

UMKB/Département d'Informatique/M1RTIC

Cours (RSF):

ONDES, PROPAGATION DE SIGNAL & ANTENNES (Partie 1)

Dr . Ayad Soheyb

V 2.0

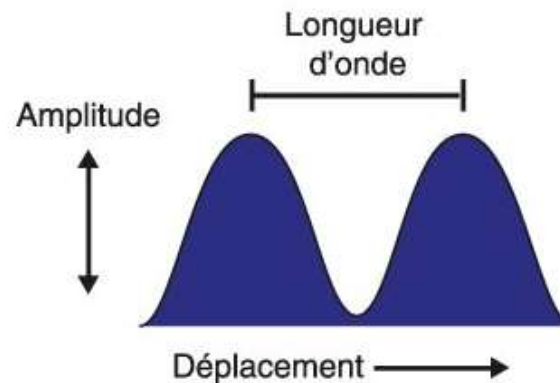
Les ondes (Rappel)

Les ondes électromagnétiques

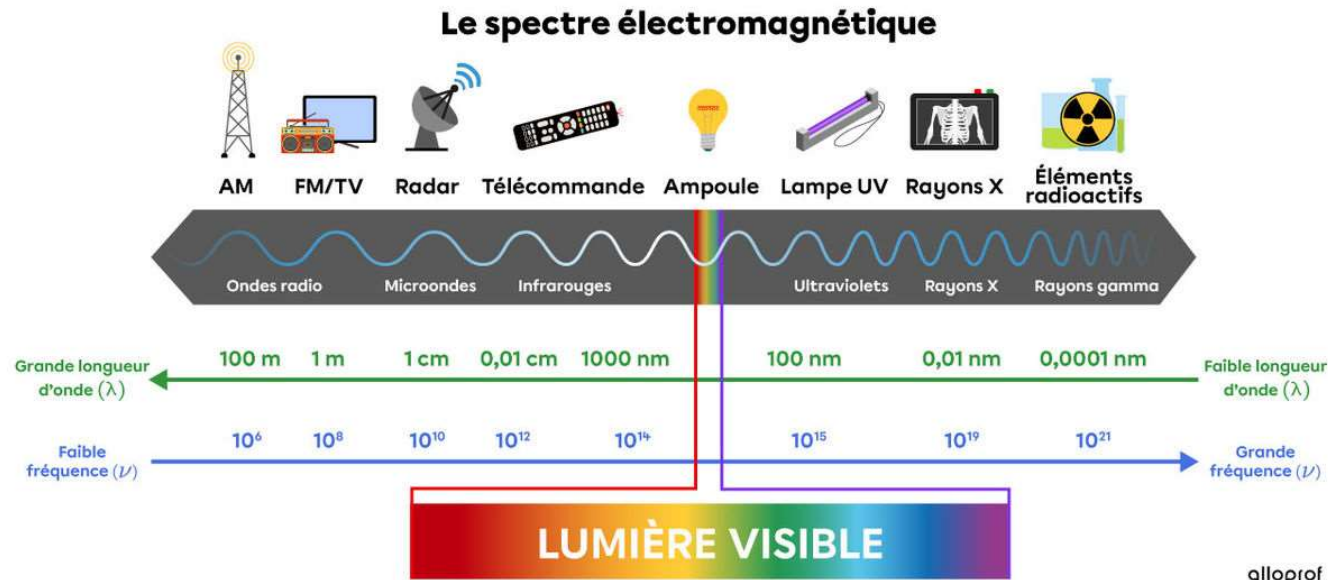
La transmission de données sur un support physique se fait par propagation d'un phénomène vibratoire. Il en résulte un signal ondulatoire .

➤ **Onde électromagnétique :**

- Comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence.
- Ces deux champs, sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre.

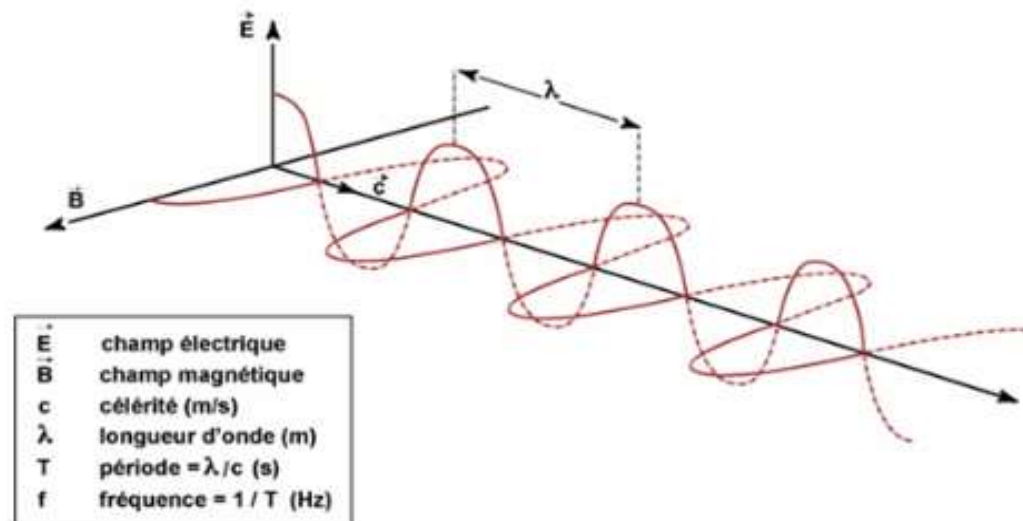


Les ondes électromagnétiques (suite)



- L'onde électromagnétique se propage avec ce qu'on appelle oscillation
- La différence entre les oscillation radio et téléphone c'est le nombre d'oscillation par seconde ce qui représente la fréquence
- Les ondes à grandes fréquences se propage sur une distance courte car elle ont tendance à s'atténuer par contre ceux a petite fréquence se propage sur une longue distance comme la radio FM et AM radio!

