

# Modulations Numériques

Cours systèmes de communications

M1 SMART'COM

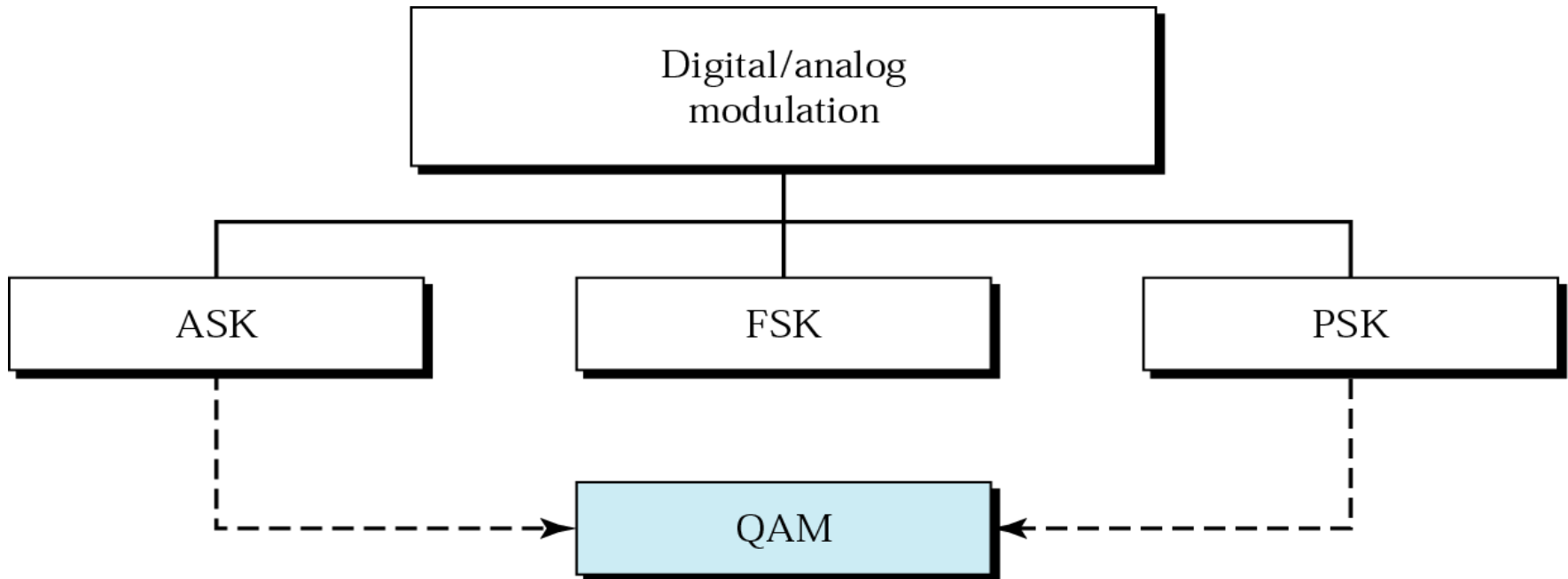
# Généralités

- **Objectif** : associer à des données (numériques) un signal physique adapté au canal de transmission.
- 2 types de transmission:
  - transmission en bande de base : le spectre du signal physique contient la fréquence nulle et les basses fréquences  $\Rightarrow$  Codage en ligne ou Modulation en Bande de Base
  - transmission sur fréquence porteuse : le spectre du signal physique est dans une bande de fréquences centrée sur la fréquence porteuse  $\Rightarrow$  Modulations (en bande transposée)

# Critères de choix d'une modulation

- minimisation de l'occupation spectrale (largeur de bande) pour un débit binaire donné ;
  - minimisation de la probabilité d'erreur dans un environnement de transmission donné (notamment, le SNR) ;
  - maximisation de l'efficacité spectrale (rapport entre le nombre de bits transmis par seconde et la largeur de bande utilisée)
  - complexité des circuits en émission et réception ;
  - immunité par rapport aux perturbations (amplificateurs à saturation, phénomène d'évanouissement,...)
- ⇒ compromis à trouver entre simplification des équipements et performances

