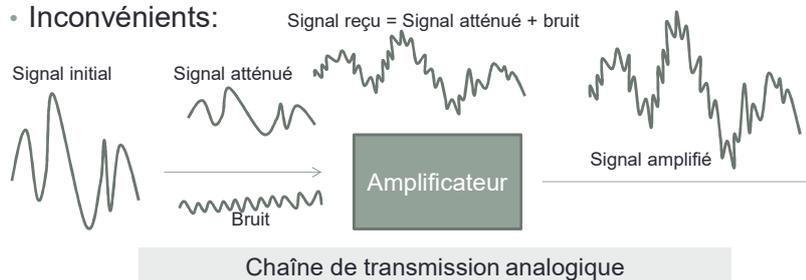


1.4

Transmission Analogique/Numérique
Intérêt de la transmission numérique

Transmission d'un signal analogique

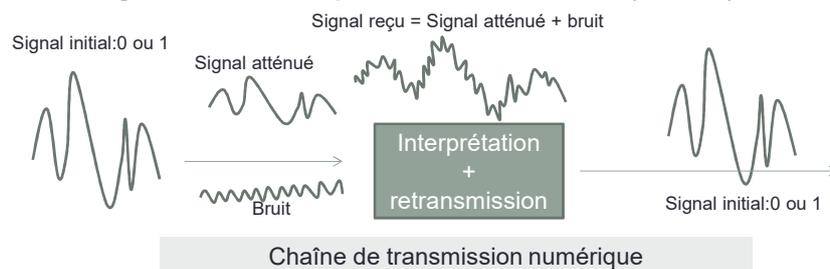
- Une information/signal analogique peut être transmis directement sur le support
 - Si son spectre se trouve dans la bande passante
- Exemple : le son sur la boucle locale (téléphone)
- Inconvénients:



L'atténuation du signal oblige l'utilisation d'amplificateurs. Ils amplifient l'amplitude du signal d'entrée. Lors d'une transmission analogique sur de longues distances, il peut y avoir plusieurs amplificateurs. Ceux-ci amplifient le signal et ses défauts: le bruit, la distorsion, etc. La réception finale peut alors être dégradée.

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)



Lors d'une transmission numérique, des motifs/signaux correspondent à des valeurs binaires (0 ou 1 pour le plus simple). Les relais décodent le signal (0 ou 1) et retransmettent le motif. Il n'y a donc pas d'amplification ni de dégradation de l'information. La seule erreur possible est l'ambiguïté sur un signal reçu (erreur binaire: un 0 a été interprété comme un 1 ou inversement).

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-5G)
 - Les sons et les images (MP3, MPEG 4, etc.)

Questions de cours / QCM

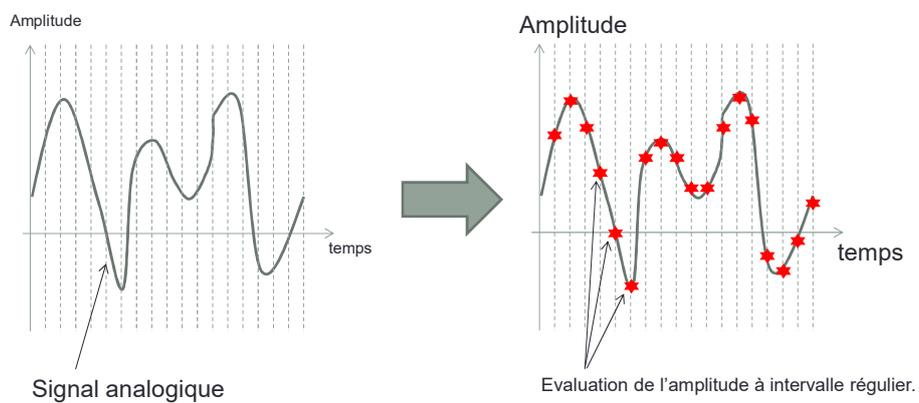
- Quels sont les défauts de la transmission analogiques?
- Le débit dépend de la Bande Passante et de la vitesse de propagation sur le support physique.
- Quels sont les intérêts de la transmission numérique? 3 réponses.