NATURE ET PROPAGATION D'UNE ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE



- **La longueur d'onde (λ)** : elle exprime le caractère oscillatoire périodique de l'onde dans l'espace. C'est la distance séparant deux crêtes successives. Elle est mesurée en mètre
- **La période (T)** : elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde.
- **La fréquence (f)** : inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps (1 seconde). Elle s'exprime en Hertz (Hz)
- (onde effectue 2 cycles en 1 s. La fréquence est donc égale à 2 Hz)
- **La célérité c** : la vitesse de propagation de l'onde. Elle s'exprime en (m/s)
- $$\lambda = \frac{c}{f}$$

Signal

Signale analogique vs. numérique

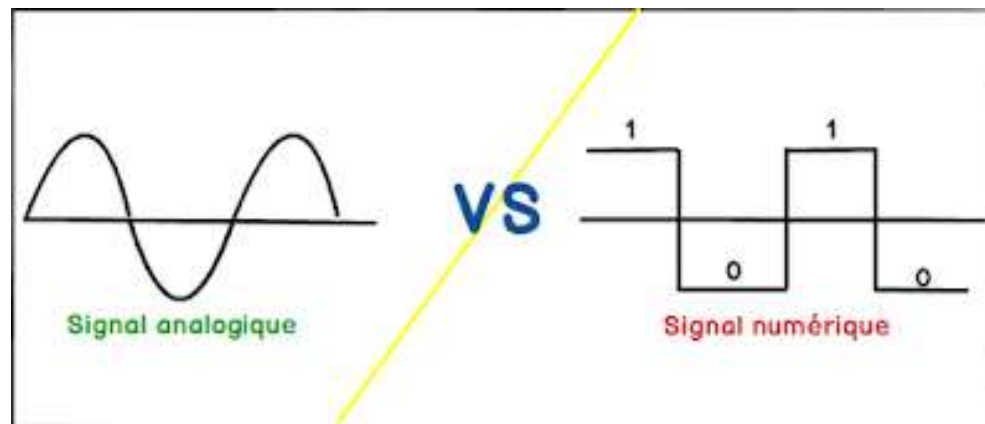
signale: message de données que l'utilisateur souhaite transmettre

signale analogique : espace de valeurs continu

– ex : voix, radio, video ...etc.

signale numérique : espace de valeurs discret (binaire : une succession de 0 et de 1)

- ex : Les signaux utilisés pour la transmission des données dans un ordinateur.



La modulation

La modulation

- Le but de la modulation est de permettre la transmission (par fil, par voie hertzienne, par fibre optique, etc.) d'une information ou message.
- La **modulation** peut être définie comme le processus par lequel le signal est transformé de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission, par exemple en faisant varier les paramètres d'amplitude et d'argument (phase/fréquence) d'une onde sinusoïdale appelée porteuse.
- Le dispositif qui effectue cette modulation, en général, est un modulateur (modem). L'opération inverse permettant d'extraire le signal de la porteuse est la démodulation.

Processus de modulation

Porteuse:

La porteuse est une onde sinusoïdale (onde de transmission), qui verra un de ses paramètres (amplitude, fréquence ou phase) être modifié par le signal modulant. Le paramètre qui varie définit le type de modulation.

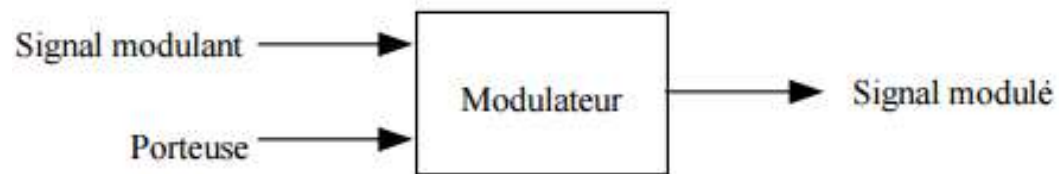
On dit : la porteuse est modulée par un signal modulant.

Signal modulant :

C'est l'information à transmettre. Ce signal modifie un des paramètres (amplitude, fréquence ou phase) de la porteuse. On dit : le signal modulant module la porteuse.

Signal modulé :

C'est le signal résultant de la modulation.



Types de modulation

L'équation qui permet de calculer une forme d'onde sinusoïdale est :

$$u = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

avec :

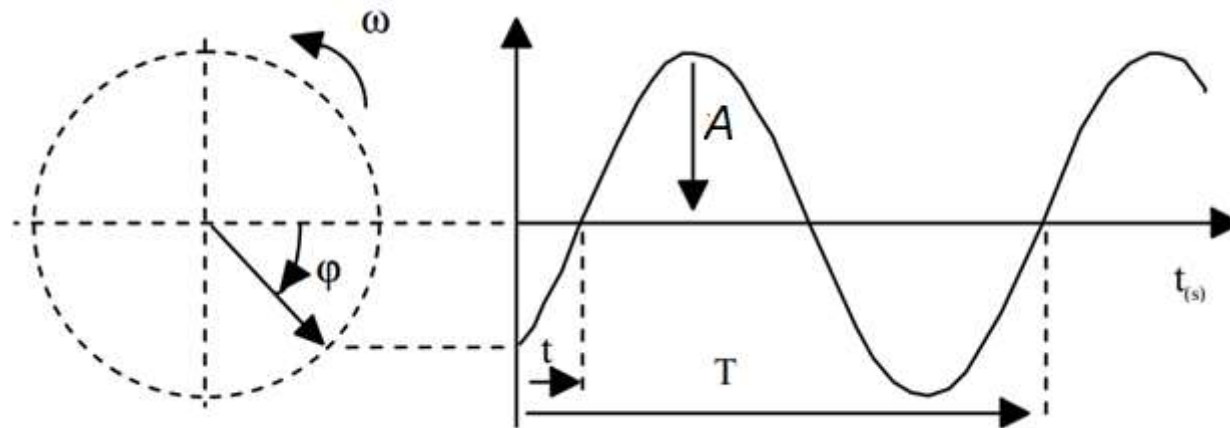
u : valeur instantanée de la tension

A : valeur de crête de la tension

ω : pulsation ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$)

t : le temps considéré

φ : angle de déphasage à l'origine en radian.