# Types de modulations numériques



# Définitions

- Valence : c'est le nombre de symboles discernables utilisés par le signal. Si la valence vaut  $v$  alors chaque symbole code  $\log_2 v$  bits.
- Rapidité de la modulation / bit rate : c'est le nombre de changement d'états (de symboles) par seconde, noté par la suite  $M$ . Elle s'exprime en baud. Chaque modulation correspond à un symbole.
- Débit binaire / bit rate : c'est le nombre de bits transmis par seconde, soit  $D = M * q$  où  $q$  est le nombre de bits codés par une modulation (i.e. un symbole).

# Exemple

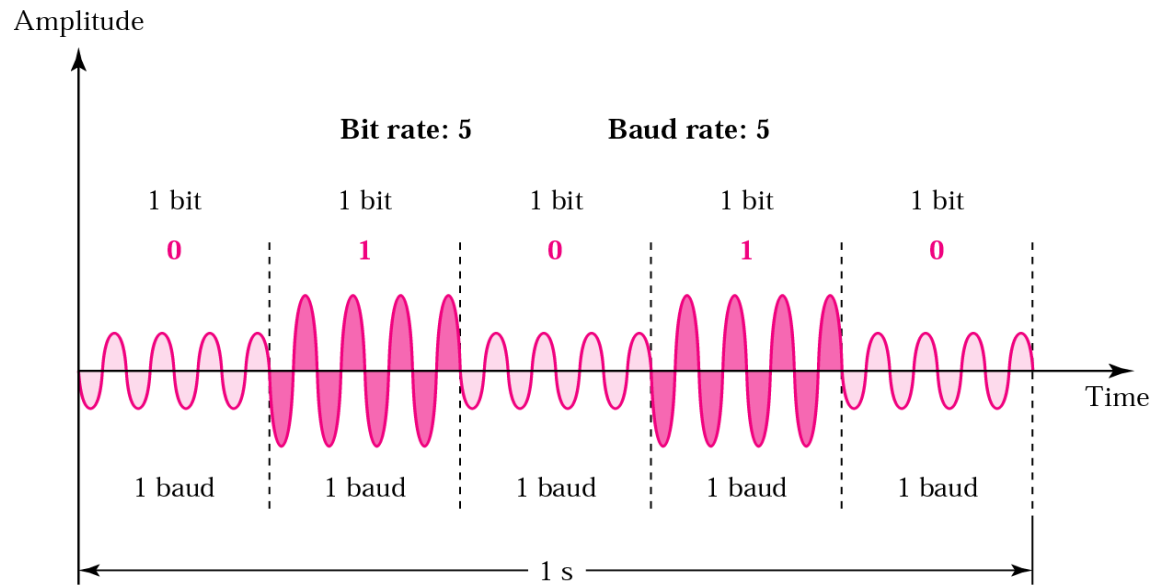
- On considère un canal de transmission numérique de débit binaire 9600 bits/s.
- Quelle rapidité de modulation est nécessaire
- Quelle doit être la valeur minimale du rapport  $S/B$ , si la largeur de la bande passante de la liaison est de 1000 Hz, afin d'obtenir ce même débit binaire?
- Quel serait la réponse aux précédentes questions si le signal était quadrivalent au lieu de bivalent ?

# Solution

- *Signaux transmis sont binaires => rapidité de modulation = débit binaire = 9600 bits/s.*
- *Par Shannon  $C = F \log_2(1+S/N)$  donc **9600 = 1000  $\log_2(1+S/N)$  et  $S/N = 775$  d'ou  $S/B = 29$  dB***
- *Si la valence est 4, chaque valeur du signal sur le canal de transmission peut être utilisé pour transporter 2 bits. Donc le débit binaire est deux fois plus élevé que la rapidité de transmission. rapidité de modulation = **4800 bauds  $S/N = 10^{(4.8 \log(2))} - 1 = 26.85$  donc  $S/B = 14.3$  dB***