1.5

Transmission numérique:
échantillonnage - codage

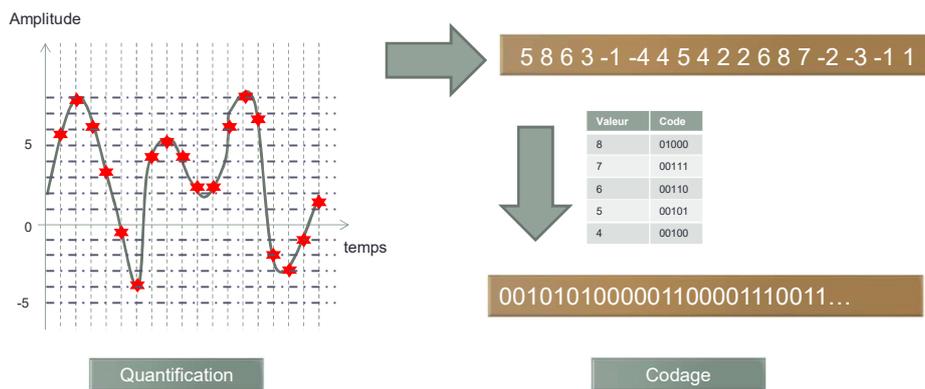
Principe de la numérisation

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



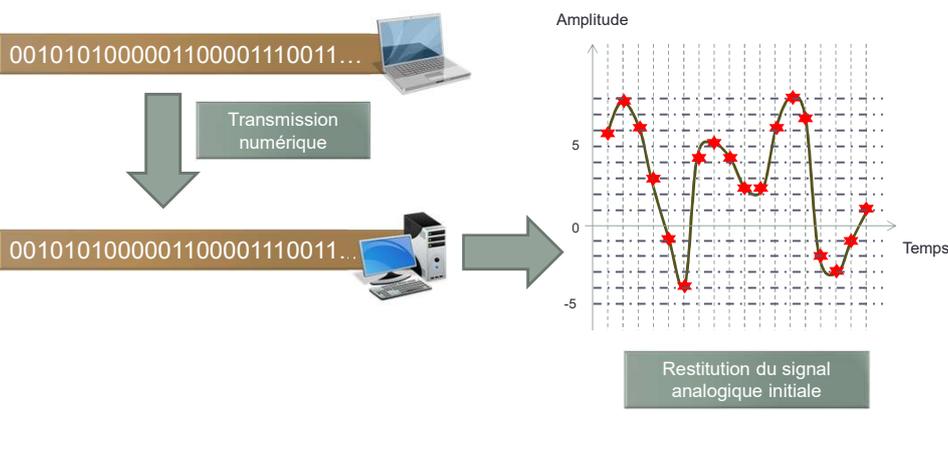
Principe de la numérisation

- Quantification: les valeurs d'amplitudes sont mesurés et comparer à une échelle discrète.
- Codage: codage en binaire des valeurs mesurés (par rapport à une échelle)



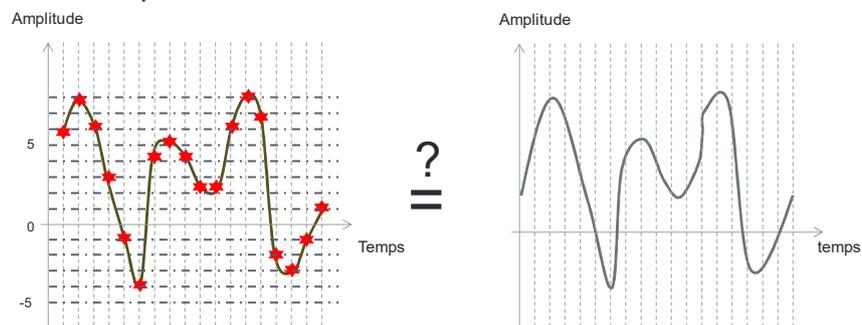
Transmission et restitution

- Quantification: les valeurs d'amplitudes sont codés par rapport à une échelle discrète.