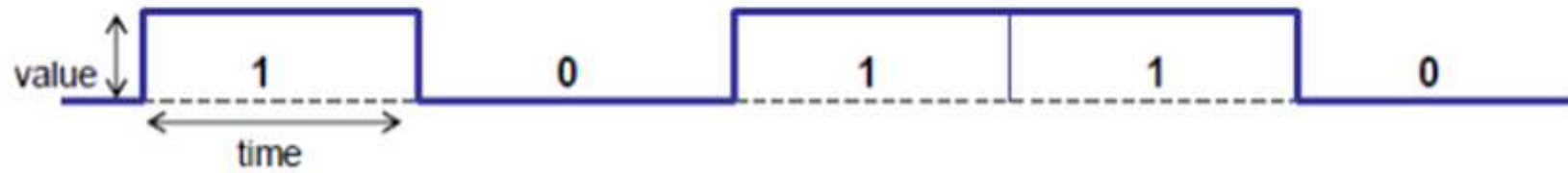


varier A c'est une **modulation d'amplitude**.

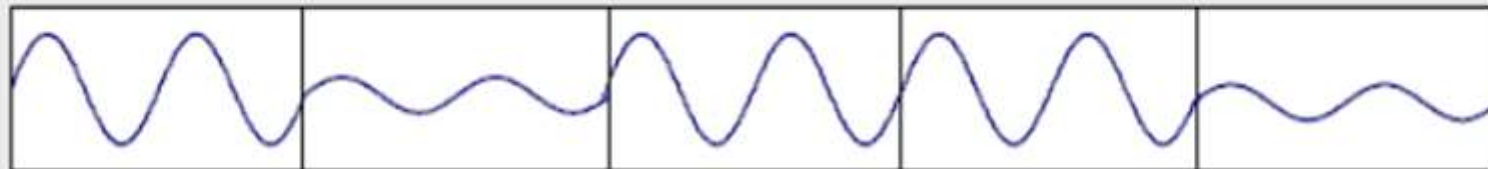
varier f (dans le facteur ω) c'est une **modulation de fréquence**.

varier φ c'est une **modulation de phase**.

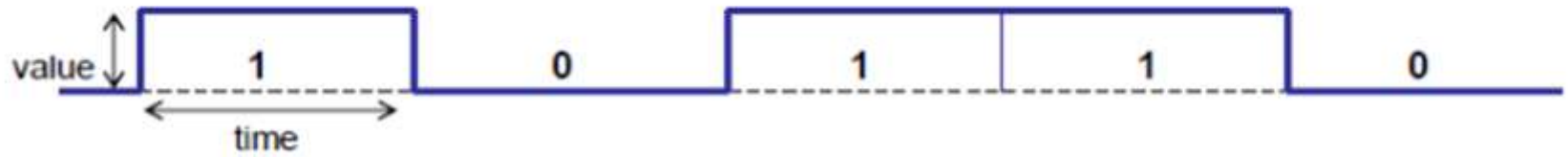
▶ **Amplitude Shift Keying ASK**



Amplitude Shift Keying (ASK)



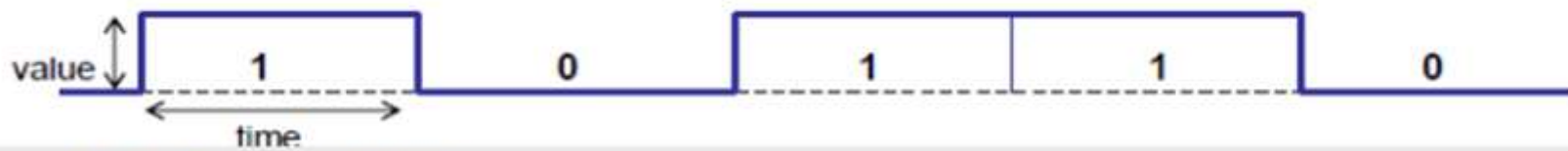
► **Frequency Shift Keying FSK**



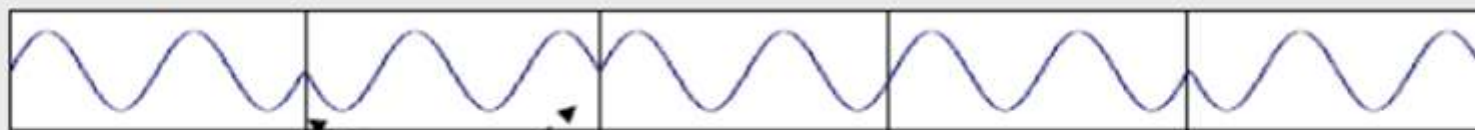
Frequency Shift Keying (FSK)



▶ **Phase Shift Keying PSK**

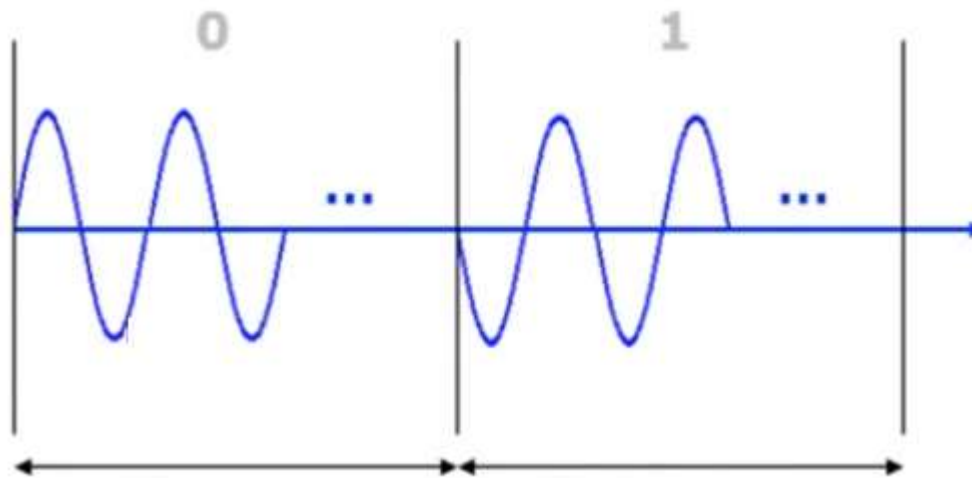


Phase Shift Keying (PSK)

