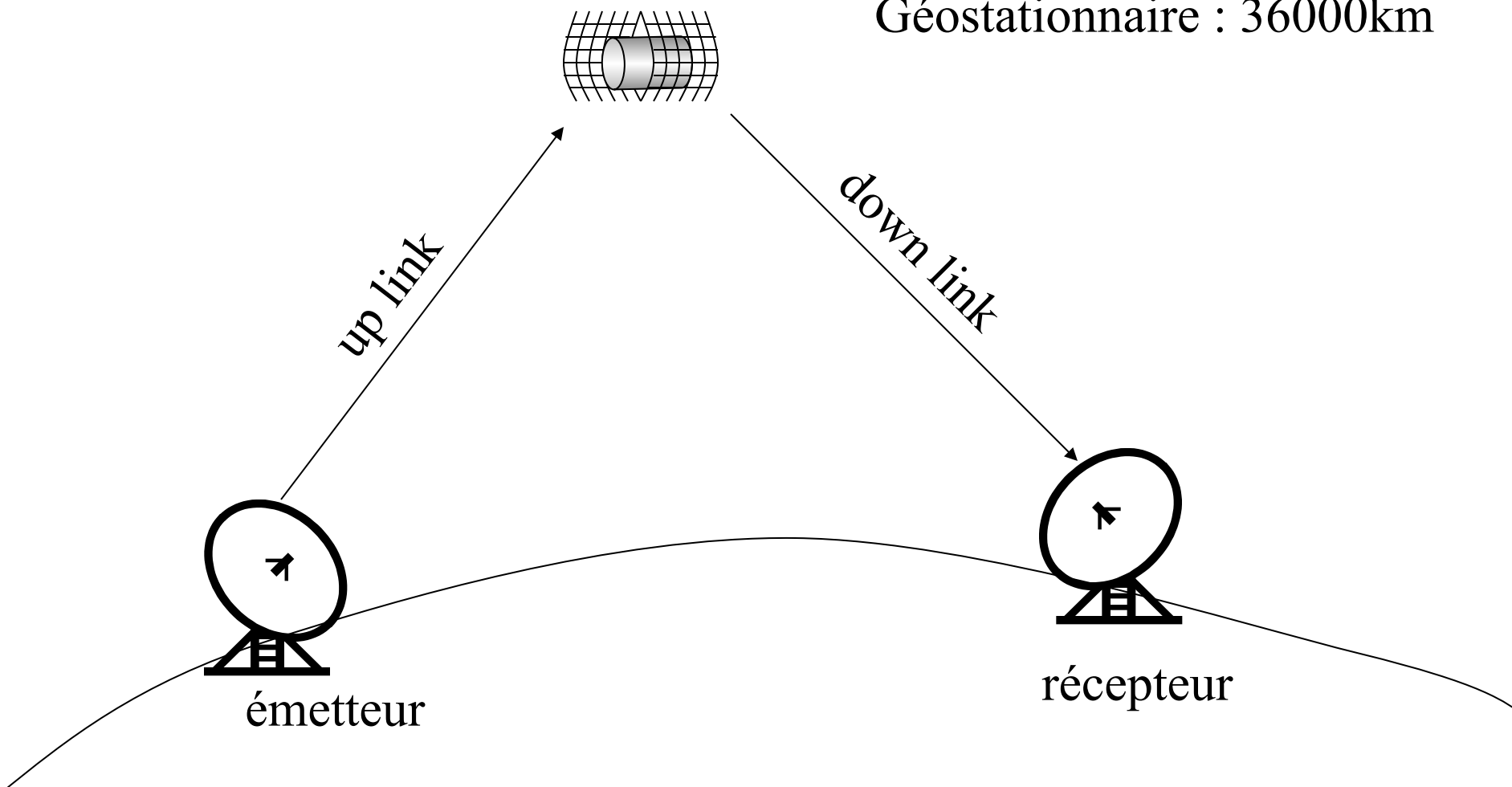


# Communication par satellites

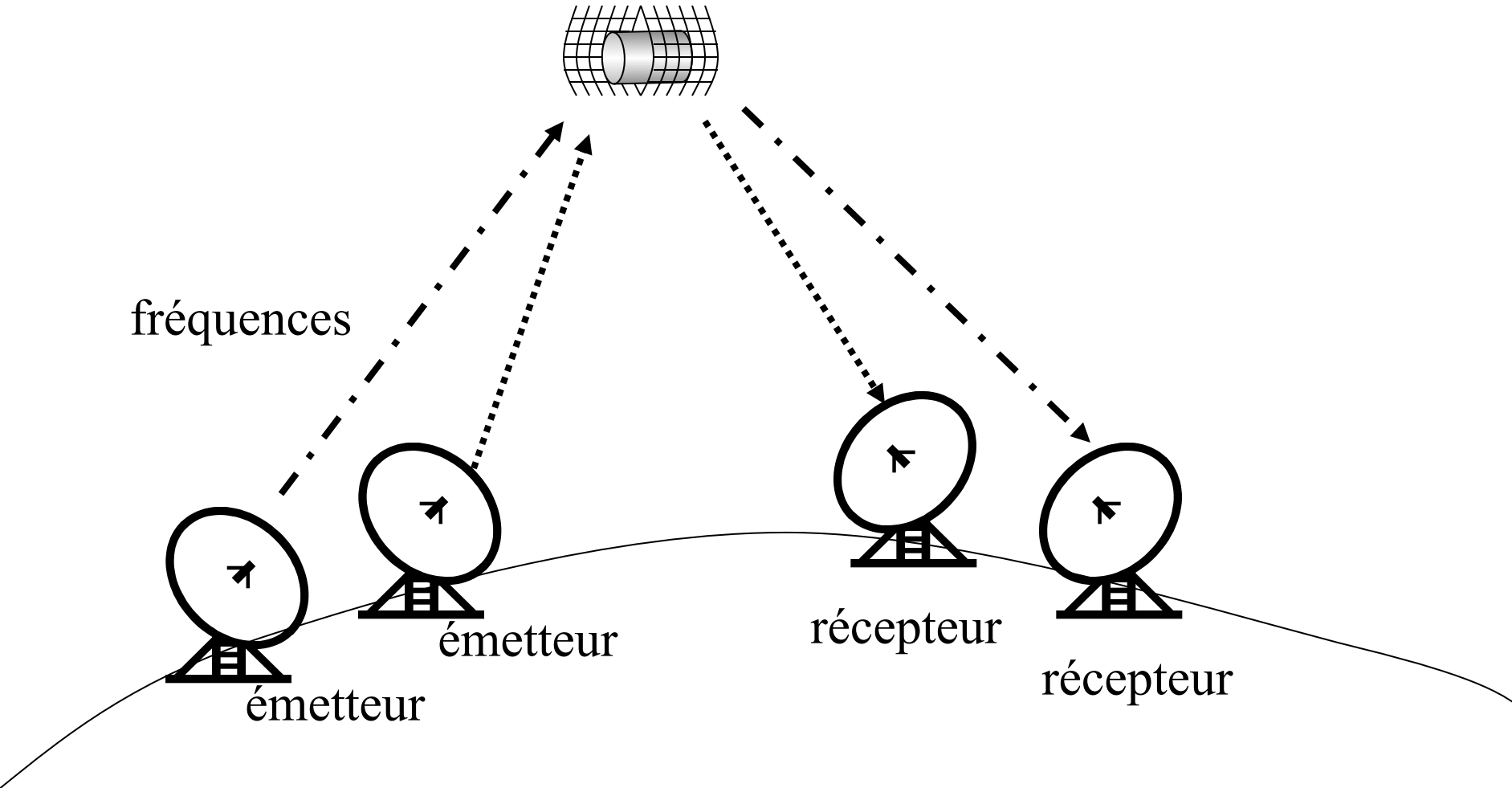
- Ré-émission depuis un satellite : diffusion
- 36000 km : temps de propagation de 0.27s (aller-retour)
- Intérêts
  - Pour points isolés (îles, ...)
  - Pour accéder facilement (et directement) à du haut débit
  - Pour application mobile
    - Exemple : Transmission du rallye Paris Dakar