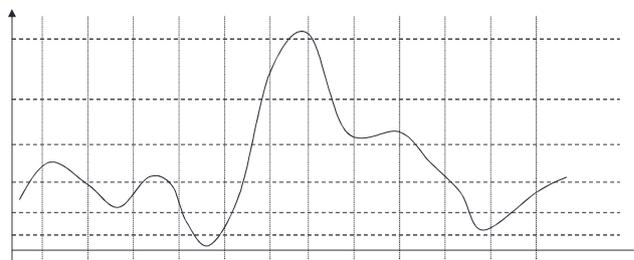
Qualité de la numérisation

- La qualité de la numérisation dépend de deux facteurs:
 - Le nombre d'échantillons par seconde
 - La finesse de l'échelle
- Qualité arbitraire (aussi fine que l'on veut)
- Limité par le volume / débit

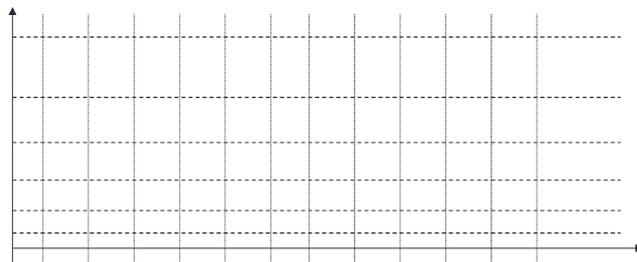


Exercice

- Numérisez le signal de voix suivant. Une échelle logarithmique vous est donnée.
 - Combien de valeurs prend elle?
 - Sur combien de bits un échantillon est codé?
 - Donnez la suite binaire correspondant à ces échantillons.
- Reconstituez le signal original à partir de la suite binaire.



Réponses

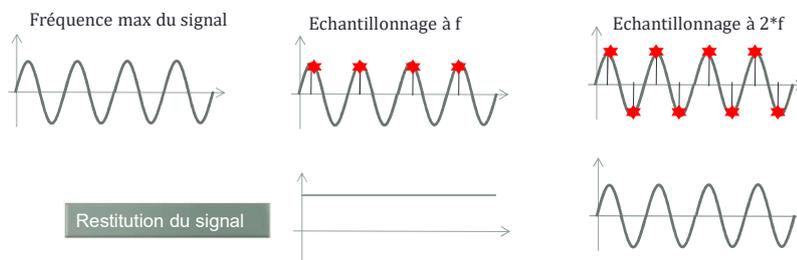


Echantillonnage et Théorème de Shannon

- La fréquence d'échantillonnage est le nombre de fois où le signal est évalué par seconde.

Théorème de Shannon:

Un signal de fréquence maximal f doit être échantillonné à une fréquence supérieure à $2 * f$.



Exemple 1.5.1

1. Quelle doit être la fréquence d'échantillonnage d'un signal analogique dont le spectre est [10Hz, 1500Hz]?
2. Quelle doit être la fréquence d'échantillonnage de la voix?
3. Quelle doit être la fréquence d'échantillonnage d'une chanson / de la musique?
4. Quelle est le débit binaire pour ces deux numérisations sachant que les échelles sont de 256 valeurs (voix), et 512 valeurs (musique)?

