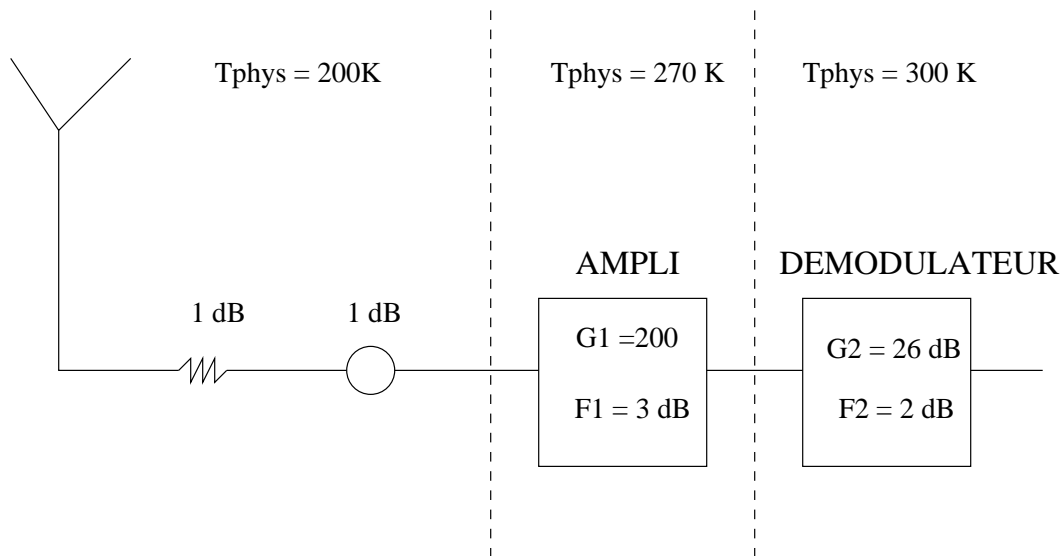


1. Un récepteur est constitué de l'antenne, d'un isolateur, d'un guide d'onde, d'un amplificateur et d'un démodulateur.

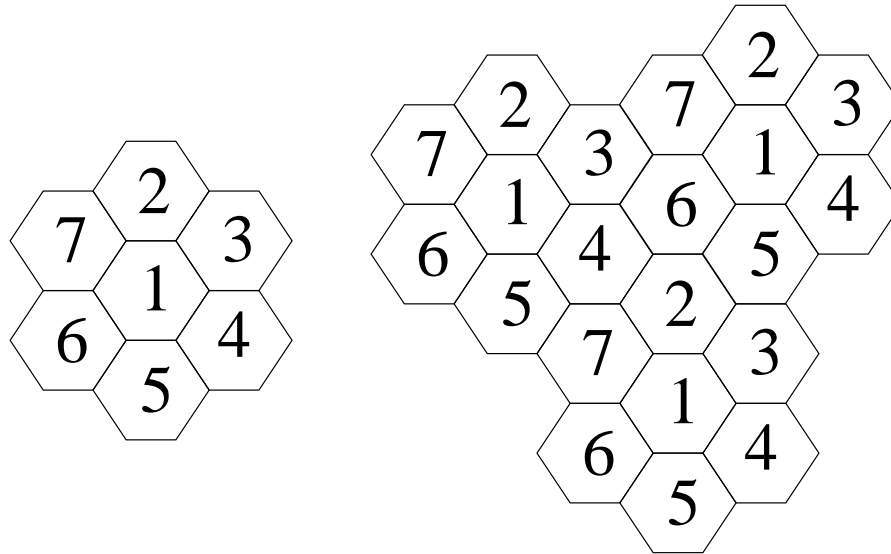
L'antenne a une température de bruit équivalente de $200 [K]$.

On suppose que le guide d'onde et l'isolateur peuvent tous deux être considérés comme des atténuateurs résistifs dont le facteur d'atténuation vaut $1 [dB]$. La bande passante du récepteur vaut $6 [MHz]$. La puissance du signal à l'entrée du système vaut $-80 [dBW]$.