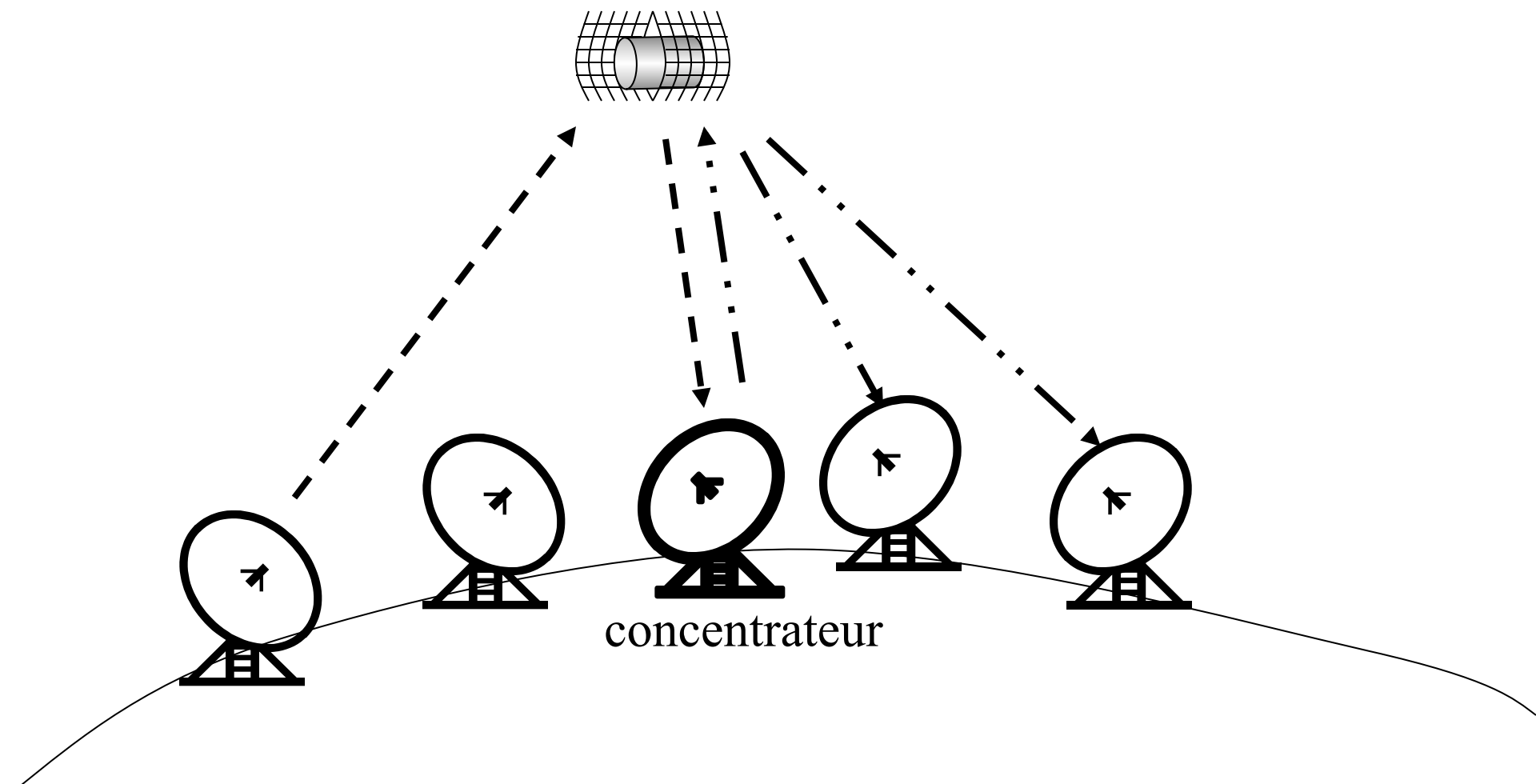
# Satellites

Géostationnaire : 36000km



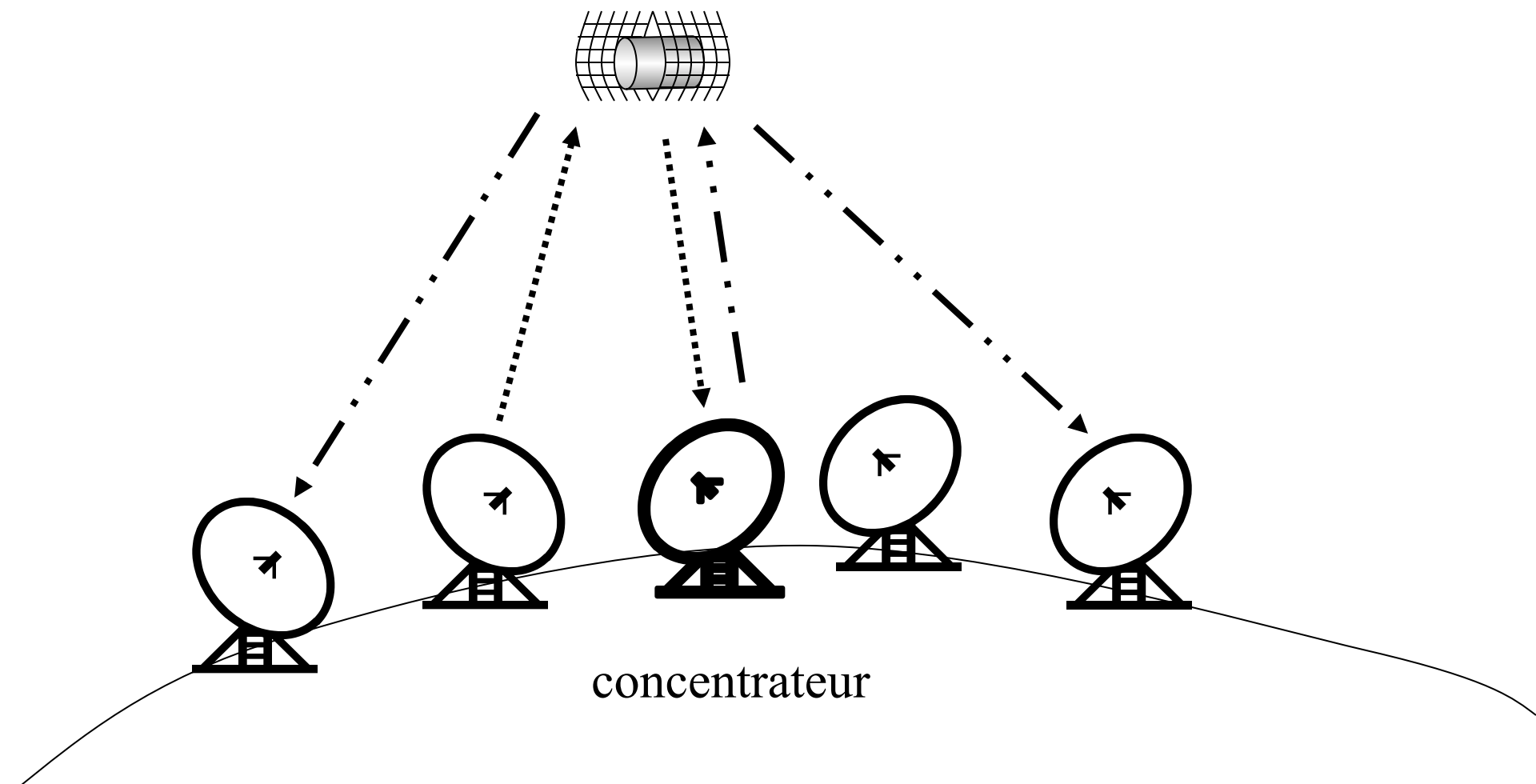
# Interférences





concentrateur





concentrateur

# Ondes radio terrestres

- Grandes distances ( $> 100\text{km}$ )
- Débit dépend de la plage de fréquences utilisée (100 MHz à 1 GHz)
- Très utilisé pour la télévision et les téléphones
- Fort déploiement pour les réseaux locaux (Wifi)
- Mise en place moins coûteuse que la fibre optique
- Tours Hertzienne, antennes et paraboles : souvent moins onéreuses que de creuser une tranchée pour mettre une fibre optique

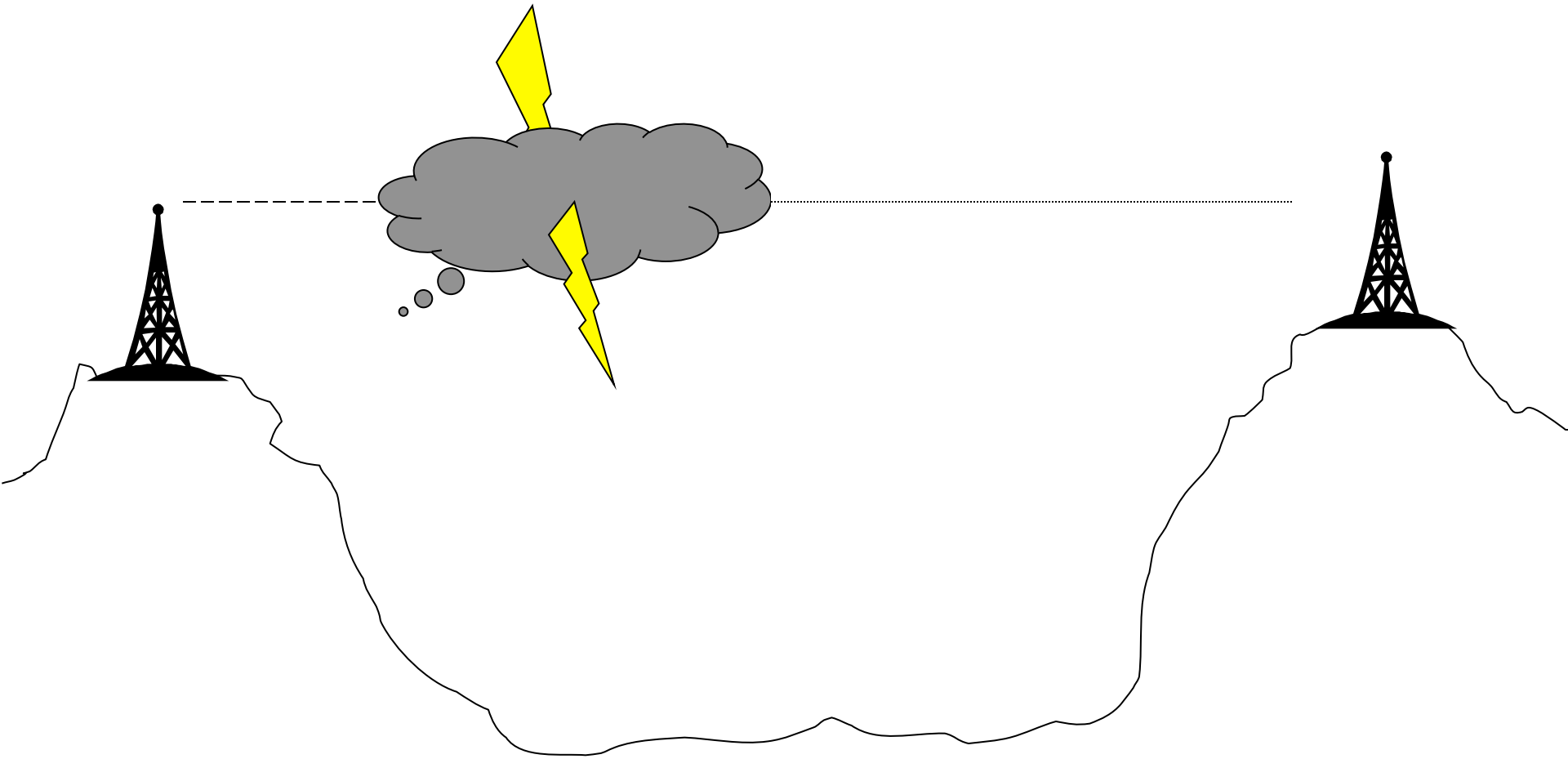
# Les faisceaux hertziens

Un **faisceau hertzien** est un faisceau d'ondes radioélectriques ( $500\text{KHz} < \text{fréquence} < 20\text{GHz}$ ) permet la **transmission en ligne droite**, à l'air libre, d'informations entre deux points fixes appelés **stations relais**.

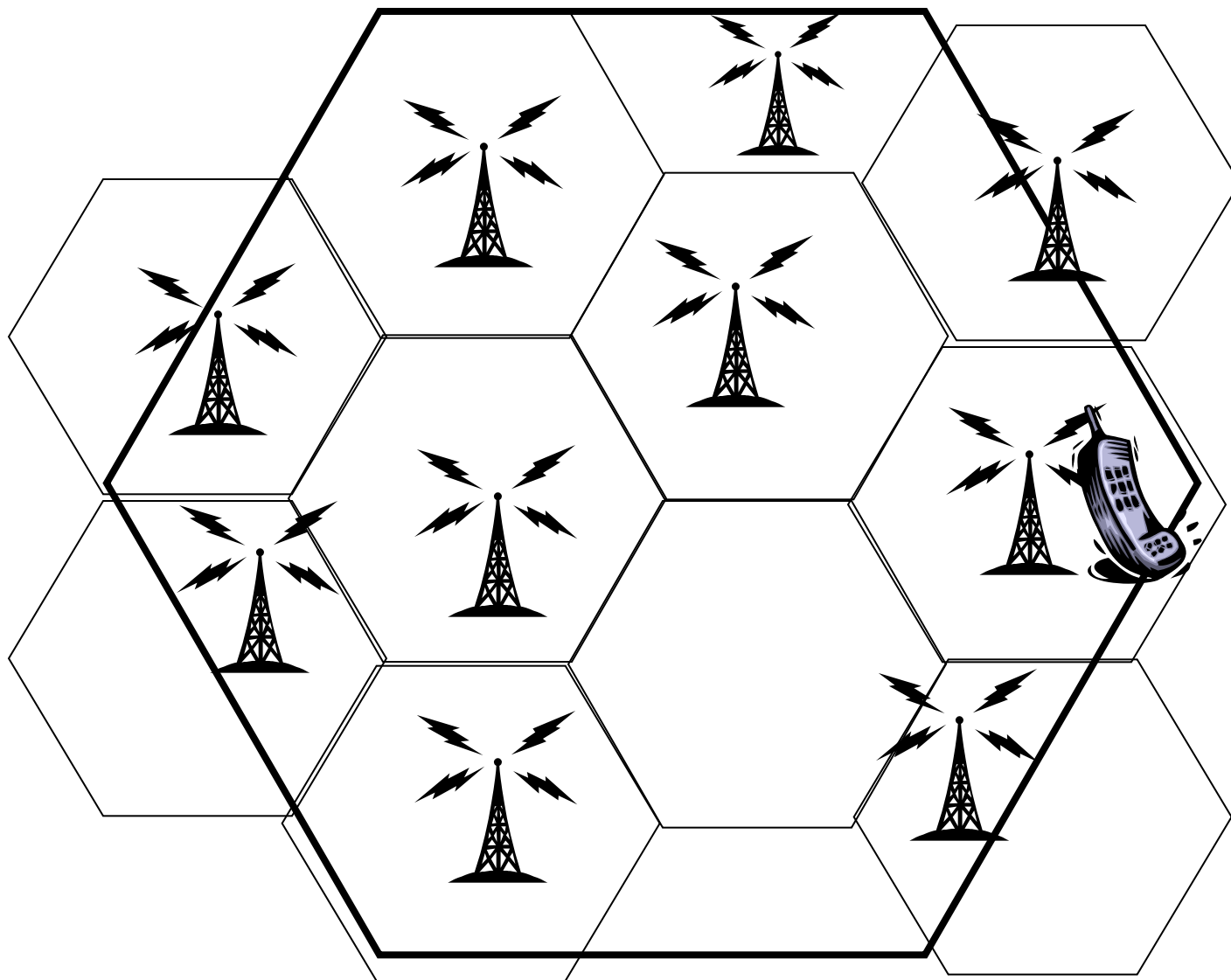
Les faisceaux hertziens sont **utilisés pour la transmission de données, de programmes TV, et les communications téléphoniques**.