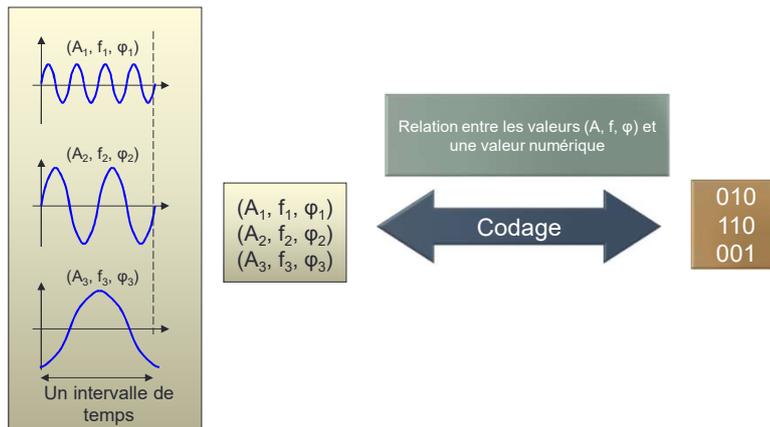


1.7

Transmission numérique: modulations complexes

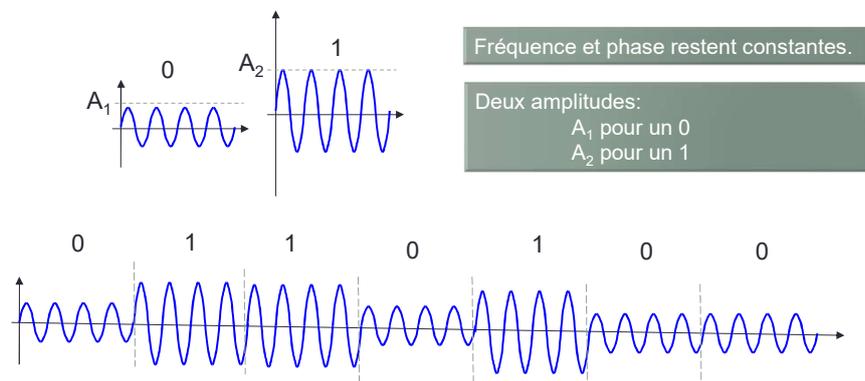
Modulation et codage

- Principe de base:
 - Le temps est divisé en intervalle de taille fixe
 - Le signal est modulé dans chaque intervalle



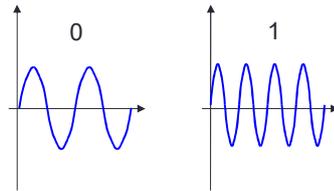
Modulation d'amplitude

- Une porteuse est transmise. Il s'agit d'une onde sinusoïdale de fréquence donnée.
- La valeur binaire est donné au travers de l'amplitude crête.



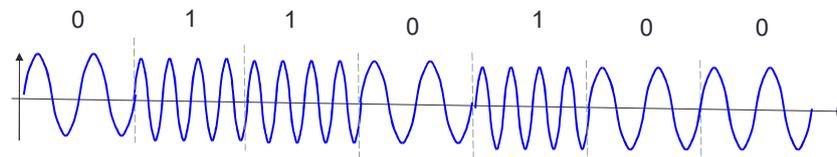
Modulation de fréquences

- La valeur binaire est donné au travers de la fréquence du signal.



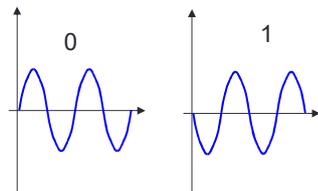
Amplitude et phase restent constantes.

Deux amplitudes:
 f_1 pour un 0
 f_2 pour un 1



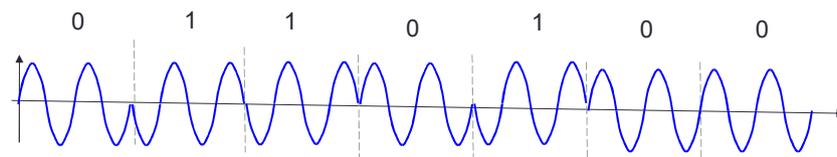
Modulation de phases

- La valeur binaire est donné au travers de la fréquence du signal.



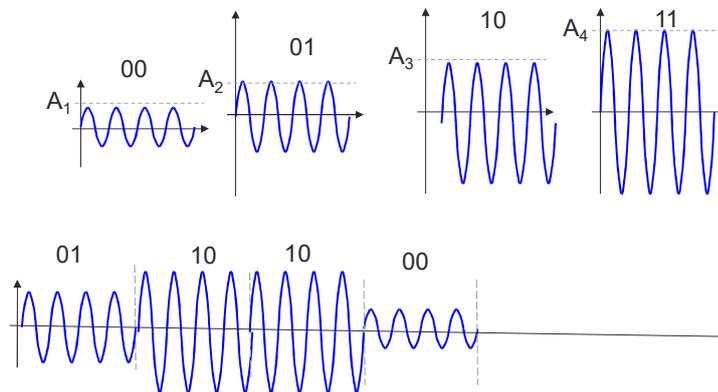
Fréquence et amplitude restent constantes.