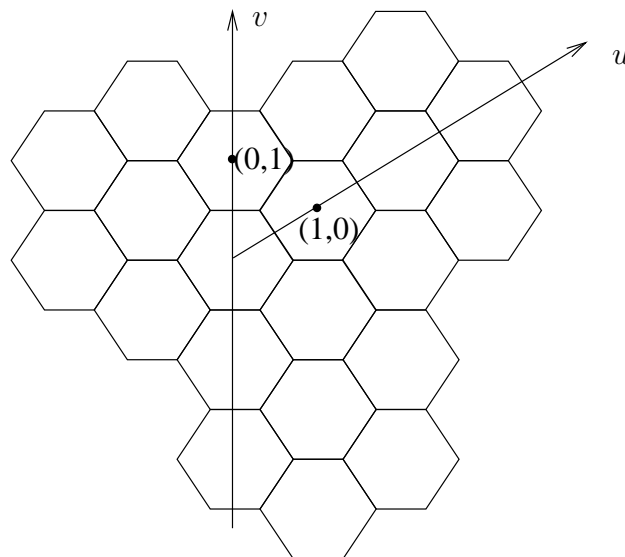


- Calculez la température de bruit équivalente du système.
- Calculez la figure de bruit et le facteur de mérite du système.
- Calculez le rapport entre la puissance du bruit à l'entrée et celle du bruit à la sortie du système ainsi que le rapport signal à bruit à l'entrée et à la sortie.
- L'ordre dans lequel l'amplificateur et le démodulateur ont été placés dans la chaîne vous semble-t-il optimal ? Justifiez votre réponse.

2. Un ingénieur étudie l'utilisation d'antennes directives dans un réseau GSM en termes de niveaux d'interférence et de trafic écoulé. Pour la facilité, il suppose qu'un opérateur utilise 7 fréquences dans le cas d'antennes isotropes et 21 dans le cas d'antennes tri-sectorielles. Le schéma de cellules hexagonales est le suivant :



Afin de déterminer le niveau d'interférence, on définit le système d'axes (u, v) tel que représenté ci-après :



Dans ce système de coordonnées, la distance entre le centre d'un hexagone quelconque, positionné en (i, j) , et le centre de la cellule placée à l'origine vaut

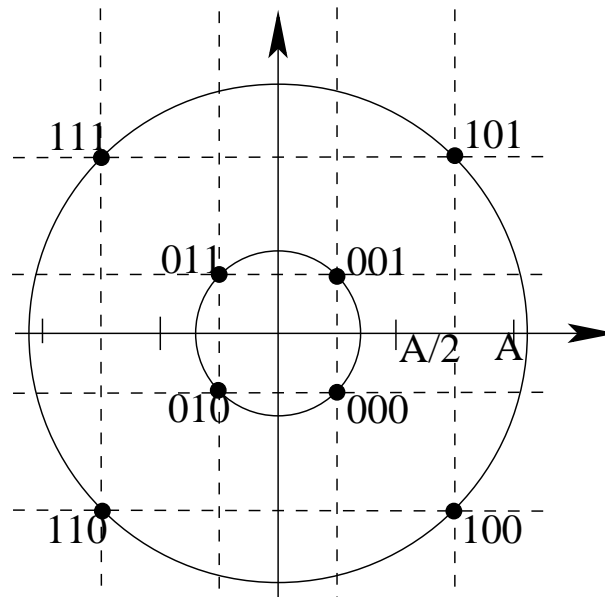
$$D = \sqrt{i^2 + j^2 + ij} \sqrt{3}R$$

où R est la distance entre le centre d'un hexagone et un sommet. i et j sont toujours des entiers.