# Modulation d'amplitude

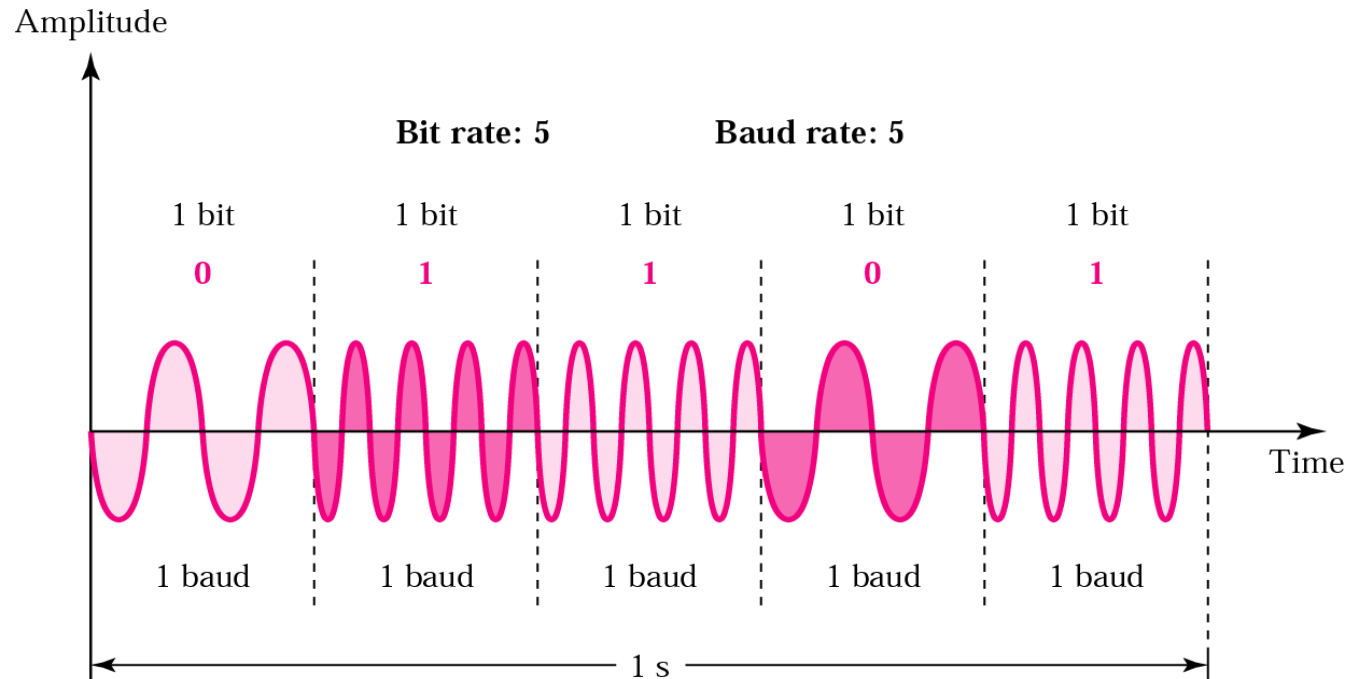
$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{pour } 1 \\ 0 & \text{pour } 0 \end{cases}$$