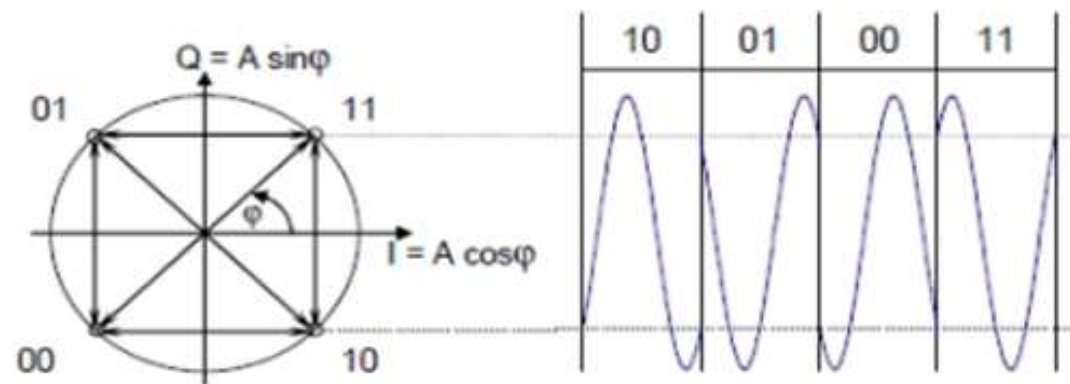


Saut de phase de 180°

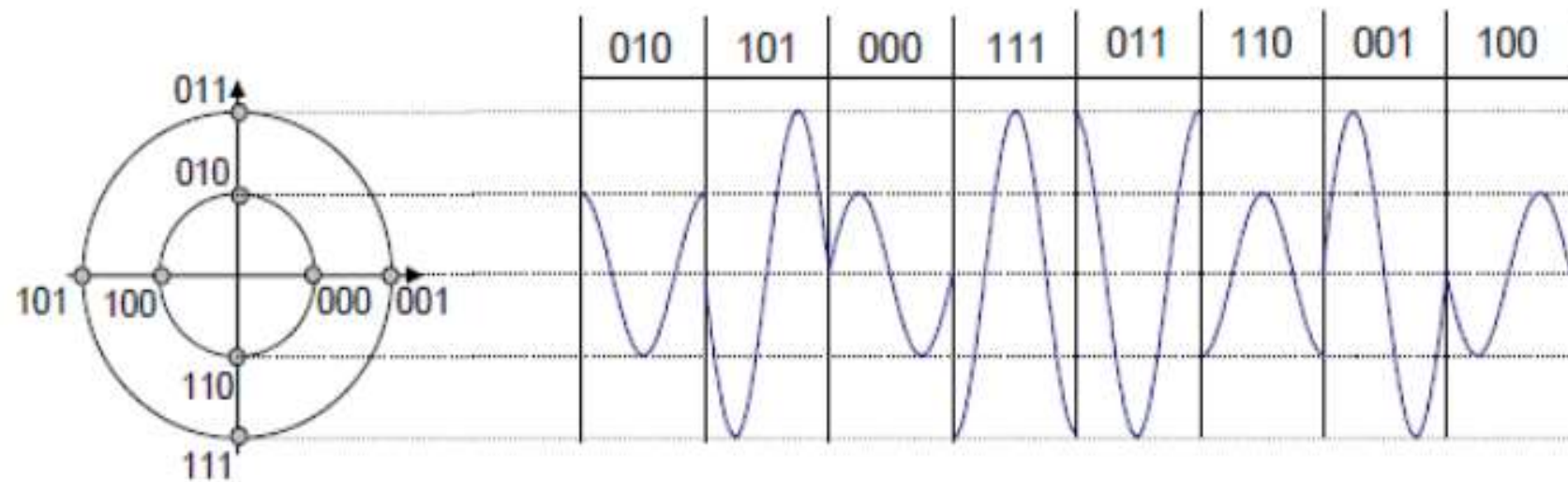
Modulation BPSK (WiFi, WiMax , bluetooth ..)

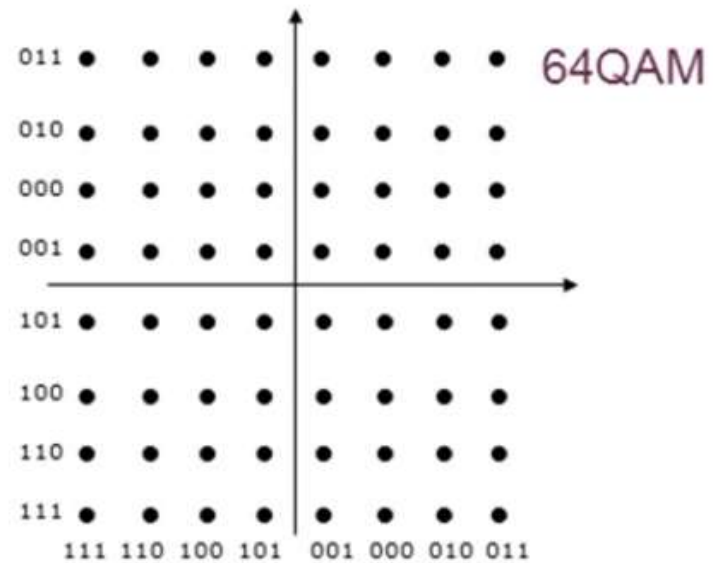
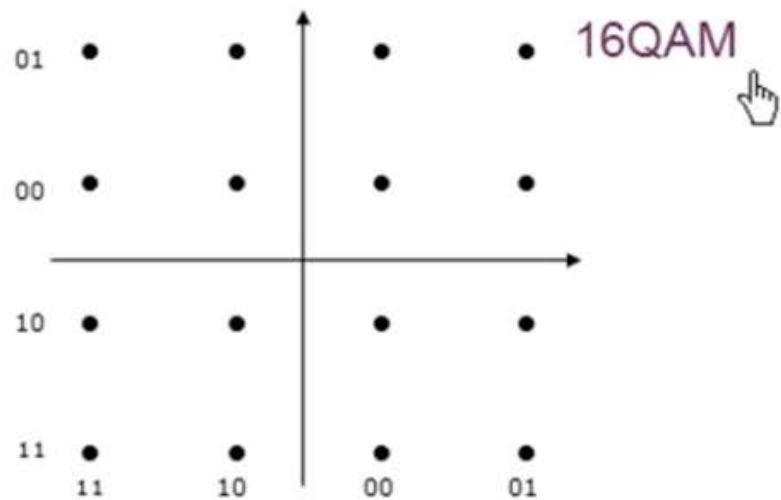