- (a) Pour l'étude du trafic, on considère un probabilité de blocage de 0,005. Par cellule hexagonale, l'opérateur prévoit 48 canaux physiques (soit 16 canaux dans un secteur de 120° en cas d'utilisation d'antennes tri-sectorielles).
Aux heures de pointe, un utilisateur effectue en moyenne 4 appels en 1 heure et la durée moyenne des communications est de 2 minutes.
- Combien d'utilisateurs peut desservir une cellule hexagonale à émission isotrope.
 - Combien d'utilisateurs peut desservir une cellule hexagonale équipée d'antennes tri-sectorielles.
 - Comparez et commentez les résultats obtenus aux 2 points précédents.
- (b) Dans un second temps, on examine l'effet des interférences des émissions à même fréquence, dont la puissance totale est notée I .
- Où, à l'intérieur d'une cellule, faut-il déterminer le rapport signal à interférence $\frac{S}{I}$? Pourquoi?
 - Dans la mesure où toute la couverture est assurée par répétition du motif à 7 fréquences, déterminer le nombre de cellules qui interfèrent avec une cellule quelconque. Justifier votre réponse.
 - Que vaut le nombre de cellules qui interfèrent lorsque l'on utilise des antennes tri-sectorielles (et 21 fréquences)? Pour précision, chaque antenne couvre un angle de 120° .
 - Estimez le rapport $\frac{S}{I}$ en faisant intervenir les distances R et D dans le cas d'antennes isotropes ou d'antennes tri-sectorielles.
 - Comparez et commentez les résultats obtenus au point précédent.

Remarque : il est possible de répondre séparément aux questions (a) et (b).

3. Soit une modulation linéaire classique caractérisée par le diagramme de constellation suivant



L'impulsion de mise en forme est rectangulaire d'amplitude unitaire et s'étend de 0 à T . La fréquence porteuse est notée f_c .

- Représentez graphiquement l'évolution temporelle des composantes en phase, en quadrature de phase ainsi que l'amplitude et la phase du signal modulé pour la séquence binaire :
 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 0.
- Si les symboles commençant par 0 sont deux fois plus probables que ceux commençant par 1, calculez la densité spectrale de puissance du signal modulé.
- Si un bit a une durée de $10 \text{ } [\mu\text{s}]$, déterminez le débit binaire ainsi que la bande passante du signal modulé.

4. Considérons un système de transmission à spectre étalé. Le signal émis est constitué de la séquence NRZ du signal utile $d(t)$, multipliée par le signal d'étalement NRZ $g(t)$ et modulé par modulation d'amplitude (sans porteuse) à la fréquence f_c . L'amplitude du signal résultant est notée $\sqrt{2P_s}$.

Il s'agit d'étudier l'effet du bruit que constitue un signal d'interférence émis à la même fréquence. Par la suite, on considère que ce signal vaut $\sqrt{2P_J} \cos(2\pi f_c t + \Theta)$ où Θ est une phase.

Le récepteur est composé, dans l'ordre :

- d'un multiplicateur servant à désétalement le signal reçu,
- d'un mélangeur à la fréquence porteuse,
- d'un intégrateur,
- d'un échantillonneur et
- d'un organe de décision.

(a) Donnez l'expression du signal à l'entrée du récepteur.

(b) Donnez et développez l'expression du signal à l'entrée de l'intégrateur.

Étant donné l'effet de l'intégrateur et la période d'intégration, simplifiez ensuite l'expression en considérant une modulation cohérente pour laquelle la durée d'un bit de $d(t)$ est égale à un multiple entier de $\frac{1}{2f_c}$.

Aide : vous devez obtenir un signal d'interférence d'allure $\alpha f(\Theta)g(t)$ où α est une constante et $f(\Theta)$ est une fonction de Θ .

(c) Déterminez la densité spectrale du signal d'interférence à l'entrée de l'intégrateur.

(d) Sur un même graphique, dessinez la densité spectrale du signal utile et du signal d'interférence à l'entrée de l'intégrateur.

(e) Étant donné l'effet de l'intégrateur et la limitation en largeur de bande, simplifiez l'expression de la densité spectrale du signal d'interférence.

(f) Si Θ est une phase aléatoire uniformément répartie sur $[0, 2\pi]$, calculez l'espérance mathématique de la densité spectrale du signal d'interférence.

(g) Déterminez la probabilité d'erreur P_e compte tenu de l'expression de la densité spectrale de bruit calculée précédemment.

Rappel : la densité spectrale d'un signal NRZ bipolaire $(-V, +V)$ vaut

$$\gamma(f) = 4p(1-p)V^2T \left(\frac{\sin(\pi fT)}{\pi fT} \right)^2 + (2p-1)^2V^2\delta(f) \quad (1)$$