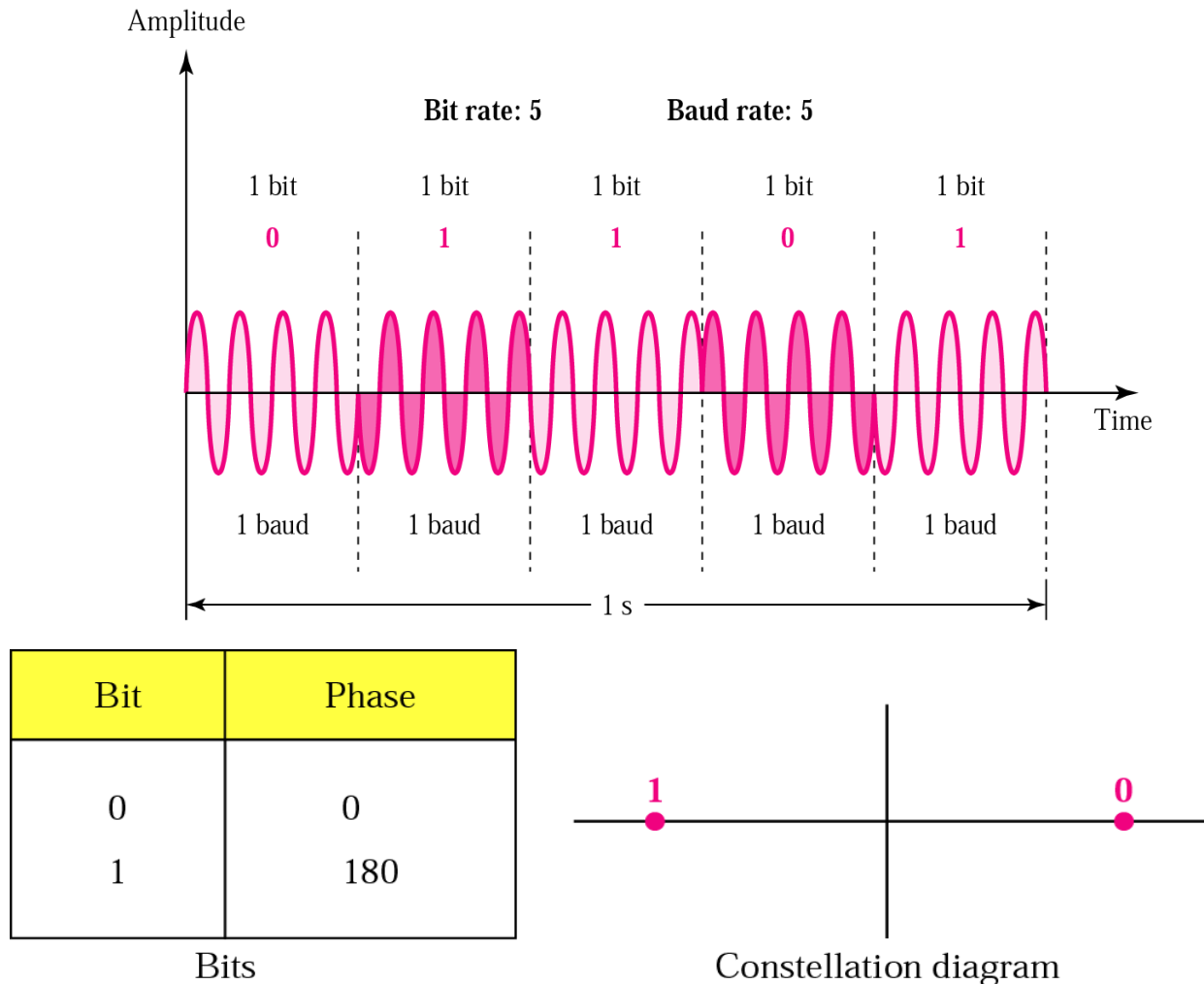


# Modulation de fréquence

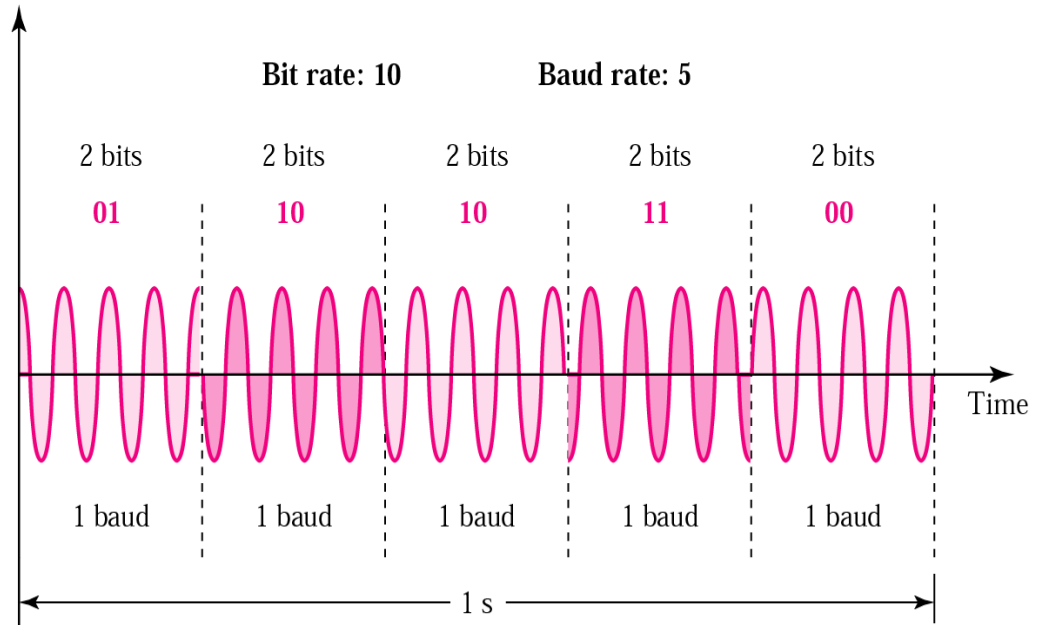
$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & \text{pour } 1 \\ A \cos(2\pi f_2 t) & \text{pour } 0 \end{cases}$$