- ▶ **Les modulations PSK avancées**
- ▶ PSK à $M=2^n$ états: modulation de n bits avec M sauts de phase
- ▶ Exemple: Quadrature PSK (QPSK): $M=4$, $n=2$ (débit doublé)



- ▶ Les modulations QAM: Quadrature Amplitude Modulation: ASK + PSK
- ▶ Modulation 8-QAM:





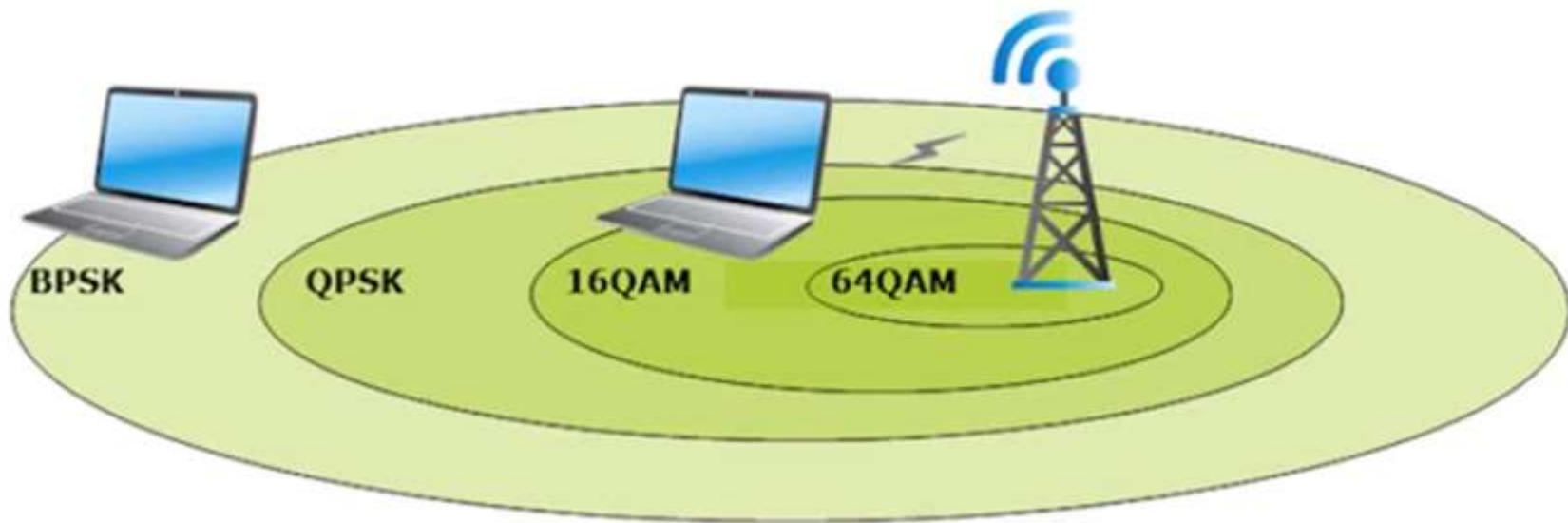
Binary input				16-QAM output	
Q	Q'	I	I'		
0	0	0	0	0.311 V	-135°
0	0	0	1	0.850 V	-165°
0	0	1	0	0.311 V	-45°
0	0	1	1	0.850 V	-15°
0	1	0	0	0.850 V	-105°
0	1	0	1	1.161 V	-135°
0	1	1	0	0.850 V	-75°
0	1	1	1	1.161 V	-45°
1	0	0	0	0.311 V	135°
1	0	0	1	0.850 V	165°
1	0	1	0	0.311 V	45°
1	0	1	1	0.850 V	15°
1	1	0	0	0.850 V	105°
1	1	0	1	1.161 V	135°
1	1	1	0	0.850 V	75°
1	1	1	1	1.161 V	45°

(a)

8 PHASES WITH SAME AMPLITUDE

4 PHASES WITH 2 AMPLITUDES EACH

Modulation adaptative



Exemple

Les sous-porteuses OFDM de la norme 802.11a peuvent être modulées en utilisant une modulation BPSK, QPSK, 16QAM ou 64QAM, en fonction de la vitesse de transmission demandée.

Vitesse de transmission	Modulation	Bit par sous-porteuse
6	BPSK	1
9	BPSK	1
12	QPSK	2
18	QPSK	2
24	16QAM	4
36	16QAM	4
48	64QAM	6
54	64QAM	6

UMKB/Département d'Informatique/M1RTIC

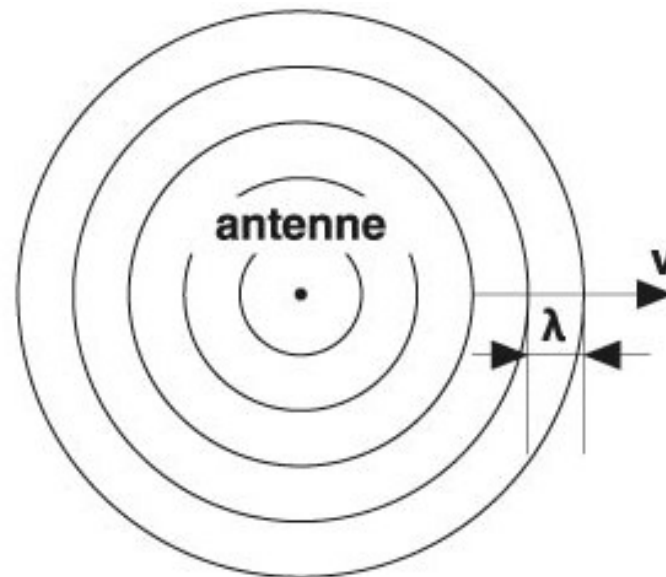
ONDES, PROPAGATION DE SIGNAL & ANTENNES (Partie 2)

Dr . Ayad Soheyb

V 1.4

Propagation du signal

Propagation du signal



les études de propagation permettent de faire une prédiction de la **couverture du signal** (portée !), ainsi que, par exemple, de la **position optimale** d'une station de base.