Les débits peuvent atteindre 140 Mbits (environ 2000 voies téléphoniques).

# Micro-ondes terrestres



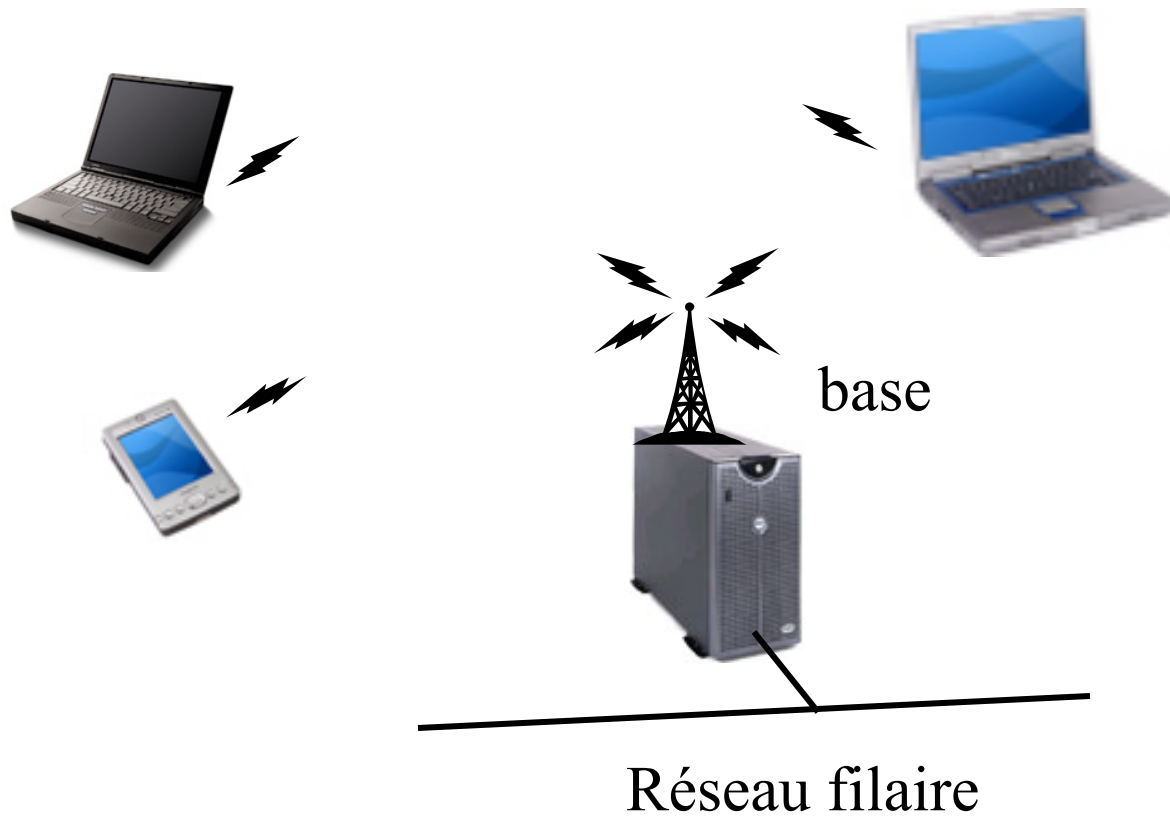
# Ondes radio



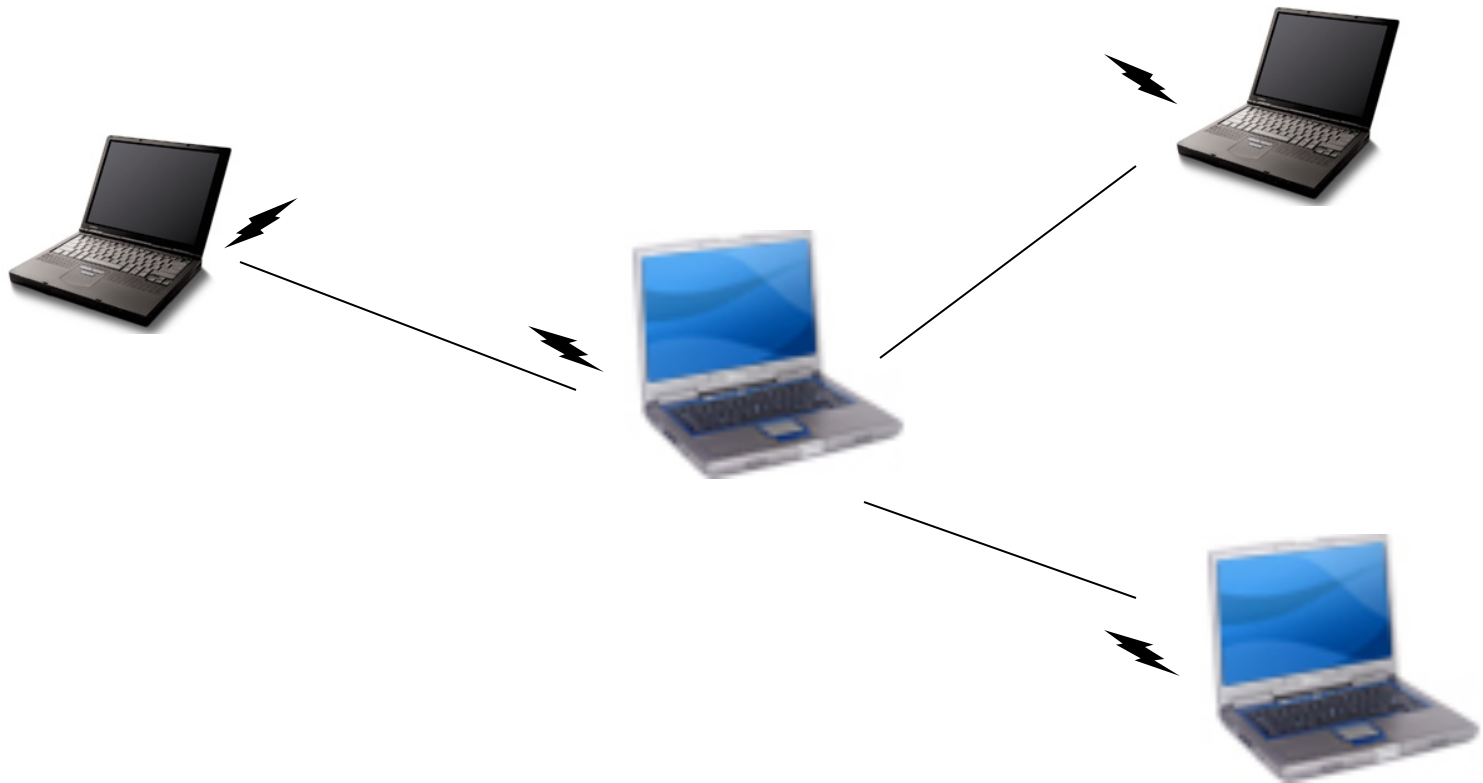
# Wifi

- Couverture
  - Pas d'antenne bidirectionnelle
  - Dépend de la structure du bâtiment ainsi que de l'interférence avec d'autres réseaux
  - Un bâtiment est équipé d'une borne wifi par étage
  - Chaque borne émet sur une plage de fréquences différente
- Débit dépend :
  - De la distance
  - Du nombre d'utilisateurs
  - Exemples :
    - 2 Mbit/s de 75 à 100 m
    - 5.5 Mbit/s de 45 à 75m

# WiFi – mode base



# WiFi – mode *ad-hoc*





# Caractéristiques des supports

- Délai de propagation

Temps nécessaire au signal pour passer d'un bout à l'autre de la ligne. Il est par conséquent proportionnel à la distance à parcourir et dépend du type du support utilisé.

$$D_{\text{pro}} = \text{Distance} / \text{Vitesse du support}$$

- Réseaux étendus :
  - Satellite : Aller/Retour est à 0.25 s
  - Fibre optique : 1 ms pour 200 km
- Réseaux locaux : quelques micro-secondes
  - Paire torsadée : vitesse de l'ordre de  $2 \cdot 10^8$  m/s

# Caractéristiques des supports

- Délai de transmission

*Délai compris entre la transmission du 1<sup>er</sup> bit et celle du dernier de l'unité de donnée. Il dépend de la taille de l'unité de donnée et de la vitesse de transmission du support physique utilisée.*

$$D_{\text{tra}} = \text{Volume (bits)} / \text{Capacité (bits/s)}$$

# Caractéristiques des supports

- Délai total

Délai total = transmission + propagation + temps de traitements des équipements traversés

- Rapport Propagation-Transmission

$$a = D_{\text{pro}} / D_{\text{tra}}$$

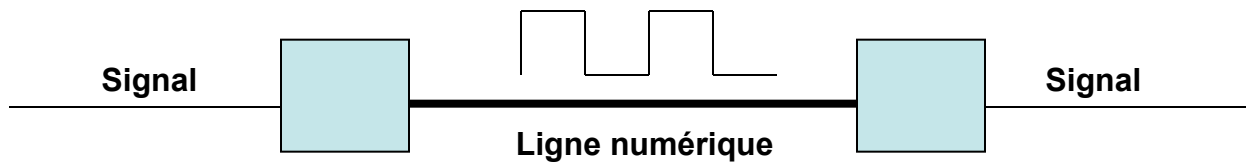
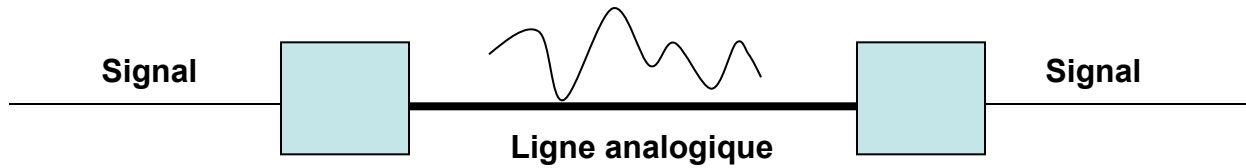
# Transmission de données

# Principe

Pour transmettre des données entre un *émetteur* et un *récepteur*, il est nécessaire d'établir une *liaison* sur une voie transmission munie d'*équipements de transmission* à ses extrémités.



# Types de transmission



# Transmission analogique

La transmission de données sur le support est dite **analogique** quand l'information peut être représentée à l'aide de **variations continues d'un même paramètre physique** (par ex : la tension par rapport à un niveau de référence).

L'information est véhiculée par un signal continu (pas discret). La **transmission analogique** ou **transmission par modulation d'une onde porteuse** consiste à utiliser un signal de base

$$y(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

# Transmission analogique

Les caractéristiques du signal peuvent être modifiées en fonction de signaux à transmettre.

On **varie un ou plusieurs paramètres** de ce signal pour propager l'information.