# Modulation de Phase

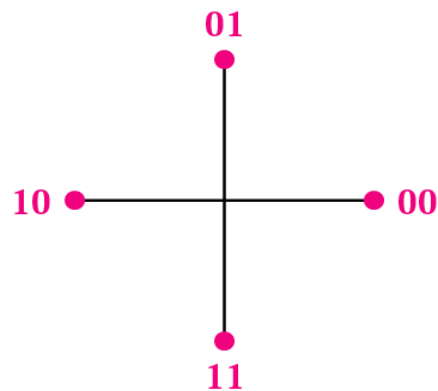


Amplitude



Dibit	Phase
00	0
01	90
10	180
11	270

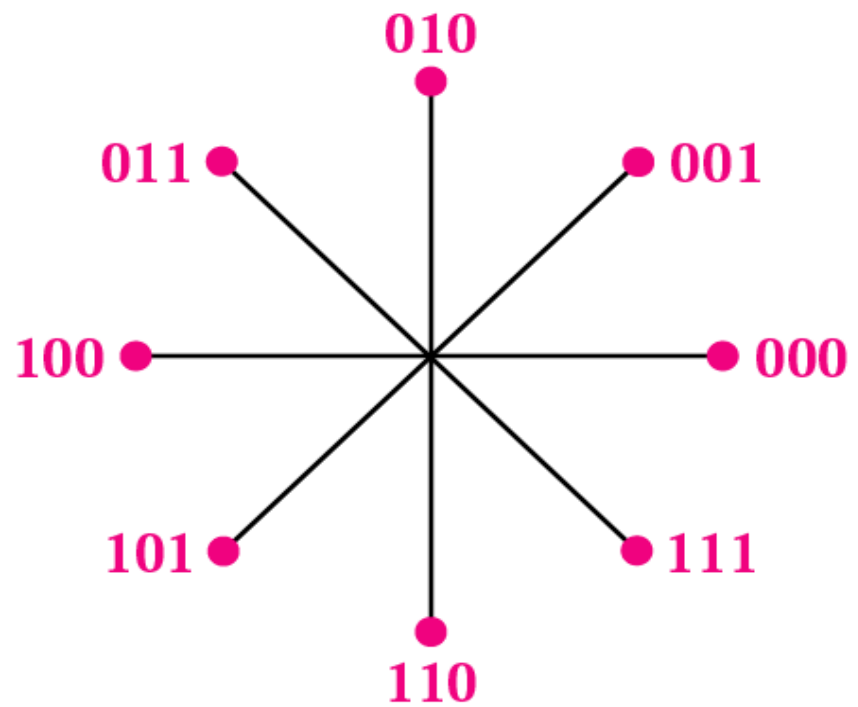
Dibit  
(2 bits)



