**1. Fonctionnement de la Radio FM**

La **radio FM** (modulation de fréquence) repose sur un principe fondamentalement différent de la radio AM, où c’est la **fréquence** de l'onde porteuse qui est modulée en fonction du signal audio à transmettre, plutôt que l'amplitude.

**Principe de la modulation FM**

Dans un système de modulation de fréquence, la fréquence de la porteuse varie proportionnellement à l'amplitude du signal d'information (audio). En d’autres termes, lorsque l’intensité du signal audio augmente, la fréquence de l’onde porteuse change d’autant, créant ainsi une variation de fréquence qui est ensuite décodée par le récepteur pour restituer l'audio.

L’équation générale de la modulation FM est :

s(t)=Accos⁡(2πfct+Δf⋅m(t))s(t) = A\_c \cos \left( 2 \pi f\_c t + \Delta f \cdot m(t) \right)s(t)=Ac​cos(2πfc​t+Δf⋅m(t))

Où :

* s(t)s(t)s(t) est le signal modulé (FM).
* AcA\_cAc​ est l'amplitude de la porteuse.
* fcf\_cfc​ est la fréquence de la porteuse.
* Δf\Delta fΔf est la déviation de fréquence maximale (indique l’ampleur du changement de fréquence).
* m(t)m(t)m(t) est le signal d'information (audio).
* ttt représente le temps.

**Paramètres importants de la modulation FM**

* **Déviation de fréquence (Δf\Delta fΔf)** : C'est la quantité maximale par laquelle la fréquence de la porteuse varie. Elle dépend de l'amplitude du signal d’information. Plus la déviation est grande, plus la qualité de la transmission est élevée, mais cela nécessite plus de largeur de bande.
* **Largeur de bande** : La largeur de bande nécessaire pour la transmission FM est beaucoup plus grande que celle de la modulation AM. Elle dépend de la déviation de fréquence et de la fréquence du signal audio.

**Calcul de la largeur de bande (Formule de Carson)** :  
La largeur de bande BFMB\_{\text{FM}}BFM​ pour un signal FM peut être approximée par la formule de Carson :

BFM=2(Δf+fm)B\_{\text{FM}} = 2 (\Delta f + f\_m)BFM​=2(Δf+fm​)

Où :

* Δf\Delta fΔf est la déviation de fréquence.
* fmf\_mfm​ est la fréquence maximale du signal audio.

La radio FM permet ainsi de transmettre des signaux avec une meilleure qualité sonore, car elle est moins sujette aux interférences que la modulation AM.

**2. Modulation FM**

La **modulation de fréquence (FM)** est un type de modulation où la fréquence de la porteuse varie proportionnellement à l’amplitude du signal de message (comme le son dans la radio FM). Contrairement à la modulation AM où c’est l’amplitude qui est modulée, la modulation FM modifie la fréquence, ce qui la rend moins vulnérable aux bruits et aux interférences.

**Principe de la modulation FM**

En FM, le signal modulé est obtenu en variant la fréquence de l’onde porteuse en fonction du signal d'information. La variation de la fréquence est proportionnelle à l’amplitude du signal audio, mais la fréquence porteuse peut subir plusieurs variations dans un laps de temps donné en fonction de l’intensité du signal.

La modulation FM peut être définie par l'équation :

s(t)=Accos⁡(2πfct+kf∫0tm(τ)dτ)s(t) = A\_c \cos \left( 2 \pi f\_c t + k\_f \int\_{0}^{t} m(\tau) d\tau \right)s(t)=Ac​cos(2πfc​t+kf​∫0t​m(τ)dτ)

Où :

* AcA\_cAc​ est l'amplitude de la porteuse.
* fcf\_cfc​ est la fréquence de la porteuse.
* kfk\_fkf​ est le coefficient de modulation de fréquence.
* m(t)m(t)m(t) est le signal audio modulant.
* ∫0tm(τ)dτ\int\_{0}^{t} m(\tau) d\tau∫0t​m(τ)dτ est l'intégrale du signal de message, qui détermine la variation de fréquence.

**Avantages de la modulation FM**

* **Meilleure qualité sonore** : La FM est moins sensible aux bruits et aux interférences que la modulation AM, car les bruits affectent principalement l'amplitude du signal, qui n'est pas utilisée en FM.
* **Transmission stéréo** : La FM permet la transmission stéréo en utilisant des canaux supplémentaires pour transporter les informations de phase.
* **Économie de puissance** : La FM permet une meilleure efficacité en termes de consommation d'énergie comparée à l’AM.

**3. Démodulation FM**

La **démodulation FM** est le processus inverse de la modulation FM. L'objectif est de récupérer le signal d'origine (audio) à partir du signal modulé. Dans le cas de la FM, la démodulation consiste à détecter les variations de fréquence du signal et à les convertir à nouveau en un signal d’information (généralement un signal audio).

**Processus de démodulation**

1. **Capture du signal modulé** : Le récepteur capte le signal FM modulé.
2. **Analyse de la fréquence** : Un circuit appelé **démodulateur FM** (souvent un détecteur de fréquence ou un discriminant de fréquence) extrait les variations de fréquence du signal porteur.
3. **Conversion en signal audio** : Une fois les variations de fréquence extraites, elles sont converties en un signal audio qui peut être amplifié et entendu par l'utilisateur.

Il existe plusieurs méthodes de démodulation FM, mais les plus courantes sont :

* **Démodulation à discriminer** : Elle utilise un circuit qui mesure la fréquence du signal pour déterminer les variations et en déduire le message original.
* **Démodulation à quadrature** : Elle utilise une technique de détection de phase pour extraire l'information.

La démodulation FM est robuste contre les interférences, car seules les variations de fréquence sont prises en compte, ce qui la rend moins sensible aux bruits comme les parasites et les signaux d’amplitude modulée.

**Avantages de la démodulation FM**

* **Moins de distorsion** : La démodulation FM permet de récupérer un signal avec moins de distorsion par rapport à AM.
* **Stabilité du signal** : En FM, les variations d’amplitude n'affectent pas la qualité du signal reçu, contrairement à AM où le bruit peut facilement dégrader le signal.