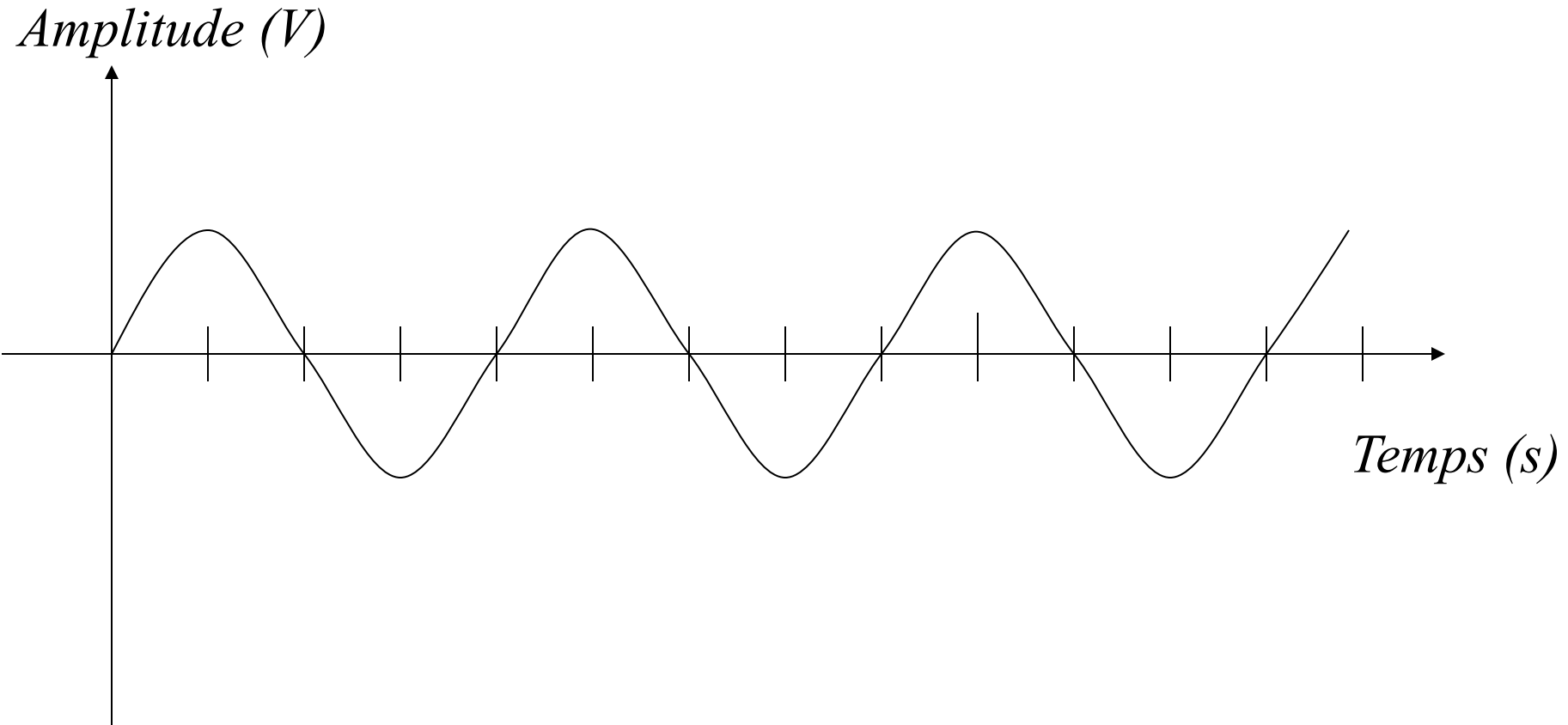
# Transmission analogique

Cette variation porte sur les paramètres suivants :

- son **amplitude** (variations sur  $A$ )
- sa **fréquence** (variations sur  $f$ )
- sa **phase** (variations sur  $\phi$ )

Cette opération est appelée **modulation**.

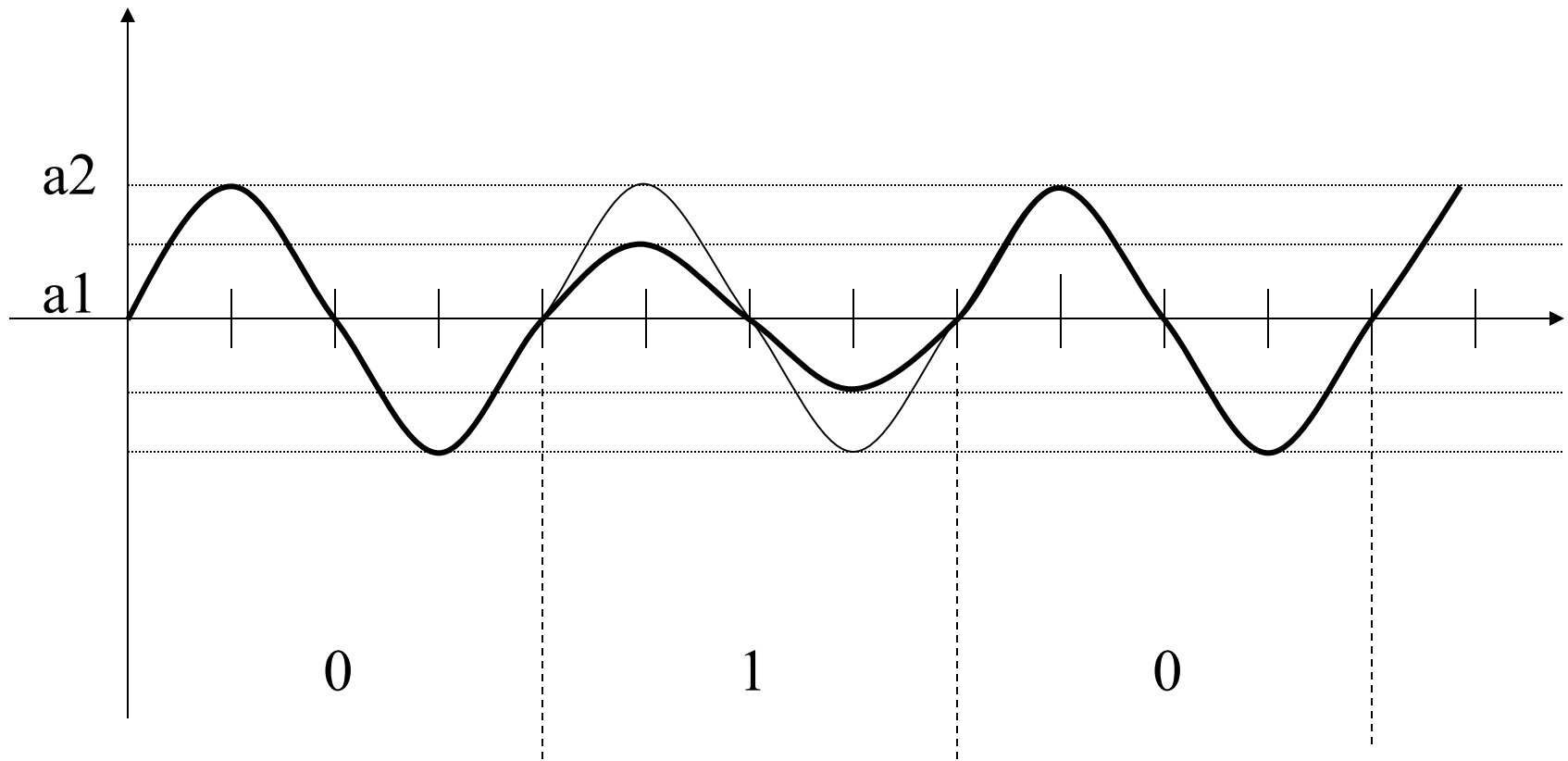
# Porteuse



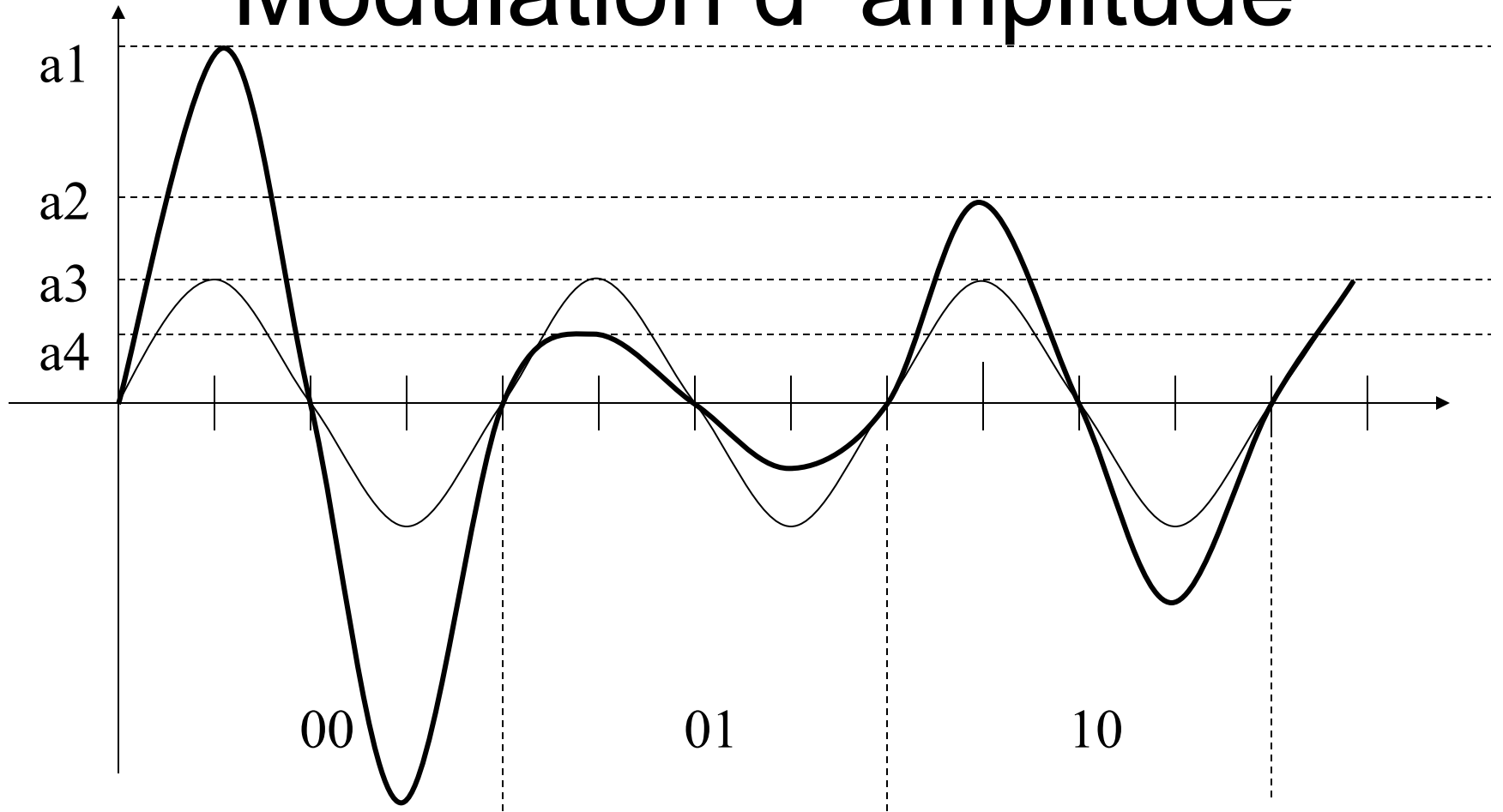
# Modulation d'amplitude

- Exemple : modulation à 2 niveaux d'amplitude
  - amplitude 1 pour coder 0
  - amplitude 2 pour coder 1
- Peu utilisée telle quelle