Portée de transmission

Différents éléments qui affectent la portée maximale d'une liaison :

- Puissance de sortie de l'émetteur (W/mW/dBm)
- Le gain de l'antenne émettrice/réceptrice (dBi)
- La sensibilité et l'intelligence de l'appareil récepteur
Existence ou non d'une ligne de vue directe dégagée
- Limitation des interférences (cellules adjacentes sur des canaux différents)
- Le codage et la modulation des données définies par la technique de transmission (influe sur le débit)

Types de Propagations

La propagation en air libre LOS:

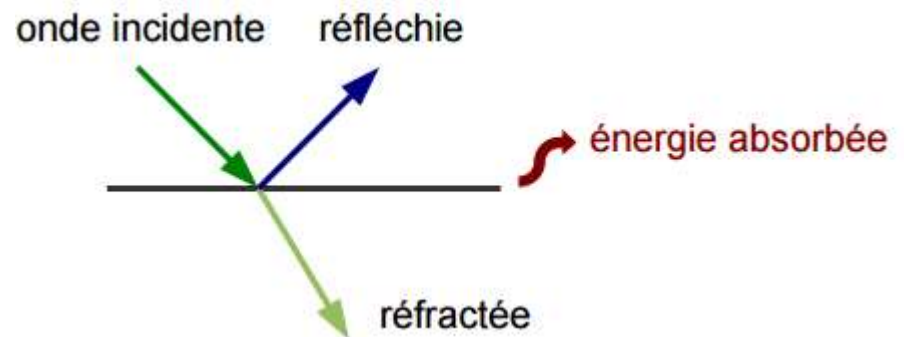
Il n'y a pas d'obstacles entre l'émetteur et le récepteur et on dit qu'on est en LOS (Line Of Sight), la vitesse de propagation dans le vide est de 3×10^8 m/s (vitesse de la lumière)

La propagation avec obstruction NLOS:

caractérisée par la présence d'obstacles entre l'émetteur et le récepteur, on dit qu'on est en NLOS (Non Line Of Sight). C'est le cas de la propagation en bâtiment de même que la propagation en milieu urbain.

Lorsque l'onde rencontre un obstacle, l'onde est divisée et son énergie est répartie

on peut distinguer plusieurs types d'effets.



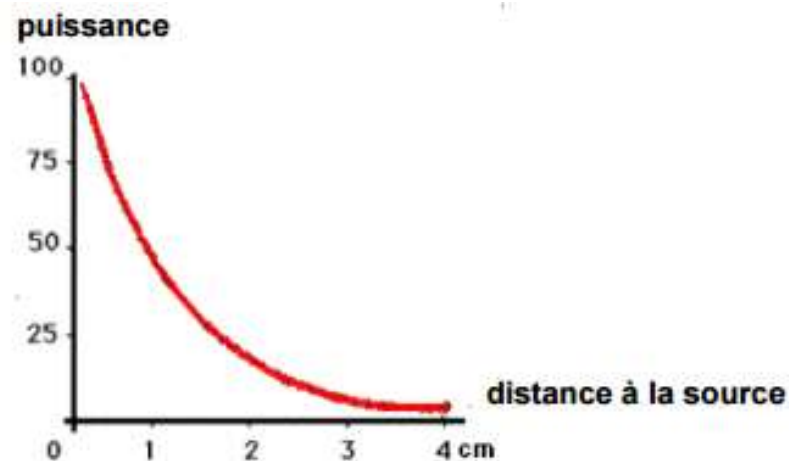
Absorption des ondes

- L'énergie d'une onde électromagnétique est progressivement dégradée au cours de sa propagation dans l'air.

L'onde électromagnétique qui voyage rencontre des électrons qu'elle va exciter, ceux-ci vont réémettre à leur tour du rayonnement ce qui perturbera le signal

→ ainsi on parle du phénomène d'atténuation !

- Les signaux se dégradent avec la distance et avec les obstacles, limitant ainsi la portée et le débit de la liaison



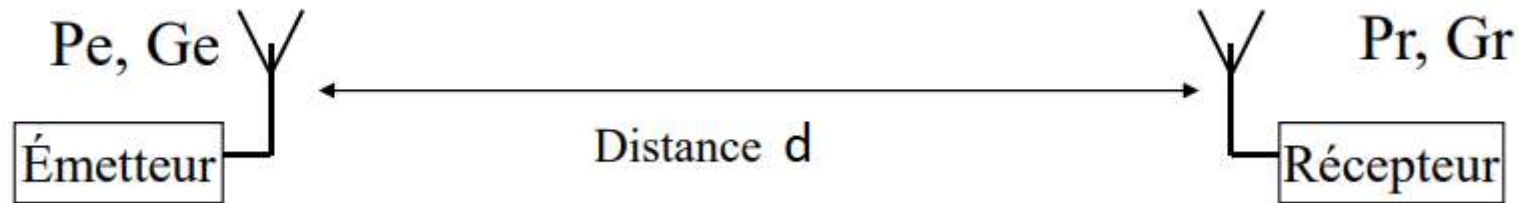
L'atténuation

- L'atténuation, est le rapport entre la puissance du signal avant et après modification.
- L'atténuation s'exprime souvent en décibels (**dB**).
- Le dB est l'unité exprimant un rapport de puissance sous forme logarithmique. En effet, la gamme de puissance est tellement vaste qu'il serait fastidieux de les exprimer sous forme de rapport ou pourcentage.

$$At_{dB} = Perte_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_r}{P_e}$$

La puissance est exprimée en **Watt**

Atténuation dans LOS



L'équation de **Friis** suivante est utilisée pour la propagation des ondes en air libre en fonction de la distance **d** entre l'émetteur et le récepteur :

$$P_r = P_e G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

- où **Pr** et **Pe** sont respectivement les puissances reçues et émises (en W)
- et **Ge** , **Gr** sont les gains des antennes d'émission et de réception (sans-unité).
- **λ** est la longueur d'onde utilisée (en mètres).