Constellation diagram

Tribit	Phase
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

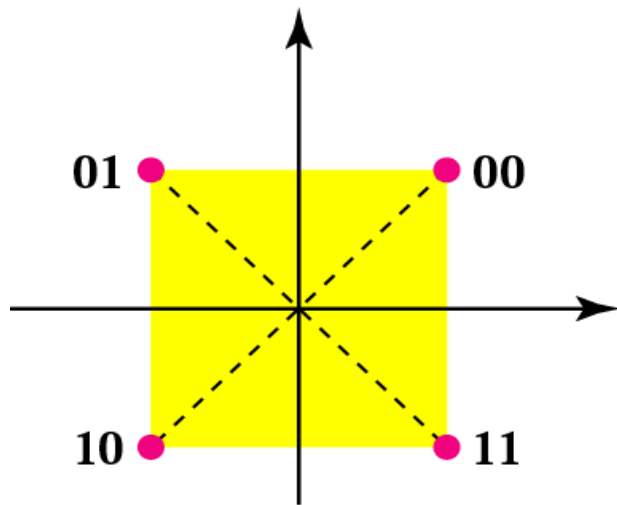
Tribits  
(3 bits)



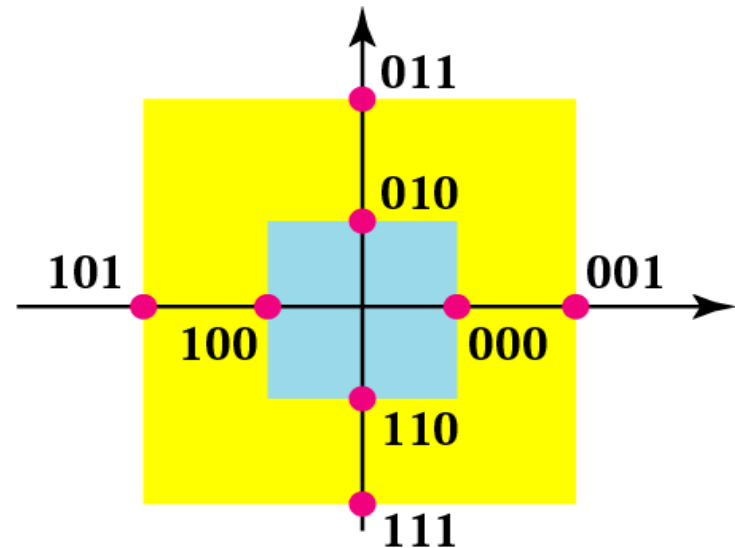
Constellation diagram

# Modulations Phase/amplitude (QAM)

Généralement  $\# \text{ phases} > \# \text{ d'amplitudes}$



4-QAM  
1 amplitude, 4 phases



8-QAM  
2 amplitudes, 4 phases

Modulation	Units	Bits/Baud	Baud rate	Bit Rate
ASK, FSK, 2-PSK	Bit	1	N	N
4-PSK, 4-QAM	Dibit	2	N	2N
8-PSK, 8-QAM	Tribit	3	N	3N
16-QAM	Quadbit	4	N	4N
32-QAM	Pentabit	5	N	5N
64-QAM	Hexabit	6	N	6N
128-QAM	Septabit	7	N	7N
256-QAM	Octabit	8	N	8N

# Questions

- Un diagramme de constellation est constituée de huit points uniformément espacés sur un cercle. Si le débit est de 4800 bps, quelle est la vitesse de transmission?
- Quel est le débit binaire pour un signal 16-QAM 1000 bauds.
- Calculer la vitesse de transmission pour un signal 72.000 bps-64-QAM.



# Réponses

1. La constellation indique une modulation 8-PSK (45 degrés d'espacement).  $2^3 = 8$ , 3 bits sont transmis par symbole .  
alors, le baud rate is  $4800 / 3 = 1600$  baud
2. A 16-QAM signal has 4 bits per signal unit since ( $\log_2 16 = 4$ ).  
Alors  $(1000)(4) = 4000$  bps
3. 64-QAM signal has 6 bits symbole ( $\log_2 64 = 6$ ) .  
donc,  $72000 / 6 = 12,000$  baud