# Modulation d' amplitude



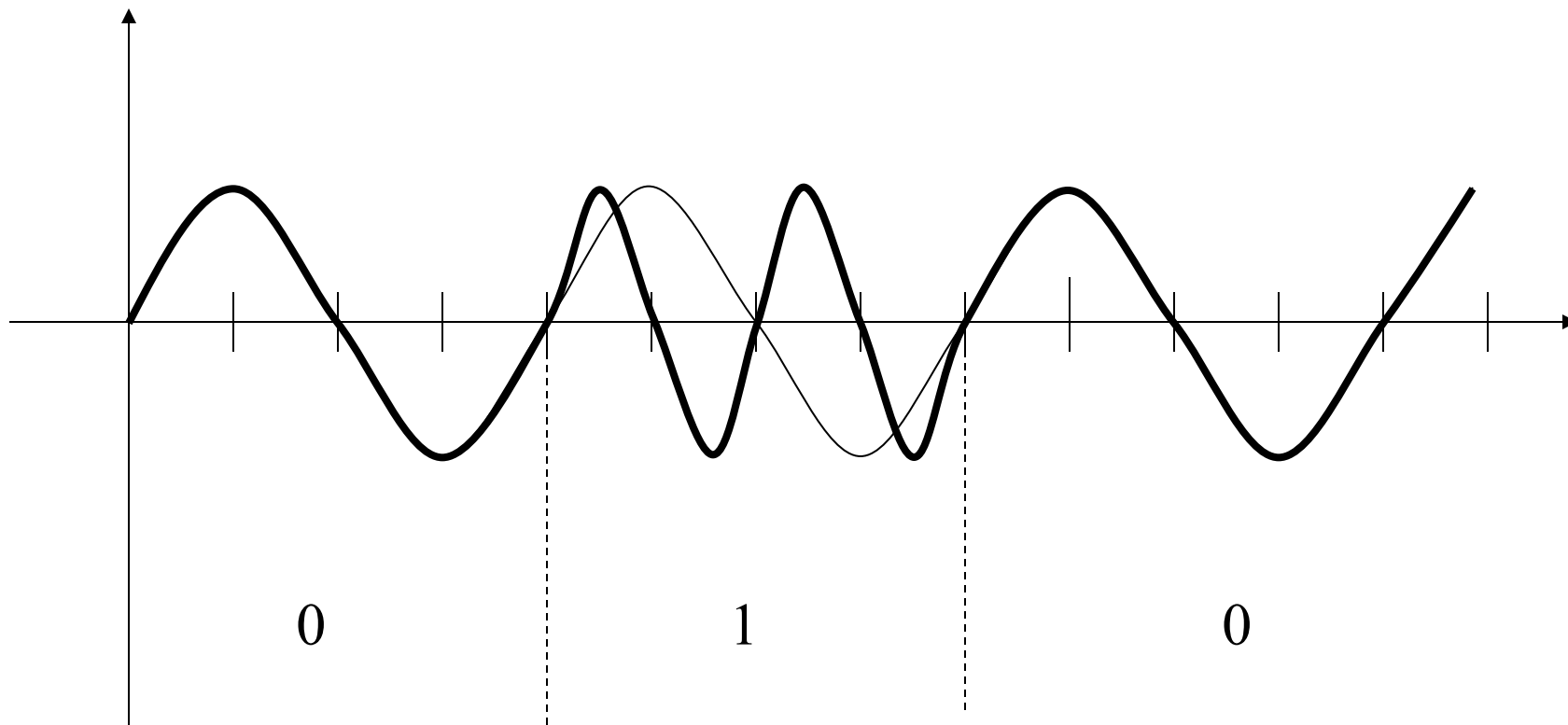
# Modulation d' amplitude



# Modulation de fréquence

- Exemple : modulation à 2 niveaux de fréquence
  - Un niveau de fréquence pour 0
  - Un niveau de fréquence pour 1
- Ce type de modulation requiert de grandes largeurs de bande passante

# Modulation de fréquence

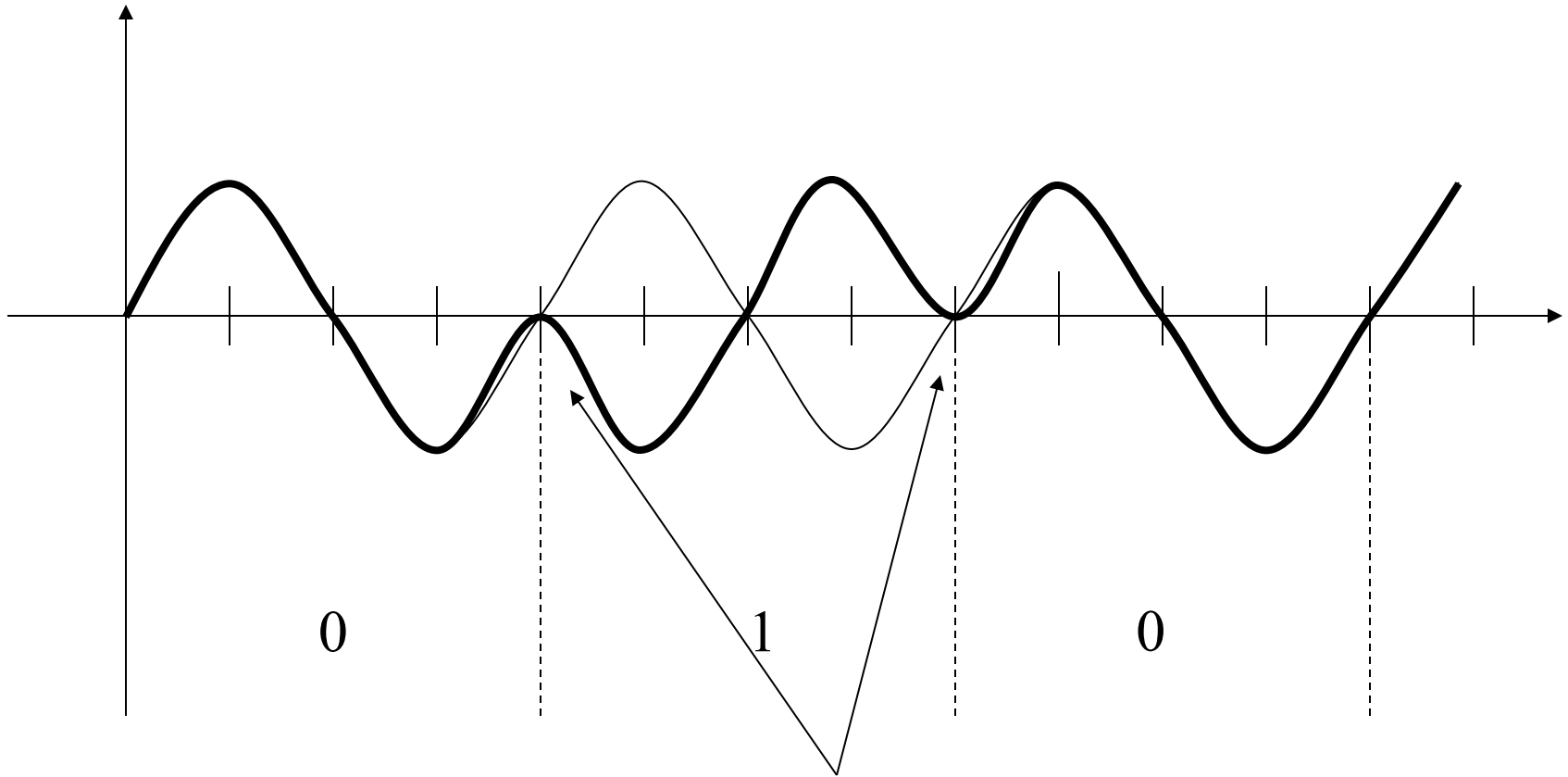


# Modulation de phase

- Exemple : modulation à 4 niveaux de phase
  - Phase de  $0^\circ$  pour 0
  - Phase de  $180^\circ$  pour 1
- La modulation de phase est la plus employée dans les modems



# Modulation de phase



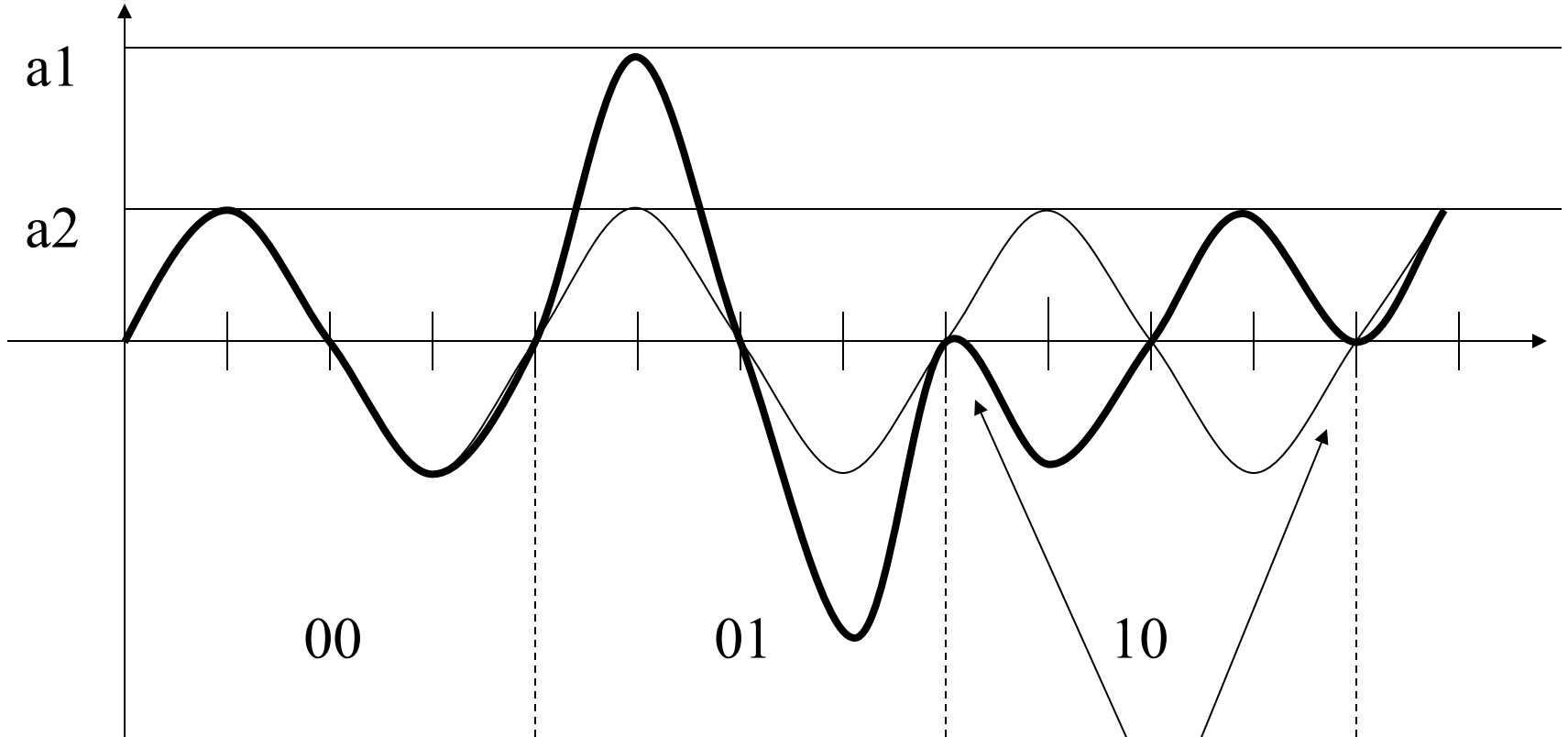
0

1

0

Déphasage de  $180^\circ$

# Combinaisons



Déphasage de  $180^\circ$

# Transmission analogique

## Affaiblissement

Le **signal est atténué au cours de sa propagation** sur le support.

Pour ce faire on **utilise des amplificateurs**.