Atténuation dans LOS

Pour calculer la puissance du signal reçu (unité: dBm) en utilisant l'équation de Friis sachant que le gain est exprimé en dB on utilise l'équation suivante:

$$P_r \text{ (dBm)} = P_e + G_e + G_r + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

Puissance dBm

la puissance est souvent estimée dans l'unité relative en décibels par rapport au milliwatt (**dBm**). La correspondance entre la puissance en milliWatts (mW) et puissance en décibels "milliwatts" (dBm) s'écrit :

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} (P_{mW})$$

Pour convertir du dBm vers mW :

$$P_{mW} = 10^{P(dBm)/10}$$

Modèle Multi-Wall (MWM) (Environnement NLOS)

Ce modèle prend en compte toutes les atténuations dues à la pénétration de l'onde radio dans les différents obstacles présents dans le bâtiment (murs, portes, fenêtres, étage. . .). Les atténuations varient selon l'épaisseur et le matériel de construction de l'obstacle.

$$PL_{MWF}[dB] = FSL + 10 * n * \log_{10}(d) + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{K_{wi}} (L_{wik}) + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{K_{fj}} (L_{fjk})$$

- FSL : Free-Space Losses. (LOS)
- L_{wik} : est l'atténuation du k -ème mur de la catégorie i.
- L_{fjk} : est l'atténuation du k -ème étage de la catégorie j.
- K_{wi} : est le nombre des murs de la catégorie i.
- K_{fj} : est le nombre d'étages de la catégorie j.

Les antennes

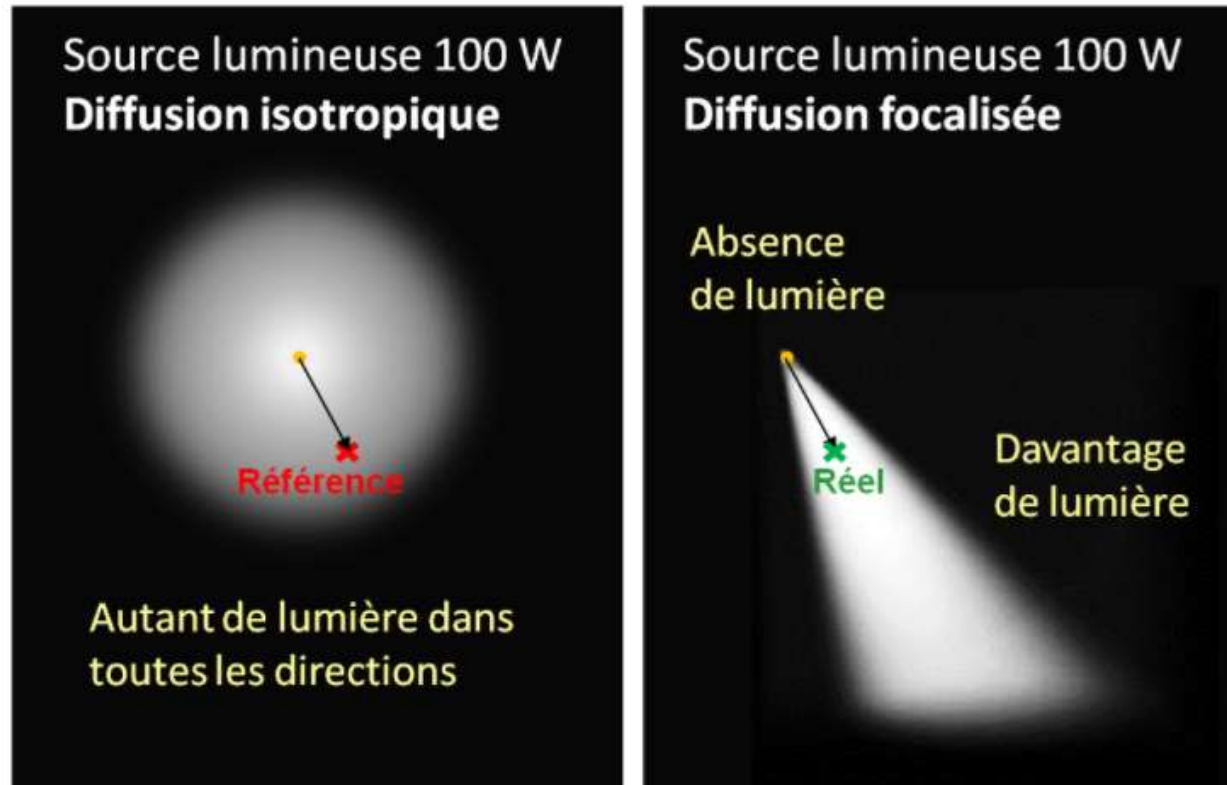
Les antennes

- Une antenne peut être définie comme un système de conducteurs utilisé pour rayonner de l'énergie électromagnétique ou la récolter.
- Pour transmettre un signal, l'énergie électrique du transmetteur est convertie en une énergie électromagnétique par l'antenne et est rayonnée dans l'environnement l'entourant (espace, eau, atmosphère).
- A la réception, l'énergie électromagnétique atteignant l'antenne est convertie en une énergie électrique puis transmise au récepteur.

Gain d'antenne

- La caractéristique la plus importante d'une antenne est son **gain**.
- Le gain représente le rapport de la puissance rayonnée dans une direction particulière comparée à celle qui serait rayonnée dans n'importe quelle direction par une antenne imaginaire parfaitement omnidirectionnelle appelée antenne à rayonnement isotrope. (voir figure suivante)
- Une antenne isotrope n'a pas de gain par rapport à elle-même, ce qui signifie qu'elle a une puissance nominale de 0 dB.
- Le gain d'une antenne s'exprime en décibels isotropes (**dB**i).
- Gain linéaire **$G = 10^{G(\text{dB})/10}$**
- **Gain (dB) = $10 \log_{10} (G \text{ linéaire})$**
- 1 dB = 1 dBi

Le gain d'une antenne ne correspond donc pas réellement à un gain de puissance mais simplement une focalisation/concentration des ondes radio. Plus de puissance en un point et aucune ou moins en un autre.



Dans l'exemple ci-dessus, si la mesure Référence est 100 Lux et que la mesure Réel est 400 Lux on a multiplié par 4 le flux lumineux en le concentrant, soit un Gain de 6 dBi.