Deux phases:
 φ_1 pour un 0 ($\varphi_1=0$)
 φ_2 pour un 1 ($\varphi_2=\pi$)



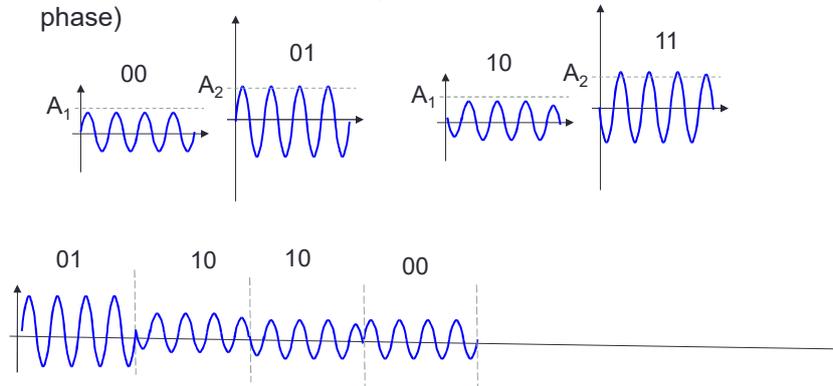
Modulation complexe

- Il est possible d'augmenter le débit au travers de modulations plus complexes
 - 4, 8, 16, ... valeurs d'amplitudes/fréquences/phases



Modulation complexe (2)

- Il est possible d'augmenter le débit au travers de modulations plus complexes
 - Combinaisons de plusieurs types de modulation (ex: amplitude + phase)



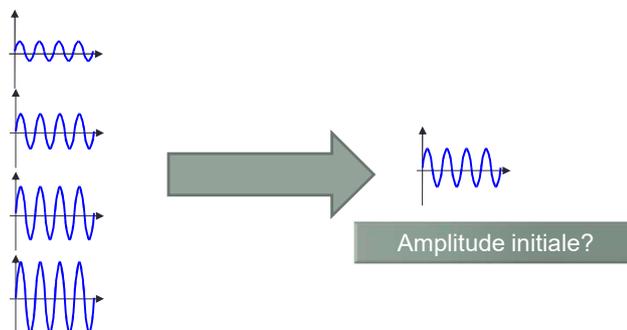
Valence d'un code

- Valence d'un code: nombre de valeurs possibles d'un symbole
- Valeurs (A , f , φ) différentes possibles
- Si le nombre de valeurs possibles est:
 - 2: 0 ou 1
 - 4: 00, 01, 10 ou 11.
 - 8: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 ou 111
- La valence est généralement de la forme 2^n .
- Valence = 2^n implique n bits codés par symbole.

Nombre de bits du code = \log_2 (Valence)

Limite de la modulation complexe

- Le débit peut être arbitrairement grand si l'on considère des modulations de plus en plus complexe
- Limite physique fixer par la capacité à interpréter les symboles en réception.
- Exemple:



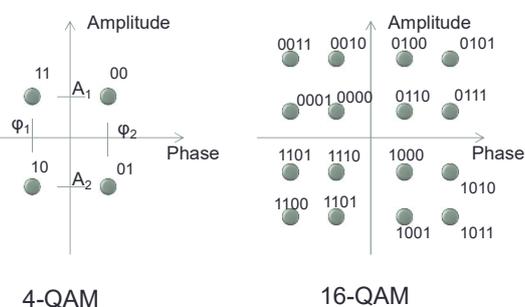
Exemple 1.7.1

1. Donnez les 4 symboles correspondant à une modulation complexe de phase.
2. On considère une modulation complexe à 4 phases et 2 amplitudes:
 - a. Décrire les symboles.
 - b. Combien de bits sont envoyés par symbole?
 - c. Si la ligne de transmission à une vitesse de 1000 bauds, quel est le débit binaire?
 - d. Donnez le signal pour la transmission de la chaîne binaire suivante:

001101110000010

Modulation complexe en pratique

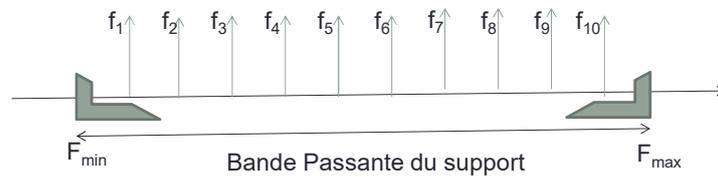
- Quelques exemples:
 - BPSK (Binary Phase Shift Keying)
 - Modulation phase et amplitude : 4-QAM / 16-QAM / 64-QAM / etc.
 - QAM: Quadrature Amplitude Modulation



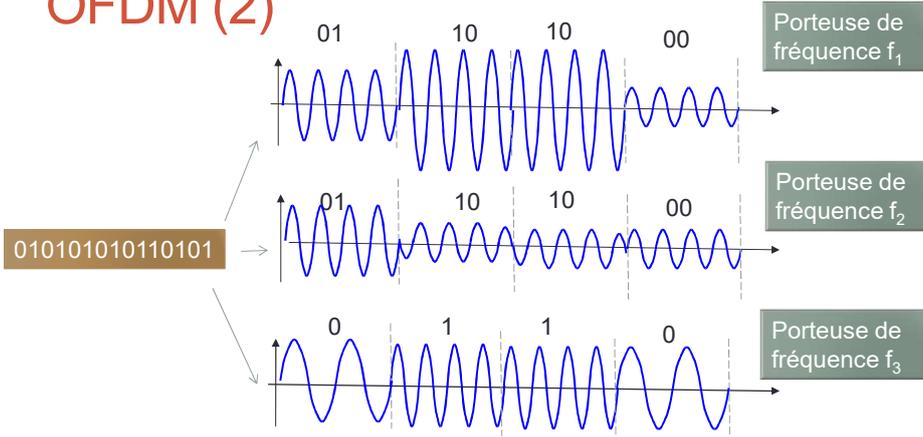
Les constellations sont une représentation de la modulation utilisée et des valeurs binaires associés. Chaque point indique la phase et l'amplitude d'un symbole et sa valeur binaire.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- Utilisation efficace de la bande passante
- Division de la bande passante: utilisation de plusieurs porteuses
- Chaque sous porteuse est modulé



OFDM (2)



Les bits à transmettre sont envoyés sur les différents porteuses en parallèle.
Les modulations peuvent être différentes d'une porteuse à l'autre.

OFDM: applications

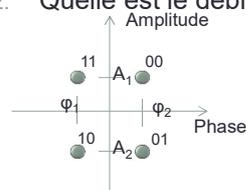
- Les technologies utilisant l'OFDM:
 - ADSL:
 - 256 sous porteuses: 16 porteuses sens montant, 224 sens descendant
 - Les modulations dépendent de la qualité de la ligne (atténuation, etc.), et donc le débit aussi.
 - Il existe des versions symétriques (SDSL) pour les entreprises.
 - L'ADSL2+ utilise 511 porteuses, les nouvelles se trouvant dans la bande [1,1MHz ; 2,2MHz].

L'asymétrie des sous porteuses (le A de ADSL) est fait pour offrir un débit nettement supérieure au *download* par rapport à l'*upload*. Ils correspondent aux besoins des particuliers mais pas toujours des entreprises. .

- Wi-Fi / WiMax
- LTE (4G)
- Etc.

Exemple 1.7.2

- Donnez les symboles correspondant à la constellation suivante.
 1. Quelle est la valence du code ?
 2. Quelle est le débit si la ligne est de 5000 bauds ?



$$A_1 = 1V \quad A_2 = 2V \quad \varphi_1 = \pi/2 \quad \varphi_2 = 3\pi/2$$

- On suppose l'utilisation de l'OFDM sur 256 porteuses.
 - 50 sont utilisés pour l'upload. Les autres sont utilisés pour le download.
 - La moitié des porteuses utilise une modulation QAM-16, l'autre moitié QAM-64 (moitié/moitié pour chaque sens).
 - La vitesse de chaque porteuse est de 200 bauds
- 3. Quel est le débit montant et descendant (en Mbit/s)?

Exercice

- Représenter la suite binaire 1010011001...
 - en modulation de fréquence,
 - en modulation d'amplitude
 - et en modulation de phase (180°).