Le **rôle d'un amplificateur** est de recevoir les signaux et de les **retransmettre à leur puissance originale**.

Malheureusement, **si des bruits sont venus altérer ces signaux, ils seront amplifiés aussi**.

# Transmission analogique

## Affaiblissement

Du fait de l' **amplification possible des bruits**, en transmission analogique, **la qualité du signal tend à se dégrader avec la distance**, même en utilisant les amplificateurs.

La **transmission analogique requiert une bande passante plus importante que la transmission numérique.**

# Transmission numérique

Elle se caractérise par le fait que les variations du paramètre physique utilisé sur le support sont discontinues et le nombre d'informations différentes (alphabet) à transmettre est fini.

On parle de **transmission binaire** dans le cas particulier où le nombre de valeurs différentes ( $\{0,1\}$ ) du paramètre physique à distinguer est égal à 2.

# Transmission numérique

Dans les transmissions numériques, les bits de données sont véhiculés sur le support de transmission sous forme d'impulsions discrètes électriques.

Lors de la progression sur le support, le signal perd de sa puissance et les impulsions se déforment : c'est l'atténuation.

On résout ce problème en utilisant des répéteurs.

# Transmission d'un signal

- Quatre situations possibles selon que
  - le signal d'origine est
    - numérique
    - ou analogique
  - et que le transfert s'effectue sous une forme
    - numérique
    - ou analogique

# Signal analogique / transfert analogique

- C' est le cas de la transmission du son et de l' image télédiffusés.
- Une technique de modulation est utilisée.



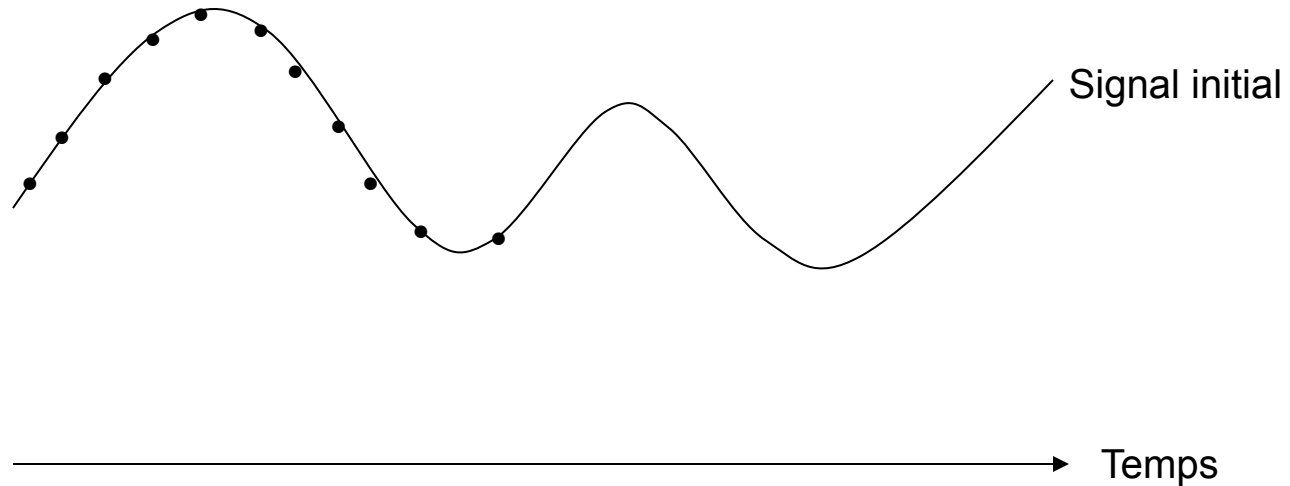
# Signal analogique / transfert numérique

- C' est le cas du réseau téléphonique Numéris
- Il s' agit de la « Numérisation » du signal au moyen d' une conversion analogique-numérique en émission et d' une conversion inverse en réception
- Trois opérations sont nécessaires à l' émission :
  - Échantillonnage
  - Quantification
  - Codage

# Numérisation

## - Echantillonnage

Elle consiste à prélever périodiquement des valeurs du signal analogique (discrétisation).



# Numérisation

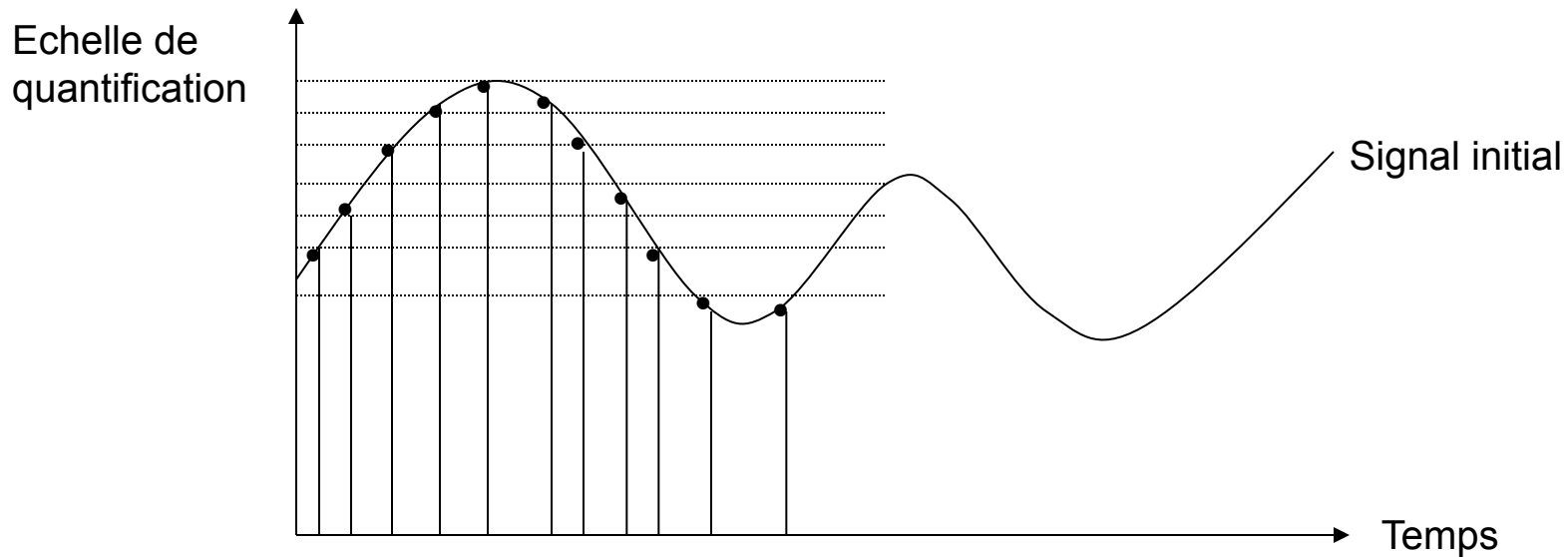
## Théorème de Shannon

–  $F_e \geq 2 * F_{max}$

- La fréquence d'échantillonnage  $F_e$  doit être au moins le double de la fréquence maximale  $F_{max}$  du signal à échantillonner

# Numérisation

- **Quantification** : représenter les valeurs échantillonnées par des valeurs numériques dans une échelle de quantification.  
*L'amplitude de chaque échantillon est quantifiée.*



# Numérisation

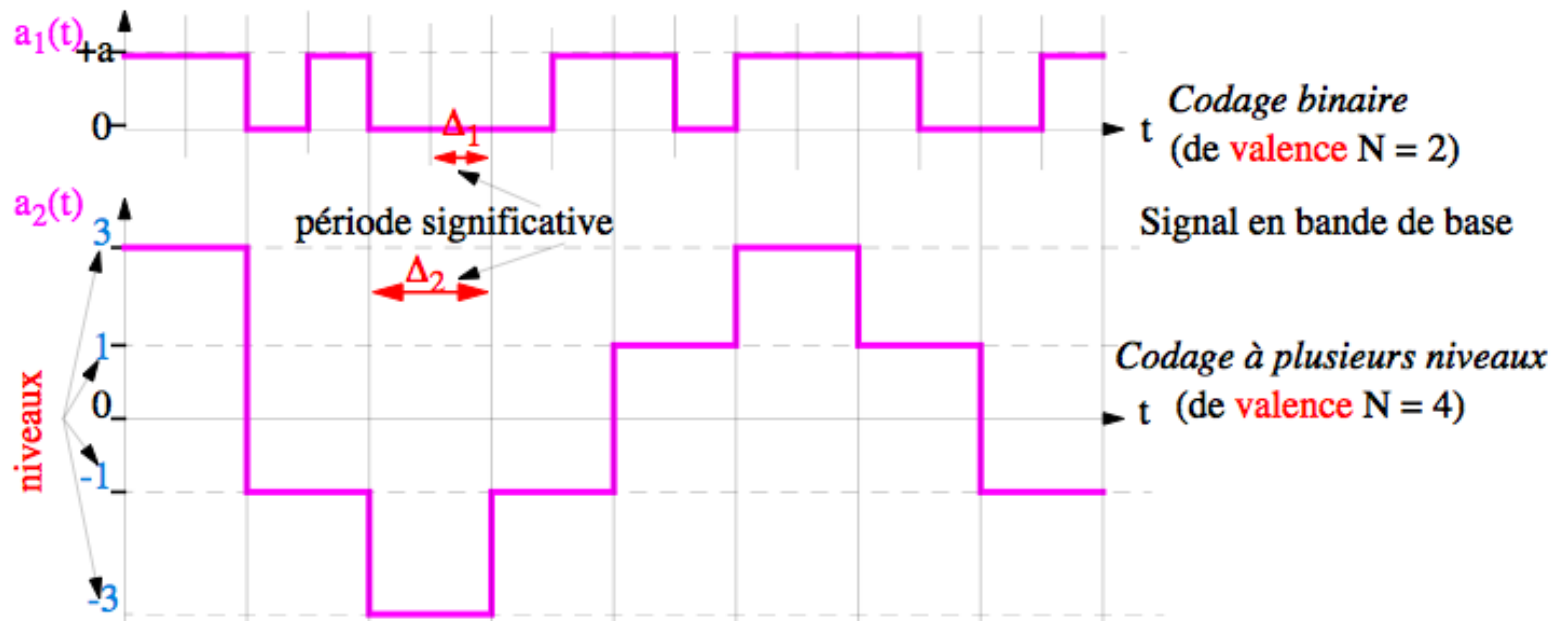
- **Codage** : remplacer la suite de valeurs (issues de la quantification) par une suite binaire.

Si  $q$  est le nombre de valeurs, ou niveau de quantification,  $q = 2^n$  avec  $n$  le nombre de bits pour coder toutes les valeurs possibles.

Le codage le plus connu est le **codage MIC (Modulation par Impulsion et Codage)** : utilisé pour la numérisation de la voix.

# Exemples de codage

$\{d_k\} = (1\text{---}1\text{---}0\text{---}1\text{---}0\text{---}0\text{---}0\text{---}1\text{---}1\text{---}0\text{---}1\text{---}1\text{---}1\text{---}0\text{---}0\text{---}1)$  suite binaire initiale



# Le MIC

## Numérisation de la voix (en téléphonie)

- Modulation par Impulsion Codées
- Il s'agit de la technique de numérisation la plus répandue
- Le signal vocal ( $F_{max} \leq 4000 \text{ Hz}$ ) est échantillonné toutes les  $125 \mu\text{s}$ , ( $1/f$ )
- La fréquence d'échantillonnage est donc  $F_e = 8000 \text{ Hz}$
- chaque échantillon est codé sur 8 bits,
- $8000 * 8 = 64 \text{ Kbit/s}$   
(débit nécessaire pour transmettre la voix par un signal numérique)

# Signal numérique / transfert analogique

- Utilisation de modems
- Ceux-ci permettent d'adapter le signal au moyen d'une conversion numérique-analogique par modulation en émission et d'une conversion inverse par démodulation en réception



# Signal numérique / transfert numérique

- Utilisation de codeurs
- Ceux-ci permettent d'adapter le signal au moyen d'un codage en bande de base.