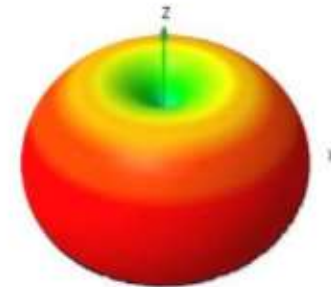
Types d'antennes

Antenne Omnidirectionnelle

- Ces antennes se rapprochent d'une antenne isotropique cependant le lobe de diffusion est plus proche d'un donuts que d'une sphère. Cela signifie qu'à la verticale de l'antenne la puissance émise est quasi nulle.
- Plus le Donut est aplati et plus le Gain en dBi sera important.

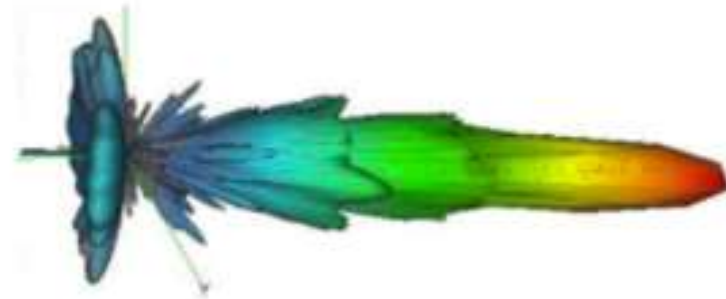


Exemple d'antenne omnidirectionnelle



Emission radio omnidirectionnelle

Antenne directionnelle



Il est possible de couvrir en Wi-Fi des distances de plusieurs dizaines de km entre 2 antennes directionnelles disposées à vue et bien alignées.

PIRE
(Puissance Isotrope
Rayonnée Equivalente)

PIRE

la **PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)**, Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) en anglais, est la valeur que les instances de réglementations utilisent pour mesurer et fixer la puissance d'émission maximum autorisée pour les différentes applications.

Ainsi les équipements sans fil IEEE 802.11, les téléphones GSM, UMTS, 4G, 5G ... ont tous une puissance d'émission limitée légalement.

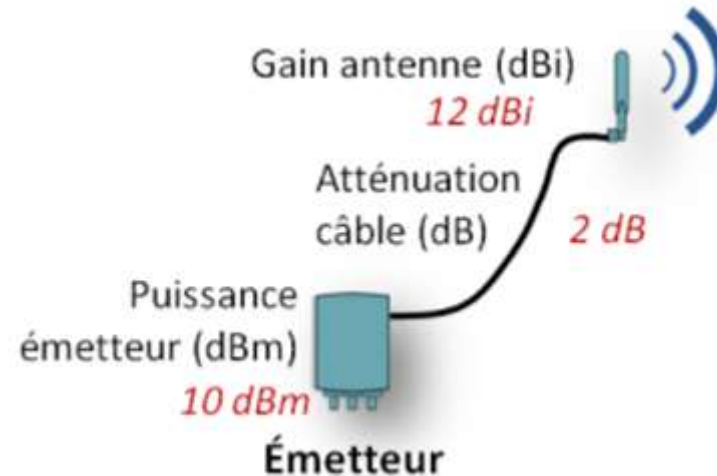
PIRE

La PIRE est calculée en ajoutant la puissance de transmission (en dBm) au gain de l'antenne en supprimant les pertes dans le câble (en dB) :

$$\text{PIRE (dBm)} = \text{Puissance d'émetteur (dBm)} - \text{perte dans le câble (dB)} + \text{gain d'antenne (dBi)}$$

PIRE

Exp:



$$\text{PIRE} = 10 \text{ dBm} - 2 \text{ dB} + 12 \text{ dBi} = 20 \text{ dBm}$$

En **Algérie**, le Conseil de l'Autorité de régulation de la poste et des Télécommunications (**ARPT**) indique que «La bande de fréquences 2400 à 2483.5 MHz est attribuée aux réseaux locaux radioélectriques (RLAN), limitée aux réseaux WIFI, comme défini par IEEE, dans la norme 802.11, avec une puissance isotrope rayonnée équivalente maximum (PIRE) de 100 mW (20 dBm), dans le milieu urbain et de 500 mW, dans autres agglomérations pour une utilisation à l'extérieur des bâtiments (Outdoor)».

Sensibilité des antennes

Sensibilité de réception

Le récepteur a un seuil inférieur de sensibilité qui détermine la puissance minimale qui doit être reçue à l'entrée du récepteur pour pouvoir interpréter correctement le signal.

Exp:

Débit	Sensibilité des cartes CISCO Aironet 350
11 Mbps	-85 dBm
5,5 Mbps	-89 dBm
2 Mbps	-91 dBm
1 Mbps	-94 dBm

Marge de tolerance

- est le niveau de signal souhaité au delà de celui qui est nécessaire, comme une zone de confort. Si un récepteur possède une sensibilité de -80 dBm, une transmission se fera avec succès si le signal reçu est supérieur à -80 dBm.
- Le problème, c'est que le signal reçu fluctue à cause des interférences et des conditions météorologiques. Pour s'adapter à ces fluctuations, une bonne pratique consiste à planifier une marge de 10 à 25 dB au delà du seuil de sensibilité de réception de la radio.
- La marge de 10 dB est un minimum qui n'est acceptable que pour des liaisons inférieures à 3 miles (4,8 km). Jusqu'à 5 miles (8 km), il est nécessaire d'avoir au moins 15 dB de marge de sécurité. Une marge de 25 dB est recommandée pour des liaisons supérieures à 5 miles.

Bilan de liaison

Bilan de liaison

- Le bilan de liaison permet d'établir la relation entre la puissance émise et la puissance reçue dans une liaison point à point.
- La liaison fonctionne correctement si la puissance reçue par l'antenne est supérieure à la sensibilité de l'antenne.

Bilan de liaison

- Le bilan de liaison théorique correspond à un bilan de puissance à travers toute la chaîne de transmission. Il consiste au calcul de puissance du signal reçu sur la carte du récepteur :

$$\text{Puissance reçue (dBm)} = \text{PIRE (dBm)} - \text{Atténuation (dB)} + \text{Gain antenne récepteur (dBi)} - \text{Perte câble récepteur (dB)}$$

- Cette puissance reçue (dBm) doit être strictement supérieure à la sensibilité de la carte du récepteur plus la marge de tolérance.

$$\text{PIRE} - \text{Atténuation} + \text{Gain antenne récepteur} - \text{Perte câble récepteur} > \text{Sensibilité} + \text{marge}$$

Fin.