# Exemple : Modem

La *modulation* consiste à transformer une suite binaire en signal physique en faisant varier une de ces caractéristiques :

- ✓ Amplitude
- ✓ Phase
- ✓ Fréquence

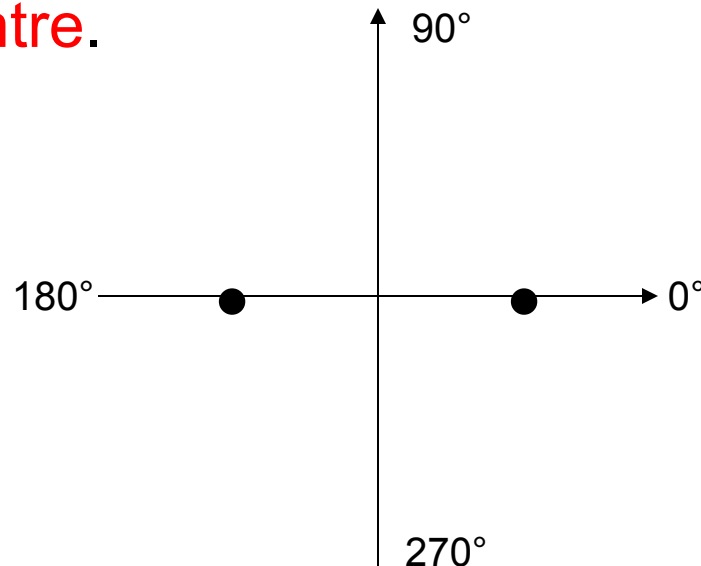
La *démodulation* est l'opération inverse.

- ✓ Modem : Modulateur / Demodulateur
- ✓ Modulation combinée : variation sur plusieurs caractéristiques (en général phase et amplitude)

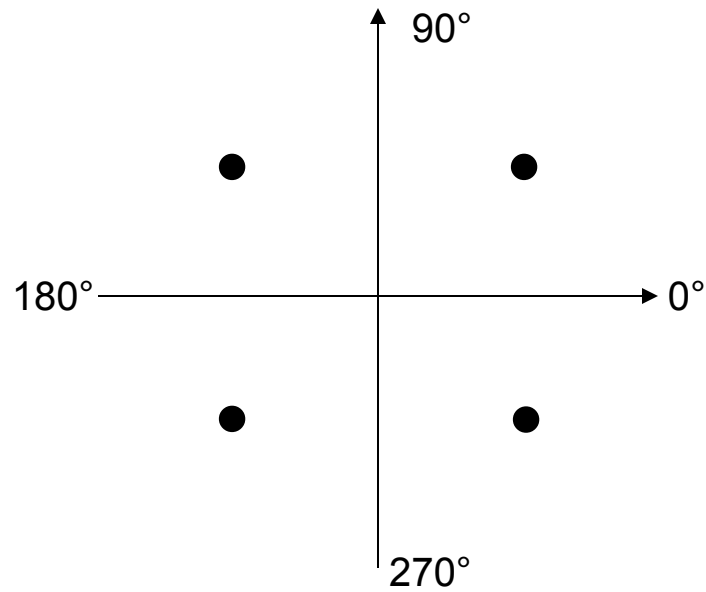
# Diagramme spatial

Représentation de l'onde (amplitude + phase) dans le plan :

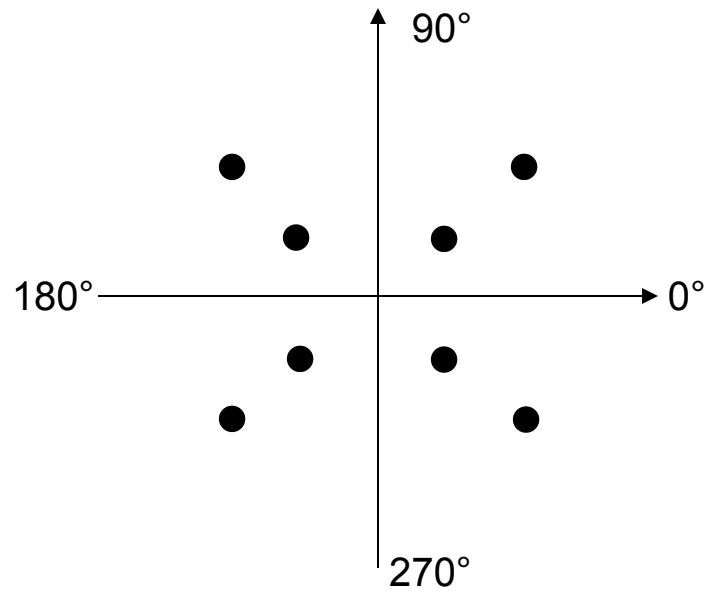
- ✓ La porteuse est représentée comme une **seule ligne dont la longueur est égal à l'amplitude du signal.**
- ✓ Cette ligne **tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.**



# Diagramme spatial



# Diagramme spatial



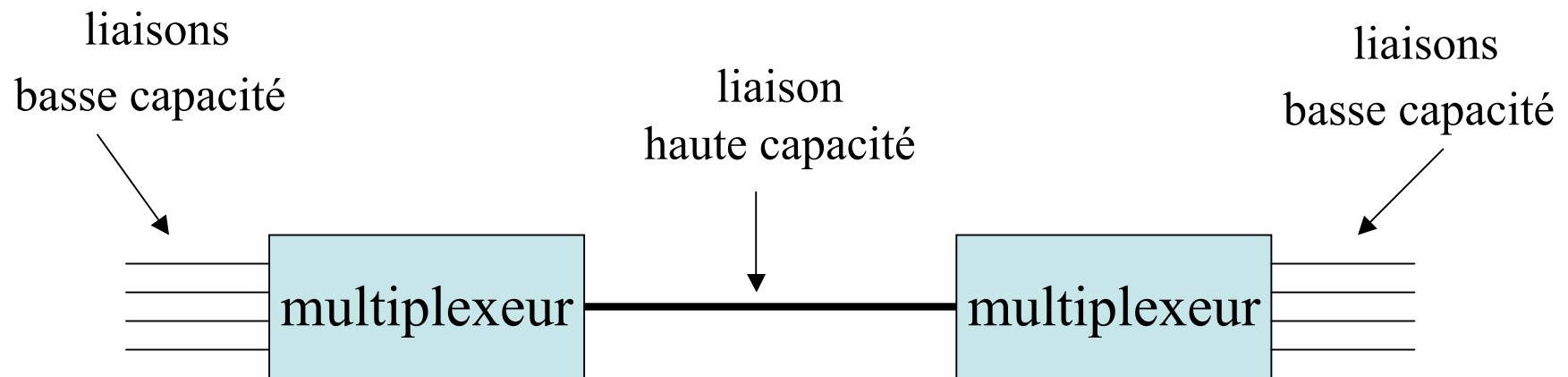
# Modems normalisés

- La plupart des modems : 2400 bauds
- **QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying)
  - 4 points dans le diagramme → 2 bits par modulation
- **QAM** (Quadrature Amplitude Modulation)
  - QAM-16 (4 bits), QAM-64(6 bits)
- **V.32** à 9600 bps et **V.32bis** à 14400 bps (modem fax)
  - 32 points → 5 bits et 128 points → 7 bits
- **V.34** à 28800 bps et **V.34bis** à 33600 bps

# Multiplexage

# Principe

- Partager le même canal de communication.



- Intérêt : point de vue économique.



# Types de multiplexage

- Le partage de la ligne à haut débit peut être effectué par une technique de :
  - Multiplexage fréquentiel  
(FDM : Frequency Division Multiplexing)
  - Multiplexage temporel  
(TDM : Time Division Multiplexing)

# Multiplexage fréquentiel

- La bande passante de la ligne à haut débit est divisée en sous-bandes à l'aide de techniques de modulation et de filtrage.
- Pour limiter les interférences, une bande de garde est nécessaire entre chaque canal.
- Ce type de multiplexage est utilisé :
  - pour la transmission de signaux analogiques,
  - par câble ou voie hertzienne,
  - pour des applications telles que le téléphone, la radio ou la télévision.

# Exemple : RTC

- Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

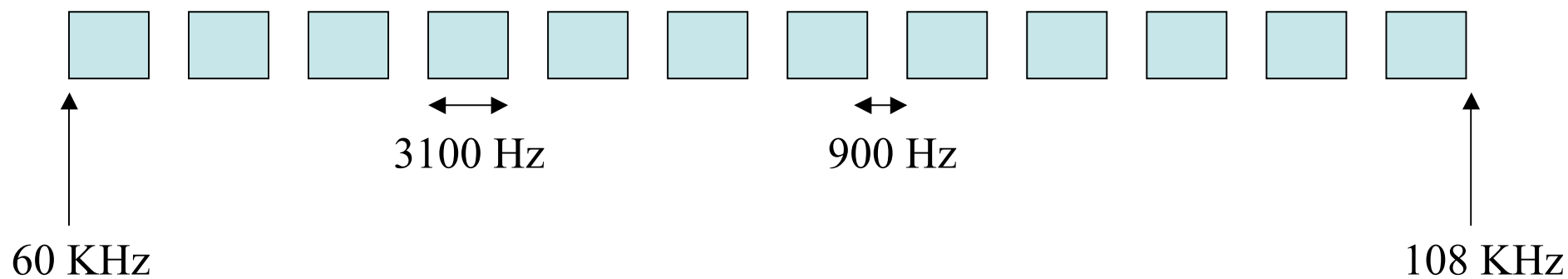
Le groupe de base comporte 12 bandes de 4kHz

Chaque canal téléphonique a une bande de fréquences d'environ 3kHz (300-3400Hz)

Les bandes sont donc décalées de 4kHz pour éviter les recouvrements : 900 Hz de séparation entre chaque sous-bande

# Exemple : RTC

- Le groupe primaire du RTC correspond à un multiplexage de 12 voies.



# Exemple : RTC

- Le RTC possède une structure hiérarchique donnée par le tableau suivant :

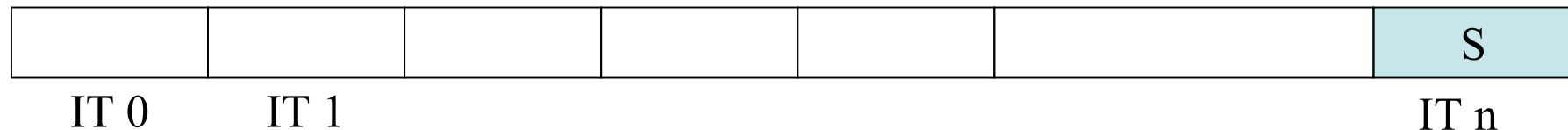
Groupe	Nombre de voies	Bande passante
primaire	12	60-108 khz
secondaire	60 (12*5)	312-552 khz
tertiaire	300 (60*5)	812-2044 khz
quaternaire	900 (300*3)	8616-12338 khz

# Multiplexage temporel

- La bande passante de la ligne à haut débit est affectée périodiquement à chaque ligne à bas débit pendant des intervalles de temps (IT) constants.
- Ce type de multiplexage est utilisé :
  - pour la transmission de signaux numériques,
  - En considérant la possibilité de transmettre 1 bit ou 1 caractère par IT.

# Multiplexage temporel (suite)

- On utilise une trame de multiplexage (multiplex) qui regroupe plusieurs IT dont :
  - Un IT pour la synchronisation
  - Des IT des voies BC



Nb IT selon l'attribution pour les voies BV

# Synchronisation de la transmission



# Mode de transmission

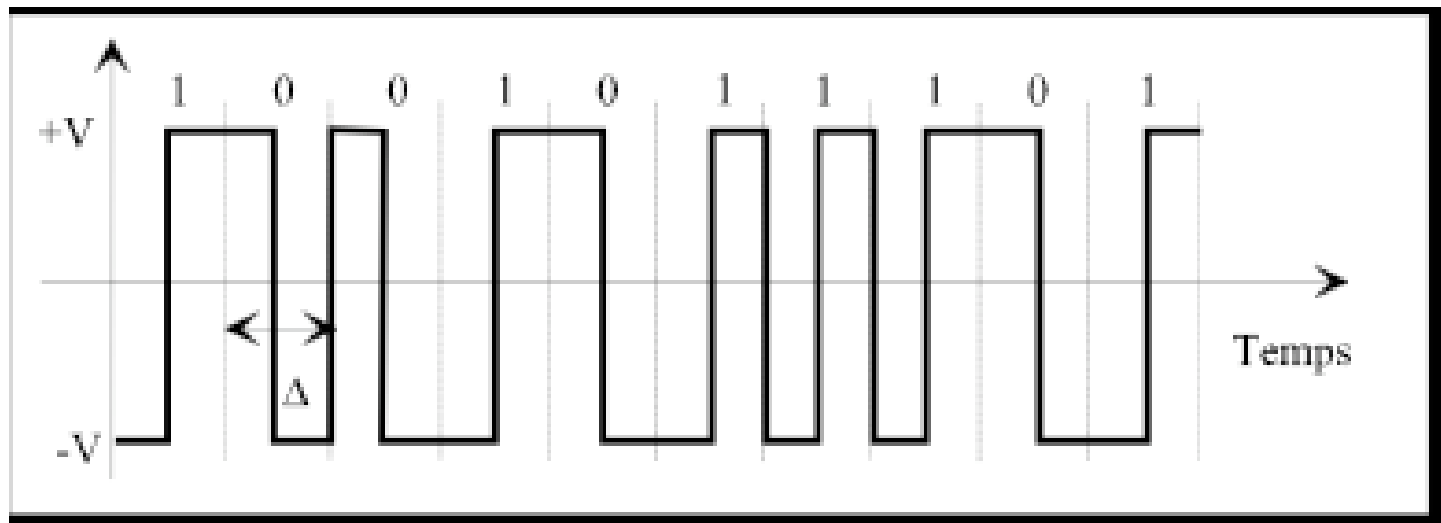
- Mode de base ou bande de base
  - On transmet directement l'information binaire à l'aide de signaux pouvant prendre  $n$  valeurs ( $n$  est la valence).
  - Le débit dépend de la **bande passante** et la **valence**
- Modulation
  - L'information codée sert à modifier un ou plusieurs des paramètres (amplitude, fréquence, phase) d'un signal sinusoïdal appelé **onde porteuse**.
  - Utilisé sur les lignes téléphoniques à travers les Modems

# Exemples de codage en bande de base

- Le code Manchester
  - Le niveau logique **0** provoque le passage de **+V** à **-V** au milieu du moment élémentaire.
  - Le niveau logique **1** provoque le passage de **-V** à **+V** au milieu du moment élémentaire.

# Exemples de codage en bande de base

- Le code Manchester

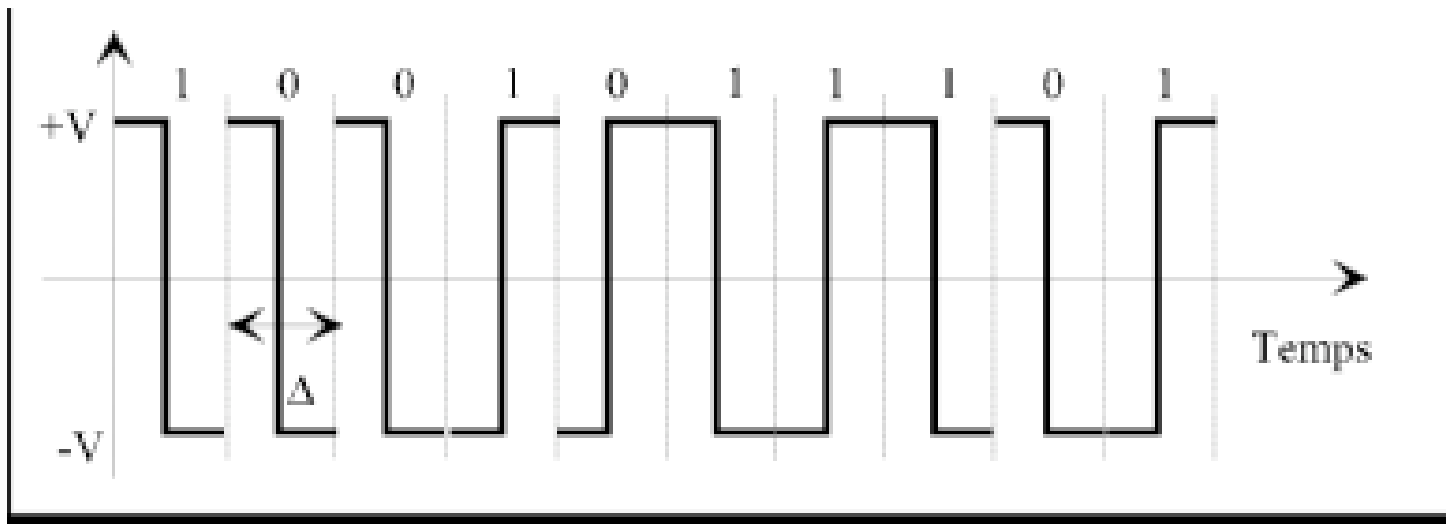


# Exemples de codage en bande de base

- Le code Manchester différentiel
  - Le niveau logique 0 du moment élémentaire  $t$  recopie le signal du moment élémentaire  $t-1$ .
  - Le niveau logique 1 du moment élémentaire  $t$  inverse le signal du moment élémentaire  $t-1$ .

# Exemples de codage en bande de base

- Le code Manchester différentiel



# Synchronisation

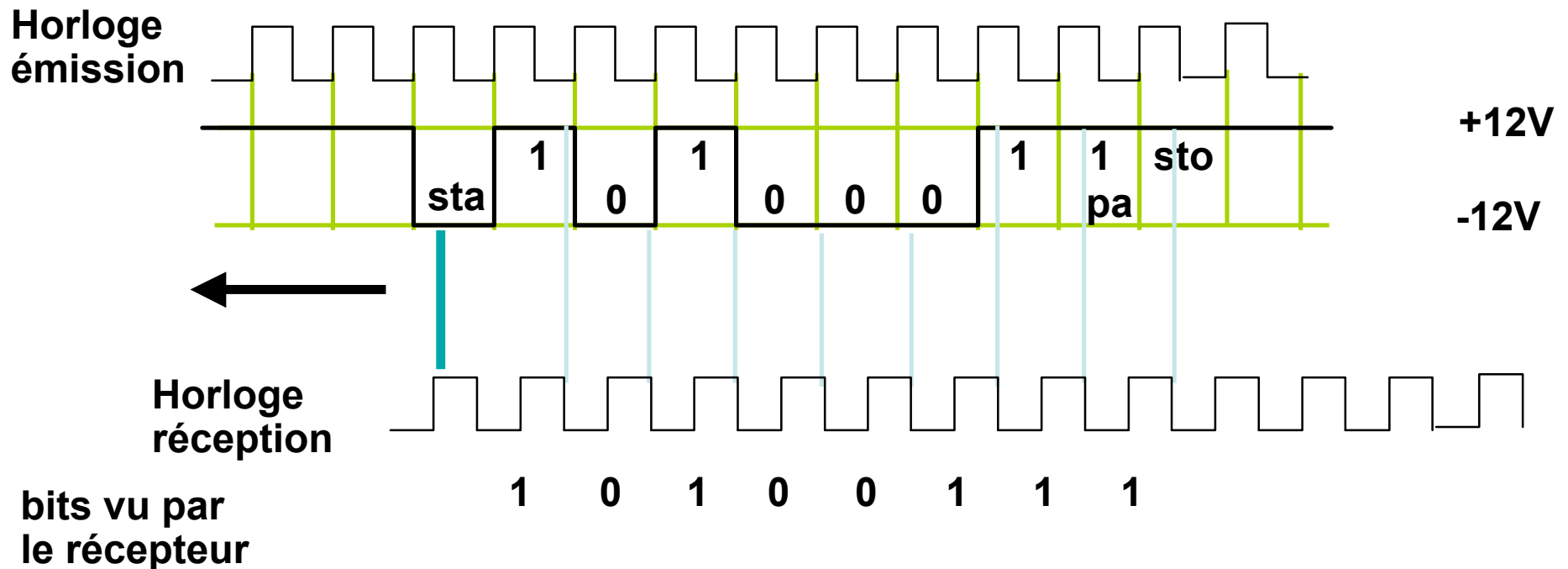
- But
  - Assurer que le récepteur prélève l'information aux instants où le signal est significatif. Il s'agit donc essentiellement de synchronisation temporelle
- Méthode synchrone
  - Emetteur et récepteur ont le même référentiel temporel qui détermine les instants significatifs de **dépôt** et de **retrait** des bits.
  - Le référentiel temporel appelé **horloge** est un signal de synchronisation le plus souvent fourni par l'émetteur.

# Synchronisation

## Méthode asynchrone

- Emission caractère par caractère.
- 3 types d'information : 1 bit de Start, la donnée, 1 ou plusieurs bits(s) de stop.
- Le récepteur détecte l'arrivée d'un octet par le changement de niveau correspondant au bit *start*. Il échantillonne ensuite chaque intervalle de temps  $D$  au rythme de son horloge.
  - Exemple : Une horloge de réception à 10kHz signifie que le récepteur peut échantillonner le signal 10000 fois par seconde. Si l'émetteur envoie à  $D$  bps alors le signal reçu est échantillonné tous les  $10000/D$  (**coefficient de synchronisation**)

# Asynchronisme



Transmission du caractère ASCII E, en binaire 1000101, en commençant par les bit de poids fort, bit à 0  $\Leftrightarrow$  +12V, à 1  $\Leftrightarrow$  -12V, parité paire ajoutée en fin de transmission.

Mauvaise synchro+horloge un peu différente  $\Rightarrow$  le récepteur voit 1100101(e). La parité est incorrecte.

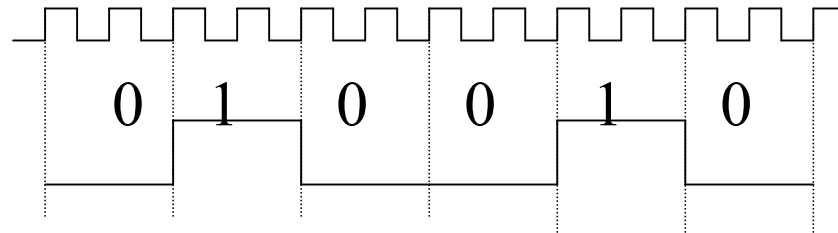


# Synchronisation

## Exemple pour le mode asynchrone

- Codage simple : bas pour 0 et niveau haut pour 1
- 010010 à 9600 bps

Horloge récepteur à 19.2 kHz



# Synchronisation

## Echantillonnage pour le mode asynchrone

- L'échantillonnage se fait sur les fronts montants de l'horloge de réception.
- Afin de ne faire qu'un échantillon par bit, on cherche à échantillonner au centre des bits. Le centre des bits (1/2 temps bit) est en effet le moment le plus sûr pour échantillonner la valeur correcte du bit.
- **Exemple précédent** : l'échantillonnage du 1/2 temps bit doit se faire au 2ème front montant pour 9600 bps.

